

Agronomical, Ecological and Economical Evaluation of sage - peppermint Intercropping at Different Irrigation Levels with Application of Drought Stress Modulators

Ali Ostadi¹, Abdollah Javanmard²

Received: 17 January 2023 Accepted: 01 June 2023

1- Ph.D Student of Agrotechnology- Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh.

2- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh.

*Corresponding Author Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Abstract

Background & Objectives: This study was performed to evaluate the effects of peppermint and sage intercropping with application of different fertilizer resources on the dry matter yield, essential oil content, and ecological indices under drought stress.

Material and Methods: A field experiment was carried out as a split split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with 36 treatments and three replications at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran in 2019 and 2020. The main factor was three irrigation regimes included 25 (MAD₂₅), 50 (MAD₅₀), and 75% (MAD₇₅) maximum allowable depletion (MAD) percentage of the soil available water (SAW) as normal irrigation, mild and severe water stress, respectively. The sub-factor was different planting patterns included peppermint monoculture, sage monoculture, and intercropping of one row peppermint + one row sage and also sub-sub factor were application of different fertilizer sources including no-fertilizer as control, TiO₂ nanoparticles (100 mg L⁻¹), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation, and integrative application of AMF and TiO₂ (AMF + TiO₂).

Results: The results showed that the dry matter yield of peppermint and sage decreased significantly by 28.7, 27% in mild stress, 55.1%, and 64.1% in severe stress, respectively. The highest dry matter yield of peppermint (144.2 g m⁻²) and sage (172.7 g m⁻²) was obtained in the monoculture with integrative application of AMF + TiO₂. The maximum essential oil content of peppermint (1.51%) was observed in intercropping with integrative application of AMF + TiO₂. In addition, the highest land equivalent ratio (LER), actual yield loss (AYL), and monetary indices were achieved in normal irrigation with integrative application of AMF + TiO₂. Moreover, the maximum net income of two plants was recorded in intercropping with application of AMF + TiO₂ under normal irrigation, which was no significant difference with integrated application of AMF + TiO₂ in intercropping under mild water stress.

Conclusion: Generally, it can be concluded that the integrative application of AMF + TiO₂ in intercropping of peppermint/sage could be suggested as a sustainable strategy to increasing the quantity and quality of essential oil of both plants under drought stress conditions.

Keywords: Bio-Fertilizer, Drought Stress, Medicinal and Aromatic Plants, Nanoparticle, Sustainable Agriculture

ارزیابی زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی کشت مخلوط مریم‌گلی و نعنای فلفلی در سطوح مختلف آبیاری با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش خشکی

علی استادی^۱، عبدالله جوانمرد^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۱

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه

مسئول مکاتبه: Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

چکیده

مقدمه و هدف: این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کشت مخلوط نعنای فلفلی با مریم‌گلی با کاربرد منابع کودی مختلف بر عملکرد ماده خشک، محتوای اسانس و شاخص‌های اکولوژیکی تحت تنش خشکی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایشی بصورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا گردید. فاکتور اصلی رژیم‌های مختلف آبیاری شامل آبیاری پس از ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی از آب در دسترس به ترتیب به عنوان آبیاری نرمال، تنش ملایم و تنش شدید بود. فاکتور فرعی الگوهای کشت (کشت خالص نعنای فلفلی، کشت خالص مریم‌گلی و کشت مخلوط یک ردیف نعنای فلفلی + یک ردیف مریم‌گلی) و فاکتور فرعی منابع مختلف کودی شامل عدم مصرف کود به عنوان شاهد، نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، قارچ میکوریزا و کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی و مریم‌گلی در تنش ملایم به ترتیب ۲۸/۷ و ۲۷ درصد و در تنش شدید به ترتیب ۵۵/۱ و ۶۴/۱ درصد کاهش یافت. بیشترین عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی (۱۴۴/۲ گرم در مترمربع) و مریم‌گلی (۱۷۲/۷ گرم در مترمربع) در کشت خالص با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. همچنین بیشترین درصد اسانس نعنای فلفلی (۱/۵۱ درصد) در کشت مخلوط با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم حاصل شد. بیشترین میزان نسبت برابری زمین معمولی، کاهش واقعی عملکرد و شاخص‌های اقتصادی کشت مخلوط در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا بدست آمد. علاوه بر این، بیشترین درآمد خالص دو گیاه در آبیاری نرمال در کشت مخلوط با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم در تنش ملایم و در کشت مخلوط نداشت.

نتیجه‌گیری: می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم در کشت مخلوط نعنای فلفلی با مریم‌گلی می‌تواند به عنوان یک استراتژی پایدار و کارآمد به منظور افزایش کمیت و کیفیت اسانس دو گیاه در شرایط تنش خشکی معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کشاورزی پایدار، کود زیستی، گیاهان دارویی و معطر، نانو ذره

مقدمه

امروزه بواسطه اثرات منفی تغییرات اقلیمی و افزایش دمای جهانی، عملکرد محصولات کشاورزی رو به کاهش بوده، به طوری که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان این کاهش عملکرد بیشتر می‌باشد. تنش خشکی از مهم‌ترین فاکتورهای غیرزیستی محدودکننده رشد و عملکرد در بسیاری از نواحی جهان از جمله ایران می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در ایران ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که حدود دو سوم کمتر از میانگین جهانی است (بیگلری و همکاران ۲۰۱۹). در طی مراحل رشدی گیاه، تنش خشکی باعث کاهش رشد ریشه، جذب آب، مواد غذایی، بزرگ شدن سلول‌ها، سنتز کلروفیل، گسترش برگ، فتوسنتز، ارتفاع بوته و سطح برگ می‌شود (گائو و همکاران ۲۰۲۰). تنش خشکی با توجه به مدت زمان، دوام و اندازه کمبود آن منجر به تغییر در صفات‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، اکولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی گیاهان شده و می‌تواند بر کمیت و کیفیت گیاهان تأثیر منفی داشته باشد (امراهی و همکاران ۲۰۲۱). بسیاری از گیاهان بخصوص گیاهان دارویی و معطر دارای مکانیسم‌های خاصی جهت مقابله با شرایط کم‌آبی و افزایش کارایی مصرف آب می‌باشند. گیاهان دارویی از متابولیت‌های ثانویه برای کاهش اثرات سوء تنش خشکی استفاده می‌کنند. تنش آبی تغییراتی را در عملکرد و ترکیبات اسانس گیاهان دارویی ایجاد می‌کند (مرشدلو و همکاران ۲۰۱۷). به عنوان مثال در پژوهشی رحیمی و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی سطوح مختلف تنش کم‌آبی (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) روی نعنای فلفلی گزارش کردند که با افزایش تنش کم‌آبی تعداد برگ و وزن خشک برگ کاهش یافت ولی درصد اسانس افزایش یافت بطوریکه بیشترین درصد اسانس در تنش کم‌آبی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت.

کارایی جذب عناصر غذایی (بخصوص در مناطقی که از کودهای شیمیایی فراوانی به منظور تولید حداکثر

عملکرد استفاده می‌شود) در شرایط تنش خشکی به دلیل کاهش رطوبت خاک به حداقل می‌رسد. در این شرایط به منظور دستیابی به عملکرد بیشتر، کشاورزان از نهاده‌های شیمیایی بیشتری استفاده می‌کنند که این امر منجر به افزایش هزینه‌های تولید خواهد شد و می‌تواند تأثیر منفی روی میکروارگانیسم‌های مفید خاک داشته باشد (بانسال ۲۰۱۷). بنابراین با توجه به کارآیی پایین کودهای شیمیایی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد آن‌ها، باید از سازوکارهایی استفاده کرد که باعث کاهش خسارت خشکی و کودهای شیمیایی گردد. به همین دلیل استفاده از فناوری‌های نوین و کودهای زیستی به عنوان جایگزین مناسب مورد توجه قرار گرفته است.

کودهای زیستی حاوی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید حل‌کننده عناصر غذایی می‌باشند که با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌هایی باعث آزادسازی عناصر از ترکیب‌های پیچیده معدنی و آلی شده و در نتیجه منجر به افزایش جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار^۱، یکی از عوامل بیولوژیک خاک-های زراعی بوده که به دلیل افزایش سطح مؤثر ریشه و به دنبال آن سطح جذب و توانایی افزایش جذب فسفر و سایر عناصر غذایی به واسطه فعالیت آنزیم فسفاتاز^۲ و ترکیب‌های آلی حل‌کننده فسفات نامحلول، موجب استفاده تجاری از این قارچ‌ها به عنوان کودهای زیستی شده است (ویلن و همکاران ۲۰۱۳). قارچ میکوریزا مقاومت گیاهان در برابر تعدادی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی از قبیل خشکی، کمبود مواد غذایی، رسوب فلز سمی و شوری را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داده است که کاربرد قارچ میکوریزا بویژه در گیاهان دارویی منجر به افزایش فتوسنتز، جذب رطوبت بیشتر از خاک، افزایش کلروفیل و تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه در شرایط تنش خشکی شده است (کاپور و همکاران ۲۰۱۷؛ وارما و همکاران ۲۰۱۸). بطور مشابه عبدالهی ارپناهی و فیضیان (۲۰۱۹) با کاربرد

² - Phosphatase

¹- Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)

مختلف نانو دی اکسید تیتانیوم (صفر، ۱۰ و ۴۰ پی پی ام) در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی روی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش شد که بیشترین عملکرد اسانس با محلول پاشی ۱۰ ppm نانو دی اکسید تیتانیوم تحت شرایط تنش خشکی بدست آمد (محمدی و همکاران ۲۰۱۶).

کشت خالص گیاهان هر چند دارای عملکرد بالایی است ولی این سیستم به هزینه و انرژی بالایی نیاز داشته و از نظر بوم‌شناختی باعث بروز مشکلاتی از جمله افزایش آلودگی، از بین رفتن منابع طبیعی و کاهش تنوع زیستی می‌شود. بنابراین، بازنگری در روش‌های متداول کشاورزی و راهکارهای مربوط به استفاده‌ی بیشتر و بهتر از منابع و افزایش راندمان تولید ضروری می‌باشد. کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های کشاورزی پایدار قابل اجرا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، می‌تواند به منظور افزایش تنوع و سود حاصل از آن‌ها در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵؛ امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۸).

از طرفی کشت و کار گیاهان دارویی و معطر می‌تواند نقش مهمی در سیستم‌های کشاورزی پایدار ایفا نماید. گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از کشورهای جهان را به خود اختصاص می‌دهند. به دلیل پتانسیل فوق‌العاده این گیاهان در طب مدرن و سنتی، در سال‌های اخیر کشت و کار این گیاهان اهمیت بیشتری پیدا کرده است (گواهی و همکاران ۲۰۱۷). تمایل به تولید گیاهان دارویی و معطر و تقاضا برای محصولات آن‌ها در شرایط تولیدی اکولوژیک رو به افزایش می‌باشد. زیرا این سیستم کشاورزی براساس اصول اکولوژیکی بوده و در آن کیفیت محصولات مهم‌تر از کمیت آن‌ها می‌باشد. نعناع‌فلفلی (*Mentha piperita* L.) و مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.) جزو گیاهان چندساله دارویی و متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) می‌باشند. عملکرد تر نعناع فلفلی ۱۵ الی ۲۰ تن در هکتار و عملکرد اسانس آن ۶۰ الی ۷۰ کیلوگرم اسانس در هکتار می‌باشد. اسانس نعناع‌فلفلی دارای ترکیب‌های منتول، منتوفوران، منتون، پیپریتون، پولگون و سینئول است

Rhizophagus و *Funneliformis mosseae* و *intraradices* روی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) مشاهده کردند که تلقیح با قارچ میکوریزا اثرات سوء تنش آبی را کاهش داد. به‌طوری‌که در شرایط تنش، تلقیح با قارچ میکوریزا به افزایش وزن خشک ریشه، ساقه، درصد و عملکرد اسانس منجر گردید.

فناوری نانو یک استراتژی مدرنی می‌باشد که نشان داده می‌تواند مقاومت گیاهان را در برابر تنش خشکی افزایش دهد. نانوذره‌ها موادی با اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر تعریف می‌شوند که به راحتی جذب گیاه می‌شوند. نانو ذره‌ها دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردی از جمله مساحت سطح بالا، حداکثر جذب، واکنش‌پذیری بالا، پایداری و آلودگی کمتری می‌باشند (توکشا و همکاران ۲۰۲۱). اثرات مثبت برخی از نانوذره‌ها از قبیل نانو دی اکسید تیتانیوم در رابطه با افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزیستی از جمله تنش خشکی در برخی از گیاهان به اثبات رسیده است (سیدیکیو و همکاران ۲۰۱۵). نانو دی اکسید تیتانیوم می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان کلروفیل و فتوسنتز را افزایش و از این طریق اثرات سوء خشکی را کاهش و باعث بهبود صفات رشدی گیاه گردد (اینگل ۲۰۲۱). فاضلی نسب و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی (۹۰، ۷۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و کاربرد نانو دی اکسید تیتانیوم (صفر، یک و سه میلی‌گرم در لیتر) روی آویشن باغی گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ساقه گردید. بیشترین وزن خشک ساقه در آبیاری نرمال با کاربرد یک میلی‌گرم در لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم بدست آمد. نانو دی اکسید تیتانیوم دارای خاصیت فتوکاتالیستی می‌باشد و جذب نور را بهبود می‌بخشد و باعث انتقال انرژی نورانی به الکترون‌ها و تبدیل آن‌ها به انرژی شیمیایی و در نهایت افزایش تثبیت کربن دی اکسید می‌گردد. همچنین نانو دی اکسید تیتانیوم با بهبود جذب عناصر غذایی (فسفر و نیتروژن) و محتوای کلروفیل (a و b) منجر به بهبود فتوسنتز، رشد و در نهایت تولید متابولیت‌های ثانویه می‌گردد (اینگل ۲۰۲۱؛ گوهری و همکاران ۲۰۲۰؛ احمد و همکاران ۲۰۱۸). در پژوهشی با ارزیابی سطوح

دوره‌های آبیاری و منابع کودی مختلف بر کمیت و کیفیت اسانس مریم‌گلی در کشت مخلوط با نعنای فلفلی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۴۸۵ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک مرکب از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری انتخاب و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین، داده‌های هواشناسی مربوط به میانگین دما و مجموع بارش ماهانه در جدول ۲ ارائه شده است.

(پیتز ۲۰۰۶). همچنین عملکرد تر مریم‌گلی ۵ الی ۸ تن در هکتار و عملکرد اسانس آن ۸ الی ۱۰ کیلوگرم اسانس در هکتار می‌باشد. ترکیب‌های اصلی اسانس مریم‌گلی شامل توجن، سینئول، کامفور و بورنئول می‌باشد. اسانس هر دو گیاه خاصیت ضد میکروبی داشته و از آن در صنایع داروسازی، غذایی و همچنین در صنایع بهداشتی و آرایشی استفاده می‌شود. (امید بیگی ۲۰۱۱).

با توجه به افزایش تقاضای استفاده از گیاهان دارویی، آگاهی از عوامل مدیریتی مناسب در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای به دست آوردن حداکثر عملکرد گیاهان دارویی بسیار مهم می‌باشد. برای رسیدن به این هدف می‌توان از سیستم‌های مختلف کشاورزی پایدار و همچنین کاربرد قارچ میکوریزا و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بهره برد. بنابراین، پژوهشی با هدف ارزیابی اثر

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

ماده آلی (g. kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی (ds. m ⁻¹)	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmolc. kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg. kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg. kg ⁻¹)	نیتروژن کل (g. kg ⁻¹)	بافت خاک
۸/۱	۱/۱۷	۷/۷۳	۲۶/۵	۵۶۳/۸۵	۹/۷	۰/۸۷	شنی رسی لومی

جدول ۲- میانگین دما و مجموع بارش ماهانه در طول دوره رشد گیاهان مورد مطالعه

میانگین دمای ماهانه (°C)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۹۸	۱۰/۴	۱۸/۵	۲۵/۷	۲۷/۶	۲۷/۸	۲۲/۱
۱۳۹۹	۱۱/۸	۱۹/۱	۲۴/۲	۲۸/۰	۲۵/۱	۲۳/۸
مجموع بارش ماهانه (mm)						
۱۳۹۸	۵۱/۳	۳۷/۸	۴/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰
۱۳۹۹	۶۳/۳	۱۲/۰	۲/۶	۰/۱	۱/۲	۰/۰

طرح آزمایشی و تیمارهای مورد آزمایش

آزمایش به صورت کرت‌های دو بار خرد شده^۱ بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با ۳۶ تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول رژیم‌های آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از ۲۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز

رطوبتی (MAD₂₅) به عنوان آبیاری نرمال، آبیاری پس از ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD₅₀) به عنوان تنش ملایم و آبیاری پس از ۷۵ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD₇₅) به عنوان تنش شدید می‌باشد. فاکتور فرعی الگوهای کشت (کشت خالص

^۱ - Split split plot

$$I_g = [I_d \times 100] / E_a \quad \text{رابطه ۳}$$

در این روابط I_g ، E_a ، I_d ، p ، d ، θ_{pwp} ، θ_{fc} ظرفیت زراعی خاک (۲۷/۱ درصد)، عمق خاک (۲۰ سانتی‌متر)، درصد تنش اعمال شده (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)، عمق خالص آبیاری (سانتی‌متر)، کارایی آبیاری (۶۵ درصد در نظر گرفته شده است) و عمق ناخالص آبیاری (سانتی‌متر) در تنش‌های مختلف بودند. برای تعیین زمان آبیاری در مراحل مختلف رشد، از رابطه زیر استفاده گردید (فاضل و همکاران ۲۰۱۷):

$$MAD = \theta_{fc} - (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times a \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه a تنش‌های اعمال شده در تیمارهای آبیاری (۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵) می‌باشد. همچنین برای محاسبه حجم آبیاری، از حاصل ضرب مقدار عمق ناخالص آبیاری محاسبه شده در مساحت هر کرت استفاده شد. با توجه به اینکه نوع آبیاری مورد استفاده در این آزمایش قطره‌ای بود، برای محاسبه میزان زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم مطلوب هر کرت، نیاز به تعیین میزان سطح خیس شونده‌ی خاک (P_w) بود (مومیوند ۲۰۱۶).

$$P_w = \frac{W}{D}$$

در این رابطه P_w ، W و D به ترتیب درصد سطح خیس شده مزرعه، عرض خیس شده توسط قطره چکان و فاصله بین ردیف‌های کشت می‌باشد. با توجه به این که تعداد قطره چکان موجود در هر کرت و همچنین دبی آب ورودی به سطح هر کرت مشخص می‌باشد، زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم آبیاری مورد نظر برای هر کرت از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (مومیوند ۲۰۱۶):

نعناع‌فللی، کشت خالص مریم‌گلی، کشت مخلوط یک ردیف نعناع‌فللی + یک ردیف مریم‌گلی) و فاکتور فرعی فرعی منابع مختلف کودی شامل عدم مصرف کود به عنوان شاهد، نانو دی‌اکسید تیتانیوم (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) و کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بود. در هر دو سال به منظور آماده‌سازی زمین برای کاشت، در اوایل پاییز سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ شخم نیمه‌عمیق توسط گاواهن برگرداندار انجام شد و در بهار پس از انجام شخم سطحی، برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول سه متر با فواصل بین و روی ردیف به ترتیب ۴۰ و ۲۵ سانتی‌متر برای نعناع‌فللی و مریم‌گلی در نظر گرفته شد. قارچ میکوریزای مورد استفاده در این تحقیق، 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. در هر دو سال نشاهای نعناع‌فللی و مریم‌گلی در ۱۵ اردیبهشت ماه با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک کاشته شدند. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. به منظور سازگاری بیشتر نشاهای منتقل شده به خاک و حصول رشد بهینه در یک ماه اول هیچ گونه تنش‌های اعمال نگردید. همچنین، مبارزه با علف‌های هرز به صورت منظم و بطور دستی انجام شد. برای اعمال سطوح تنش خشکی از دستگاه رطوبت‌سنج تی‌دی‌آر^۱ (مدل TRIME-FM, England) استفاده گردید. تیمارهای آبیاری بر اساس حداکثر درصد تخلیه مجاز^۲ (MAD) از آب در دسترس^۳ (SAW) انجام شد. اعمال تنش‌های مختلف با استفاده از روابط زیر مورد محاسبه قرار گرفت (بحرینی‌نژاد و همکاران ۲۰۱۳):

$$SAW = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times d \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

$$I_d = SAW \times p \quad \text{رابطه ۲}$$

³- Soil available water

¹ - Time-Domain Reflectometry (TDR)

²- Maximum allowable depletion

$$\text{رابطه ۶} \quad \text{حجم آب مورد نیاز} = \frac{\text{دبی آب ورودی} \times \text{تعداد قطره چکان در هر کرت}}{\text{زمان مورد نیاز}}$$

در هر دو سال، نعنای فلفلی و مریم‌گلی در مرحله گلدهی کامل برداشت شدند. بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، برداشت در مساحتی معادل ۲ مترمربع با هدف اندازه‌گیری وزن تر بوته‌ها صورت گرفت. لازم به ذکر است در هر دو سال برداشت نعنای فلفلی و مریم‌گلی به ترتیب در نیمه اول و دوم مرداد ماه بود. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت، در سایه تا ثابت شدن وزن آن‌ها نگهداری شدند. برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر 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 ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند. درصد و عملکرد اسانس براساس روابط ۷ و ۸ محاسبه شدند (مرشدلو و همکاران ۲۰۱۷).

$$\text{رابطه ۷} \quad ۱۰۰ \times (\text{وزن خشک نمونه (گرم)} / \text{وزن اسانس}) = \text{درصد اسانس}$$

$$\text{رابطه ۸} \quad \text{درصد اسانس} \times \text{عملکرد ماده خشک} = \text{عملکرد اسانس}$$

به منظور ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، از شاخص‌های نسبت برابری زمین معمولی (LER)^۲، نسبت برابری زمین استاندارد (LER_s)^۳، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER)^۴، کارایی استفاده از زمین (LUE)^۵، نسبت رقابت (CR)^۶، ضریب تراکم نسبی (K)^۸، کاهش واقعی عملکرد (AYL)^۹، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)^{۱۰}، سودمندی کشت مخلوط (IA)^{۱۱}، مجموع ارزش نسبی (RVT)^{۱۲} و شاخص برتری مالی کشت مخلوط (MAI)^{۱۳} استفاده شد. نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می‌گردد و بوسیله آن مشخص می‌شود که برای بدست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار از زمین به صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (یلماز و همکاران ۲۰۱۵).

به منظور تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه نعنای فلفلی، در آخر فصل رشد نمونه‌های ریشه جمع‌آوری شدند. ابتدا برای حذف محتویات داخل سلول‌ها، ریشه‌ها در داخل محلول پتاسیم هیدرواکسید (KOH) ۱۰ درصد به مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه روی چراغ بونزن حرارت داده شدند. بعد از شستشوی ریشه‌ها با آب مقطر، ریشه‌ها در داخل محلول اسید هیدروکلریک (HCL) ۲ درصد به مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه اسیدی شدند. سپس برای رنگ‌آمیزی، ریشه‌ها در داخل لاکتوفنول کاتن بلو ۱ درصد به مدت ۱۰ دقیقه روی چراغ بونزن حرارت داده شدند، بعد از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با آب مقطر شستشو داده شدند (فیلیپس و هایمن ۱۹۷۰؛ کوسکی و جیما ۱۹۸۹). برای اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون از روش خطوط متقاطع^۲ استفاده گردید (جیوانتی و ماس ۱۹۸۰).

$$\text{رابطه ۹} \quad \text{LER} = (Y_{pi}/Y_{pm}) + (Y_{si}/Y_{sm})$$

^۸ - Relative crowding coefficient (K)

^۹ - Actual yield loss (AYL)

^{۱۰} - System productivity index (SPI)

^{۱۱} - Intercropping advantage (IA)

^{۱۲} - Relative value total (RVT)

^{۱۳} - Monetary advantage intercropping (MAI)

^۱ - Lactophenol cotton blue

^۲ - Gridline intersect method

^۳ - Land Equivalent Ratio (LER)

^۴ - Land Equivalent Ratio Standard (LER_s)

^۵ - Area time equivalent ratio (ATER)

^۶ - land use efficiency (LUE)

^۷ - Competition Ratio (CR)

در تعیین نسبت برابری زمین استاندارد برای تیمارهای مختلف، کشت خالصی به کار می‌رود که حداکثر عملکرد

را در بردارد. نسبت برابری زمین استاندارد (LER_s) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (واندرمیر ۱۹۸۹):

$$LER_s = (Y_{pi}/Y_{pm \text{ Max.}}) + (Y_{si}/Y_{sm \text{ Max.}}) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در این رابطه $Y_{pm \text{ Max.}}$ و $Y_{sm \text{ Max.}}$ به ترتیب حداکثر عملکرد نعنای فلفلی و مریم‌گلی در کشت خالص می‌باشد.

تراکم نسبی (K)، میزان رقابت بین گیاهان کشت شده در کشت مخلوط را نشان می‌دهد (دیما و همکاران ۲۰۰۷).

$$K = k_p \times K_s \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$K_p = (Y_{pi} \times Z_{si}) / [(Y_{pm} - Y_{pi}) \times Z_{pi}] \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$K_s = (Y_{si} \times Z_{pi}) / [(Y_{sm} - Y_{si}) \times Z_{si}] \quad \text{رابطه ۱۷}$$

به منظور بدست آوردن کاهش واقعی عملکرد (AYL) از رابطه زیر استفاده شد (گیتاری و همکاران ۲۰۲۰):

$$AYL = AYL_p + AYL_s \quad \text{رابطه ۲۰}$$

$$AYL_p = [LER_p \times (100/Z_p) - 1] \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$AYL_s = [LER_s \times (100/Z_s) - 1] \quad \text{رابطه ۲۲}$$

برای تعیین شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط (SPI) از رابطه زیر استفاده شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱):

$$SPI = Y_{pi} + (Y_{pm}/Y_{sm}) \times Y_{si} \quad \text{رابطه ۲۳}$$

به منظور تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط (IA)، برتری مالی کشت مخلوط (MAI) و مجموع ارزش نسبی (RVT) استفاده شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱؛ گیتاری و همکاران ۲۰۲۰). در این شاخص‌ها، قیمت نعنای فلفلی (P_p) و مریم‌گلی (P_s) به ترتیب کیلویی ۵۰۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد (براساس میانگین قیمت بازار در سال ۱۳۹۹).

$$IA = IA_p + IA_s \quad \text{رابطه ۲۴}$$

$$IA_p = AYL_p \times P_p \quad \text{رابطه ۲۵}$$

$$IA_s = AYL_s \times P_s \quad \text{رابطه ۲۶}$$

$$MAI = (Y_{pi} \times P_p + Y_{si} \times P_s) \times (LER - 1 / LER) \quad \text{رابطه ۲۷}$$

$$RVT = (Y_{pi} \times P_p + Y_{si} \times P_s) / Y_{pm} \times P_p \quad \text{رابطه ۲۸}$$

$$Y_{pm} P_p > Y_{sm} P_s$$

یکی از معایب نسبت برابری زمین این است که عامل زمان در نظر گرفته نمی‌شود. در کشت مخلوط گاهی اتفاق می‌افتد که دوره رویش گیاهان بیش از کشت خالص است و یا به عبارتی دیگر زراعت مخلوط زمین را بیشتر از کشت خالص یک گیاه اشغال می‌کنند. با توجه به این امر و در نظر گرفتن عامل زمان، شاخص نسبت معادل کشت و زمان ($ATER$) پیشنهاد شده است (ویلی ۱۹۷۹).

رابطه

$$ATER = (Y_{pi}/Y_{pm} \times t_p) + (Y_{si}/Y_{sm} \times t_s) / t \quad \text{۱۱}$$

در این رابطه t_p طول دوره رشد نعنای فلفلی، t_s طول دوره رشد مریم‌گلی و t طول دوره رشد در کشت مخلوط می‌باشد.

به دلیل این که LER بیش از اندازه واقعی و $ATER$ کمتر از عدد حقیقی سودمندی کشت مخلوط را نشان می‌دهد، بهتر است میانگین این دو شاخص برای ارزیابی کشت مخلوط استفاده گردد (سینگ و همکاران ۲۰۱۳).

رابطه

$$LUE (\%) = [LER + ATER / 2] \times 100 \quad \text{۱۲}$$

نسبت رقابت، شاخص مهمی برای دانستن توانایی رقابت یک محصول با محصول دیگر است (ویلی و رائو ۱۹۸۰). با بررسی مفهومی به نام نسبت رقابت اگر چه میزان اضافه محصول نشان داده نمی‌شود، ولی با اشاره به شدت رقابت بین دو گونه در تیمارهای مختلف می‌توان نسبت به سودمندی کشت مخلوط قضاوت کرد (یلماز و همکاران ۲۰۱۵).

$$CR_p = (LER_p / LER_s) \times (Z_{si} / Z_{pi}) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$CR_s = (LER_s / LER_p) \times (Z_{pi} / Z_{si}) \quad \text{رابطه ۱۴}$$

در این رابطه Z_{si} و Z_{pi} به ترتیب نسبت نعنای فلفلی و مریم‌گلی کاشته شده در کشت مخلوط می‌باشد. ضریب

هزینه‌های متغیر در تیمارهای مختلف، بدست آمد (سیمیت ۱۹۸۸).

رابطه ۲۹ هزینه‌های متغیر - درآمد حاصل از اسانس = سود خالص

به منظور انجام بررسی اقتصادی نتایج آزمایش، ابتدا هزینه‌های متغیر در تیمارهای مختلف محاسبه شدند. سپس سود خالص، از تفاضل ارزش عملکرد اسانس و

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس مرکب داده‌ها به صورت کرت‌های دو بار خرد شده با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office 2013 و از Excel استفاده گردید.

نتایج

۱- نعنای فلفلی

۱-۱- کلونیزاسیون ریشه نعنای فلفلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کلونیزاسیون ریشه نعنای فلفلی تحت تأثیر معنی‌دار اثرات جداگانه رژیم‌های مختلف آبیاری و منابع کودی و اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان کلونیزاسیون ریشه نعنای فلفلی (۸۲/۳۳ درصد) در آبیاری نرمال با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۴). با افزایش تنش خشکی از میزان کلونیزاسیون ریشه کاسته شد. به طوری که، کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش ملایم (MAD₅₀) و شدید (MAD₇₅) به ترتیب ۱۷/۵ و ۴۳/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

۲-۱- عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی

اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت و منابع کودی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، رژیم‌های آبیاری × منابع کودی و الگوی کشت ×

منابع کودی بر عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی معنی‌دار گردید (جدول ۳). بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، بیشترین (۶۳/۱۹ گرم در مترمربع) عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تنش شدید بدون مصرف کود بدست آمد. تنش‌های ملایم و شدید به ترتیب منجر به کاهش ۲۸/۷ و ۵۵/۱ درصدی عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی شدند (جدول ۴). همچنین بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، بیشترین (۱۸۱/۴ گرم در مترمربع) عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی در آبیاری نرمال در کشت خالص بدست آمد. کشت خالص منجر به افزایش ۳۴/۹ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به کشت مخلوط گردید (جدول ۵). علاوه بر این براساس نتایج اثر متقابل الگوی کشت × منابع کودی، بیشترین (۱۴۴/۲ گرم در متر مربع) و کمترین (۸۱/۸ گرم در متر مربع) عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی به ترتیب در کشت خالص با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کشت مخلوط بدون مصرف کود بدست آمد. کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش ۲۳/۸ درصدی عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی نسبت به شاهد گردید (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر منابع کودی و الگوهای کشت بر صفات مورد مطالعه نعناع فلفلی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات کلونیزاسیون ریشه	عملکرد ماده خشک	درصد اسانس	عملکرد اسانس
سال	۱	۸۴/۰۳ ^{ns}	۱۵/۶۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
خطای a	۴	۱۳/۷۲	۸۱/۷۳	۰/۰۱	۰/۰۳
رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۴۳۶۰/۷۲ ^{**}	۹۳۰۱۴/۳۷ ^{**}	۱/۱۰ ^{**}	۱۹/۰۶ ^{**}
سال × رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۲۲/۲۴ ^{ns}	۲۷/۳۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
خطای b	۸	۲۳/۹۲	۱۳۱/۴۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲
الگوهای مختلف کشت	۱	۱۱۷/۳۶ ^{ns}	۴۲۱۸۷/۴۵ [*]	۰/۹۸ [*]	۶/۴۲ [*]
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۲	۲/۱۸ ^{ns}	۳۴۵۶/۷۵ [*]	۰/۲۳ ^{**}	۰/۵ [*]
سال × الگوی کشت	۱	۵/۴۴ ^{ns}	۱۲۶/۲۴ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۳۵ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۲	۶/۵۶ ^{ns}	۱۲۵/۲۷ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}
خطای c	۱۲	۳/۲۷	۳۳/۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲
منابع کودی	۳	۳۷۴۷۲/۱۹ ^{**}	۳۷۳۴/۱۹ ^{**}	۰/۲۲ ^{**}	۱/۷۰ ^{**}
رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۱۲۰۶/۰۱ ^{**}	۶۴۳/۰۷ ^{**}	۰/۰۳۲ [*]	۰/۲۶ ^{**}
الگوی کشت × منابع کودی	۳	۱۷/۳۱ ^{ns}	۳۳۷/۱۶ [*]	۰/۱۹ ^{**}	۰/۰۴۶ [*]
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۶	۲/۸۱ ^{ns}	۱۶۰/۲۰ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۳۱ ^{ns}
سال × منابع کودی	۳	۱۴/۵۳ ^{ns}	۱۱۸/۶۹ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۲۰/۳۹ ^{ns}	۱۳/۹۵ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}
سال × الگوی کشت × منابع کودی	۳	۴/۴۳ ^{ns}	۳۰/۳۰ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۴ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۶	۵/۱۰ ^{ns}	۴۳/۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۲۲ ^{ns}
خطا کل	۷۲	۱۲/۰۰	۵۶/۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (%)		۹/۹۸	۶/۵۱	۶/۴۴	۸/۶۲

^{**}، ^{*} و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

جدول ۴- میانگین کلونیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی در رژیم‌های

آبیاری و منابع کودی

تیمارها	کلونیزاسیون ریشه	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (g.m ⁻²)
شاهد	۶/۴۸ e	۱۴۰/۲ d	۱/۲ e	۱/۶۸ d
آبیاری نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۹/۰۸ e	۱۶۶/۶ b	۱/۳۲ d	۲/۱۹ b
نرمال قارچ میکوریزا	۸۲/۳ a	۱۵۸/۱ c	۱/۳۵ cd	۲/۱۱ bc
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۷۶/۴ b	۱۷۴/۵ a	۱/۳۳ d	۲/۲۹ a
شاهد	۶/۸۸ e	۹۹/۴ g	۱/۳۵ cd	۱/۳۳ f
تنش نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۶/۶۶ e	۱۱۴/۵ f	۱/۴۸ b	۱/۶۸ d
ملایم قارچ میکوریزا	۶۴/۳ c	۱۱۲/۴ f	۱/۴۱ bc	۱/۵۸ e
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۶۵/۹ c	۱۲۹/۹ e	۱/۶۳ a	۲/۰۸ c
شاهد	۵/۹ e	۶۳/۲ k	۱/۰۶ f	۰/۶۶ h
تنش نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۵/۷ e	۷۴/۴ i	۱/۲ e	۰/۸۹ g
شدید قارچ میکوریزا	۴۴/۵ d	۷۹/۳ h	۱/۱۷ e	۰/۹۲ g
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۴۲/۴ d	۷۰/۵ j	۱/۲۲ e	۰/۸۵ g

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- میانگین عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و الگوهای کشت

تیمارها	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (g.m ⁻²)
آبیاری نرمال	خالص ۱۸۱/۴ a مخلوط ۱۳۸/۳ b	۱/۲۲ c ۱/۳۸ b	۲/۲۲ c ۱/۹۱ b
تنش ملایم	خالص ۱۳۱/۱ b مخلوط ۹۶/۹۸ c	۱/۳۷ b ۱/۵۶ a	۱/۸۱ b ۱/۵۲ a
تنش شدید	خالص ۸۴/۶ c مخلوط ۵۹/۱ d	۱/۰۹ d ۱/۲۴ c	۰/۹۲ d ۰/۷۴ c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

جدول ۶- میانگین عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت و منابع کودی

تیمارها	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)	درصد اسانس	عملکرد اسانس (g.m ⁻²)
شاهد	۱۲۰/۱ c	۱/۱۴ d	۱/۳۹ d
کشت نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۳۴/۶ b	۱/۲۶ c	۱/۷۱ b
خالص قارچ میکوریزا	۱۳۰/۵ b	۱/۲۴ c	۱/۶۳ c
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۴۴/۲ a	۱/۲۷ c	۱/۸۷ a
شاهد	۸۱/۸ e	۱/۲۷ c	۱/۰۵ e
کشت نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۰۲/۴ d	۱/۴۱ b	۱/۴۶ d
مخلوط قارچ میکوریزا	۱۰۲/۷ d	۱/۳۸ b	۱/۴۴ d
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۰۵/۷ d	۱/۵۱ a	۱/۶۱ c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

۳-۱- درصد اسانس نعنای فلفلی

اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت و منابع کودی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، رژیم‌های آبیاری × منابع کودی و الگوی کشت × منابع کودی بر درصد اسانس نعنای فلفلی معنی‌دار گردید (جدول ۳). بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، بیشترین (۱/۶۳ درصد) و کمترین (۱/۰۶ درصد) درصد اسانس نعنای فلفلی به ترتیب در تنش ملایم با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تنش شدید بدون مصرف کود بدست آمد. درصد اسانس در آبیاری نرمال و تنش شدید به ترتیب ۱۱/۶ و ۲۰/۴ درصد نسبت به تنش ملایم کاهش یافت (جدول ۴). همچنین بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، بیشترین (۱/۵۶ درصد) و کمترین (۱/۰۹ درصد) درصد اسانس نعنای فلفلی به ترتیب در تنش ملایم در کشت مخلوط و تنش شدید در کشت خالص بدست آمد.

درصد اسانس نعنای فلفلی در کشت مخلوط ۱۳ درصد نسبت به کشت خالص افزایش یافت (جدول ۵). علاوه بر این براساس نتایج اثر متقابل الگوی کشت × منابع کودی، بیشترین (۱/۵۱ درصد) درصد اسانس نعنای فلفلی در کشت مخلوط با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. (جدول ۶).

۴-۱- عملکرد اسانس نعنای فلفلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر معنی‌دار اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت و منابع کودی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، رژیم‌های آبیاری × منابع کودی و الگوی کشت × منابع کودی قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، بیشترین (۲/۲۹ گرم در مترمربع) و کمترین (۰/۶۶ گرم در متر مربع) عملکرد اسانس نعنای فلفلی به

تیتانیوم بدست آمد. در تنش‌های ملایم و شدید عملکرد ماده خشک مریم‌گلی به ترتیب ۲۷ و ۶۴/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۸). همچنین بر اساس اثر متقابل الگوی کشت × منابع کودی، بیشترین (۱۷۲/۷ گرم در مترمربع) عملکرد ماده خشک مریم‌گلی در کشت خالص با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش ۳۶/۱ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به عدم مصرف کود گردید. علاوه بر این، کشت خالص منجر به افزایش ۳۳/۵۲ درصدی عملکرد ماده خشک مریم‌گلی نسبت به کشت مخلوط گردید (جدول ۹).

۲-۲- عملکرد اسانس مریم‌گلی

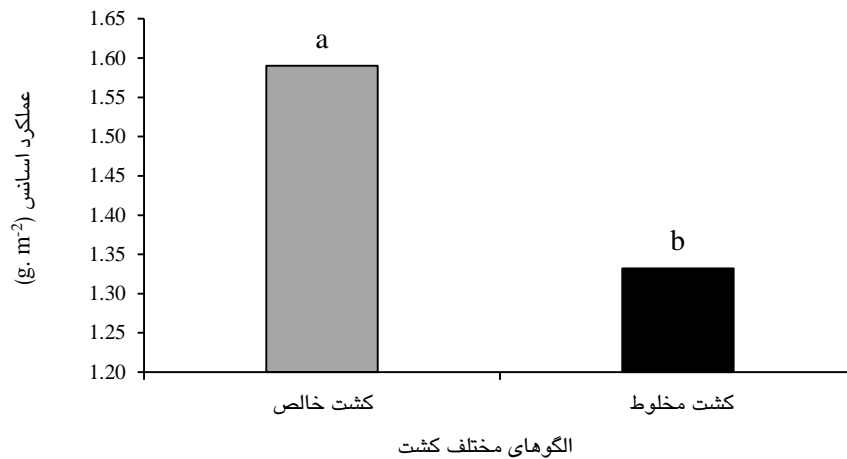
اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت، منابع کودی و اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی بر عملکرد اسانس مریم‌گلی معنی‌دار گردید (جدول ۷). بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، بیشترین (۲/۴۵ گرم در متر مربع) عملکرد اسانس در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کاربرد جداگانه نانو دی‌اکسید تیتانیوم در تنش ملایم نداشت. عملکرد اسانس در آبیاری نرمال و تنش شدید به ترتیب ۳/۷ و ۶۲/۸ درصد نسبت به تنش ملایم کاهش یافت. همچنین کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کاربرد جداگانه نانو دی‌اکسید تیتانیوم به ترتیب منجر به افزایش ۸۳/۵ و ۴۲/۷ درصدی عملکرد اسانس نسبت به عدم مصرف کود گردید (جدول ۸). علاوه بر این، کشت خالص منجر به افزایش ۱۹/۵ درصدی عملکرد اسانس نسبت به کشت مخلوط گردید (شکل ۱).

ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تنش شدید بدون مصرف کود بدست آمد. با افزایش تنش خشکی عملکرد اسانس نعناع‌فللی کاهش یافت، بطوریکه میزان صفت ذکر شده در تنش‌های ملایم و شدید به ترتیب ۱۹/۳ و ۵۹/۹ درصد کاهش یافت (جدول ۴). همچنین بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، بیشترین (۲/۲۲ گرم در متر مربع) و کمترین (۰/۷۴ گرم در متر مربع) عملکرد اسانس نعناع‌فللی به ترتیب در آبیاری نرمال در کشت خالص و تنش شدید در کشت مخلوط بدست آمد. کشت خالص منجر به افزایش ۱۸/۷ درصدی عملکرد اسانس نعناع‌فللی نسبت به کشت مخلوط گردید (جدول ۵). علاوه بر این، بر اساس نتایج اثر متقابل الگوی کشت × منابع کودی، بیشترین (۱/۸۷ گرم در متر مربع) و کمترین (۱/۰۵ گرم در متر مربع) عملکرد اسانس نعناع‌فللی به ترتیب در کشت خالص با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کشت مخلوط بدون مصرف کود بدست آمد. همچنین کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش ۱۴/۹ درصدی عملکرد اسانس نعناع‌فللی نسبت به عدم مصرف کود گردید (جدول ۶).

۲- نتایج مربوط به مریم‌گلی

۱-۲- عملکرد ماده خشک مریم‌گلی

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد عملکرد ماده خشک مریم‌گلی تحت تأثیر معنی‌دار اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت و منابع کودی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی و الگوهای کشت × منابع کودی قرار گرفت. بر اساس اثر متقابل رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، بیشترین (۲۳۳/۷ گرم در متر مربع) عملکرد ماده خشک مریم‌گلی در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد اسانس مریم‌گلی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر منابع کودی و الگوهای کشت بر عملکرد ماده خشک و اسانس مریم‌گلی تحت رژیم‌های آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات عملکرد ماده خشک	میانگین مربعات عملکرد اسانس
سال	۱	۲۷۰/۳۱ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}
خطای a	۴	۴۷۴/۹۴	۰/۰۴
رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۱۷۰۴۷۸/۵۵ [*]	۴۷/۰۳ [*]
سال × رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۷۳۳/۵۸ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}
خطای b	۸	۱۸۳/۳۵	۰/۰۵
الگوهای مختلف کشت	۱	۴۹۲۷۶/۷۹ [*]	۲/۴۰ ^{**}
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۲	۴۱۲۹/۷۵ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}
سال × الگوی کشت	۱	۴۴/۰۰ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۲	۳۴۰/۷۶ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}
خطای c	۱۲	۱۰۲/۳۸	۰/۰۳
منابع کودی	۳	۲۴۹۷۸/۸۴ ^{**}	۴/۴۲ [*]
رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۷۶۹۵/۵۵ [*]	۱/۸۵ ^{**}
الگوی کشت × منابع کودی	۳	۱۴۵۶/۱۲ [*]	۰/۰۳۳ ^{ns}
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۶	۳۹۶/۶۹ ^{ns}	۰/۰۸ ^{ns}
سال × منابع کودی	۳	۵۸۶/۲۰ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۳۴۵/۶۰ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}
سال × الگوی کشت × منابع کودی	۳	۱۱۶/۲۱ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۶	۱۰۹/۶۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}
خطا کل	۷۲	۳۰۴/۱۷	۰/۰۵
ضریب تغییرات (%)		۱۳/۵۲	۱۵/۱۹

ns و *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۸- میانگین عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس مریم‌گلی تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و منابع کودی

تیمارها	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)	عملکرد اسانس (g.m ⁻²)
شاهد	۱۶۱/۸ bc	۱/۱۷ de
آبیاری نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۶۵/۰ bc	۱/۶۸ bc
نرمال قارچ میکوریزا	۱۷۹/۹ b	۱/۹۳ b
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۲۳۲/۷ a	۲/۴۵ a
شاهد	۱۱۷/۲ d	۱/۳۳ cd
تنش نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۳۹/۹ cd	۲/۰۳ ab
ملایم قارچ میکوریزا	۱۳۲/۵ cd	۱/۷۳ bc
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۵۱/۱ bcd	۲/۴۱ a
شاهد	۵۹/۸ e	۰/۵۹ f
تنش نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۶۳/۲ e	۰/۶۸ f
شدید قارچ میکوریزا	۶۶/۳ e	۰/۷۱ f
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۷۶/۳ e	۰/۸۱ ef

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد ماده خشک مریم‌گلی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت و منابع کودی

تیمارها	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)
شاهد	۱۲۷/۵ d
کشت نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۴۱/۳ bc
خالص قارچ میکوریزا	۱۴۸/۱ b
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۷۲/۷ a
شاهد	۹۸/۴ e
کشت نانو دی‌اکسید تیتانیوم	۱۰۴/۲ e
مخلوط قارچ میکوریزا	۱۰۴/۴ e
نانو دی‌اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۳۴/۷ cd

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

۳- شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

۳-۱- شاخص‌های اکولوژیکی

۳-۱-۱- نسبت برابری زمین (LER)

نسبت برابری زمین معمولی در تمامی تیمارها بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط نعنای‌قلقی با مریم‌گلی نسبت به کشت خالص دو گیاه می‌باشد. بیشترین (۱/۵۶) و کمترین (۱/۳۵) نسبت برابری

زمین معمولی به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و تنش شدید و در عدم مصرف کود بدست آمد. همچنین بیشترین میزان نسبت برابری زمین استاندارد نیز در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- شاخص‌های اکولوژیکی کشت مخلوط نعنای فلفلی و مریم‌گلی در رژیم‌های مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

تیمارها	LER معمولی			LER استاندارد			ATER	کارایی استفاده از زمین (LUE)
	نعنای فلفلی	مریم‌گلی	کل	نعنای فلفلی	مریم‌گلی	کل		
شاهد	۰/۷۱	۰/۷۵	۱/۴۶	۰/۶۰	۰/۵۳	۱/۱۲	۱/۳۶	۱۴۰/۸
آبیاری	۰/۷۸	۰/۷۱	۱/۴۹	۰/۷۵	۰/۵۲	۱/۲۷	۱/۳۸	۱۴۳/۴
نرمال	۰/۷۷	۰/۶۲	۱/۳۹	۰/۷۰	۰/۵۲	۱/۲۳	۱/۲۷	۱۳۳/۱
	۰/۷۸	۰/۷۸	۱/۵۶	۰/۷۸	۰/۷۸	۱/۵۶	۱/۴۵	۱۵۰/۴
شاهد	۰/۶۹	۰/۷۴	۱/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۸	۰/۷۹	۱/۳۳	۱۳۸/۱
تنش ملایم	۰/۷۵	۰/۷۶	۱/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۹۶	۱/۴۰	۱۴۵/۳
	۰/۷۷	۰/۷۴	۱/۵۱	۰/۴۸	۰/۴۰	۰/۸۸	۱/۴۰	۱۴۵/۵
	۰/۶۸	۰/۷۸	۱/۴۶	۰/۵۴	۰/۵۰	۱/۰۴	۱/۳۶	۱۴۱/۳
شاهد	۰/۶۰	۰/۷۵	۱/۳۵	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۴۲	۱/۲۶	۱۳۰/۸
تنش شدید	۰/۷۴	۰/۷۶	۱/۴۹	۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۵۳	۱/۳۹	۱۴۴/۱
	۰/۷۴	۰/۶۸	۱/۴۲	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۵۵	۱/۳۱	۱۳۶/۹
	۰/۷۱	۰/۷۸	۱/۴۹	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۵۵	۱/۳۹	۱۴۳/۹

سودمند بودن کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص می‌باشد (جدول ۱۰).

۳-۲- شاخص‌های رقابتی

نتایج نشان داد ضریب تراکم نسبی کل در همه تیمارها بیشتر از یک بدست آمد. بیشترین مقدار ضریب تراکم نسبی کل و کاهش واقعی عملکرد در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. (جدول ۱۱).

۳-۱-۲- نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و کارایی استفاده از زمین

بیشترین مقدار نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان و کارایی استفاده از زمین در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. همچنین مقادیر نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان در تمامی تیمارها بیشتر از یک بود که بیانگر

جدول ۱۱- شاخص‌های رقابتی کشت مخلوط نعنای فلفلی و مریم‌گلی در رژیم‌های مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

تیمارها	نسبت رقابت (CR)		کاهش واقعی عملکرد (AYL)		ضریب تراکم نسبی (K)	
	نعنای فلفلی	مریم‌گلی	نعنای فلفلی	مریم‌گلی	نعنای فلفلی	مریم‌گلی
شاهد	۰/۹۵	۱/۰۵	۰/۴۲	۰/۵۰	۲/۴۷	۲/۹۶
آبیاری	۱/۱۰	۰/۹۱	۰/۵۶	۰/۴۲	۳/۵۸	۲/۴۴
نرمال	۱/۲۳	۰/۸۱	۰/۵۳	۰/۲۴	۲/۲۷	۱/۶۴
	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۳/۶۱	۳/۵۱
شاهد	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۳۸	۰/۴۸	۲/۲۳	۲/۸۷
تنش	۰/۹۸	۱/۰۲	۰/۴۹	۰/۵۲	۱/۰۱	۲/۹۳
ملایم	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۵۴	۰/۴۸	۱/۰۲	۲/۸۶
	۰/۸۸	۱/۱۴	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۹۳	۲/۵۴
شاهد	۰/۸۱	۱/۲۴	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۷۰	۲/۹۶
تنش	۰/۹۷	۱/۰۳	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۹۹	۲/۸۰
شدید	۱/۰۸	۰/۹۳	۰/۴۸	۰/۳۷	۰/۸۵	۲/۱۷
	۰/۹۰	۱/۱۱	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۹۸	۲/۴۳

۳-۳- شاخص‌های اقتصادی

مقادیر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط (IA)، برتری مالی کشت مخلوط (MAI)، مجموع ارزش نسبی (RVT) و شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) در جدول ۱۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر سودمندی کشت مخلوط و برتری مالی کشت مخلوط مثبت بودند. بیشترین میزان سودمندی کشت مخلوط کل، برتری مالی

کشت مخلوط، مجموع ارزش نسبی و شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. بیشتر بودن شاخص بهره‌وری سیستم با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بیانگر افزایش کارایی سیستم کشت مخلوط می‌باشد.

جدول ۱۲- شاخص‌های اقتصادی کشت مخلوط نعنای فلفلی و مریم‌گلی در رژیم‌های مختلف آبیاری با کاربرد منابع کودی

شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)	مجموع ارزش نسبی (RVT)	سودمندی کشت مخلوط (IA)			برتری مالی کشت مخلوط (MAI)	تیماها	
		کل	مریم‌گلی	نعناع فلفلی			
۲۳۹/۱	۰/۹۷	۲۸۶۴۷۸۶/۲	۷۴۲۶۹۳/۲	۲۱۲۲۰۹۳/۰	۲۴۹۱۱۰/۸	شاهد	آبیاری نرمال
۲۷۸/۹	۱/۰۰	۳۴۴۴۹۳۳/۸	۶۲۸۲۵۶/۵	۲۸۱۶۶۷۷/۳	۳۰۸۴۰۱/۲	نانو دی‌اکسید تیتانیوم	
۲۴۸/۳	۱/۰۰	۳۰۲۲۳۹۴/۵	۳۶۲۸۲۰/۰	۲۶۵۹۵۷۴/۵	۲۴۸۹۶۸/۰	قارچ میکوریزا	
۳۰۵/۵	۱/۱۰	۳۶۶۳۱۵۹/۴	۸۳۴۶۹۲/۲	۲۸۲۸۴۶۷/۲	۳۸۵۶۰۹/۳	قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم	
۲۳۵/۲	۰/۹۴	۲۶۲۷۴۲۹/۴	۷۲۴۵۹۵/۴	۱۹۰۲۸۳۴/۰	۱۶۷۵۸۳/۹	شاهد	تنش ملایم
۱۹۷/۷	۱/۰۲	۳۲۴۰۶۸۴/۱	۷۸۶۰۷۲/۶	۲۴۵۴۶۱۱/۵	۲۲۵۶۴۱/۳	نانو دی‌اکسید تیتانیوم	
۱۸۳/۴	۱/۰۳	۳۴۲۶۲۴۸/۴	۷۲۲۰۳۶/۵	۲۷۰۴۲۱۱/۹	۲۱۲۰۸۷/۴	قارچ میکوریزا	
۲۲۵/۹	۰/۹۴	۲۶۷۰۴۰۴/۹	۸۳۹۲۵۶/۱	۱۸۳۱۱۴۸/۸	۲۲۹۷۲۵/۵	قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم	
۱۰۶/۵	۰/۷۸	۱۷۸۷۹۶۷/۶	۷۴۲۰۱۸/۴	۱۰۴۵۹۴۹/۲	۸۰۲۹۴/۵	شاهد	تنش شدید
۱۲۸/۲	۰/۹۳	۳۱۴۰۴۵۷/۲	۷۷۵۱۴۱/۹	۲۳۶۵۳۱۵/۲	۱۳۱۶۲۲/۷	نانو دی‌اکسید تیتانیوم	
۱۲۹/۷	۰/۹۲	۲۹۳۷۸۲۵/۲	۵۵۳۸۷۲/۷	۲۳۸۳۹۵۲/۵	۱۲۴۰۸۹/۰	قارچ میکوریزا	
۱۲۳/۱	۰/۹۵	۲۹۱۶۳۵۳/۴	۸۵۱۵۵۱/۳	۲۰۶۴۸۰۲/۱	۱۲۹۰۴۰/۶	قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم	

۴- درآمد خالص دو گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد درآمد خالص دو گیاه تحت تأثیر معنی‌دار اثرات ساده رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوی کشت و منابع کودی و اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت، رژیم‌های آبیاری × منابع کودی، الگوی کشت × منابع کودی و رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی قرار گرفت (جدول ۱۳). بیشترین درآمد خالص دو گیاه (۱۲۷۶۷۸۶ ریال در مترمربع) در آبیاری نرمال در کشت مخلوط با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد که

تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم در کشت مخلوط و در تنش ملایم نداشت. با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و کاربرد جداگانه قارچ میکوریزا و نانو دی‌اکسید تیتانیوم درآمد خالص دو گیاه به ترتیب ۵۳/۹، ۳۰/۱ و ۳۰/۴ درصد نسبت به عدم مصرف کود افزایش یافت. علاوه بر این، کشت مخلوط دو گیاه به ترتیب منجر به افزایش ۶۳/۵ و ۶۹/۹ درصدی درآمد خالص دو گیاه نسبت به کشت خالص نعنای فلفلی و مریم‌گلی گردید (جدول ۱۴).

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس اثر منابع کودی و الگوهای کشت مخلوط بر درآمد خالص دو گیاه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات درآمد خالص
سال	۱	۱۶۵۴۳۵۴۵۰۵۲/۰ ^{NS}
خطای a	۴	۳۷۲۵۰۱۹۶۵۲/۲
رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۴۵۱۴۱۹۵۲۰۰۰۰/۰*
سال × رژیم‌های مختلف آبیاری	۲	۱۳۰۵۴۳۳۰۰۹۵۶/۰ ^{NS}
خطای b	۸	۳۲۵۵۱۳۴۴۰۸۱/۱
الگوهای مختلف کشت	۲	۲۳۴۱۷۲۴۸۰۰۰۰/۰**
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۴	۱۳۳۴۳۲۱۵۳۷۸۳/۰**
سال × الگوی کشت	۲	۴۲۱۰۷۰۰۲۱/۱ ^{NS}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت	۴	۱۰۰۰۲۴۲۲۸۴۱/۰ ^{NS}
خطای c	۲۴	۳۹۹۰۴۹۵۲۰۴/۶
منابع کودی	۳	۵۲۱۷۸۴۲۶۲۵۸۲/۰*
رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۱۰۰۰۵۳۵۹۷۷۳۱۷/۰**
الگوی کشت × منابع کودی	۶	۴۵۵۲۷۰۰۱۲۱۹/۰**
رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۱۲	۲۴۲۱۵۶۶۲۱۳۵/۰*
سال × منابع کودی	۳	۹۰۰۹۷۱۲۲۶۶/۰ ^{NS}
سال × رژیم‌های آبیاری × منابع کودی	۶	۶۳۲۲۱۸۹۵۲۰/۰ ^{NS}
سال × الگوی کشت × منابع کودی	۶	۴۲۹۳۴۳۴۹۱۸/۸ ^{NS}
سال × رژیم‌های آبیاری × الگوی کشت × منابع کودی	۱۲	۶۷۸۸۹۵۱۷۲۰/۷ ^{NS}
خطا کل	۱۰۸	۳۹۴۱۸۴۵۷۷۴/۱
ضریب تغییرات %		۱۰/۹۷

*، ** و NS به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.

بحث

۱- کلونیزاسیون ریشه

تنش خشکی تأثیر منفی روی فیزیولوژی، رشد و بهره‌وری گیاهان دارد. یکی از راهکارها برای افزایش سازگاری با این شرایط نامطلوب، ایجاد رابطه همزیستی با میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. در پژوهش حاضر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه نعنای فلفلی با افزایش خشکی کاهش یافت که می‌تواند با تخریب فعالیت و جمعیت میکروبی خاک و همچنین با کاهش جوانه‌زنی اسپورها، تراکم اسپورها، ترشحات ریشه‌ای، تحرک و دسترسی به عناصر غذایی و تأمین کربوهیدرات توسط گیاه میزبان مرتبط باشد (عبداللهی ارپناهی و همکاران ۲۰۲۰). قنبرزاده و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی سطوح مختلف

تنش آبی و کاربرد قارچ میکوریزا (*Claroideoglomus etunicatum*) و باکتری محرک رشد (*Micrococcus yunnanensis*) روی بادرشبی گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه گردید بطوریکه بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه به ترتیب در ۱۰۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. شوکلا و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که میزان رطوبت خاک یکی از عوامل تأثیرگذار بر میزان کلونیزاسیون ریشه می‌باشد. همچنین، این محققین بیان کردند که بیشترین و کمترین درصد کلونیزاسیون ریشه در دو گیاه ماش سیاه (*Vigna mungo* (L.) Hepper) و گندم به ترتیب در ظرفیت زراعی (FC) و نصف ظرفیت زراعی (FC/2) بدست آمد.

جدول ۱۴- مقایسه میانگین درآمد خالص دو گیاه تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری، الگوهای کشت و منابع کودی

تیمارها	درآمد خالص دو گیاه (ریال در مترمربع)	
کشت نعناع فلفلی	شاهد	۵۶۲۰۹۰ ^{de}
	خالص	۶۷۶۷۰۰ ^c
	قارچ میکوریزا	۶۵۶۶۵۸ ^{cd}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۶۸۸۵۱۶ ^c
آبیاری نرمال	شاهد	۳۷۵۷۹۹ ^{hij}
	خالص	۵۳۶۱۴۸ ^{ef}
	قارچ میکوریزا	۶۷۶۱۲۳ ^c
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۷۴۸۳۸۶ ^c
کشت مخلوط	شاهد	۷۴۵۴۳۷ ^c
	خالص	۱۰۰۸۲۸۴ ^b
	قارچ میکوریزا	۱۰۲۰۰۹۰ ^b
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۲۷۶۷۸۶ ^a
کشت نعناع فلفلی	شاهد	۴۴۱۵۶۹ ^{fgh}
	خالص	۵۲۶۴۶۰ ^{efg}
	قارچ میکوریزا	۴۷۱۶۰۱ ^{efgh}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۶۵۸۳۱۴ ^{cd}
کشت مریم‌گلی	شاهد	۴۲۸۴۴۸ ^{ghi}
	خالص	۶۵۰۳۲۵ ^{cd}
	قارچ میکوریزا	۵۳۱۳۸۸ ^{efg}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۷۲۴۳۲۱ ^c
کشت مخلوط	شاهد	۷۰۵۴۳۷ ^c
	خالص	۹۵۶۸۳۶ ^b
	قارچ میکوریزا	۹۱۸۷۱۸ ^b
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۱۱۸۶۲۹۱ ^a
کشت نعناع فلفلی	شاهد	۲۳۴۰۷۸ ^{klm}
	خالص	۲۷۱۵۶۰ ^{klm}
	قارچ میکوریزا	۲۹۴۱۶۶ ^{jkl}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۲۴۳۱۰۱ ^{klm}
کشت مریم‌گلی	شاهد	۱۷۷۵۳۱ ^m
	خالص	۲۰۴۴۵۷ ^{lm}
	قارچ میکوریزا	۲۲۳۶۱۲ ^{lm}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۲۳۲۶۸۹ ^{klm}
کشت مخلوط	شاهد	۳۳۳۰۰۷ ^{ijk}
	خالص	۳۹۰۷۰۰ ^{hij}
	قارچ میکوریزا	۴۱۵۲۰۳ ^{hi}
	نانو دی اکسید تیتانیوم + قارچ میکوریزا	۴۰۳۹۶۶ ^{hi}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

۲- عملکرد ماده خشک

کاهش در عملکرد وزن تر و خشک نعنای فلفلی و مریم‌گلی با افزایش تنش خشکی ممکن است دلیل تخصیص ترجیحی و بیشتر مواد به ریشه‌ها دلیل محدود شدن رطوبت در خاک و یا کاهش محتوای کلروفیل و در نتیجه کاهش کارایی فتوسنتزی باشد (گواهی و همکاران ۲۰۱۵). بر اثر تنش خشکی گیاه با بستن روزنه‌ها سعی در به حداقل رساندن تعرق داشته و همین امر باعث کاهش تبادلات گازی می‌شود. با ادامه این روند غلظت دی‌اکسید کربن ورودی کاهش ولی اکسیژن افزایش می‌یابد که این امر موجب کاهش فعالیت کربوکسیلاسیون آنزیم ریبولوز ۱و۵-بی فسفات کربوکسیلاز/اکسیژناز (روبیسکو) می‌گردد و در نهایت باعث کاهش تولید ماده خشک خواهد شد (مداوا و همکاران ۲۰۰۶). همچنین افزایش ماده خشک تولیدی در آبیاری مطلوب می‌تواند دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام سطح برگ باشد که با ایجاد منبع بیولوژیکی کارآمد برای استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی باعث افزایش تولید ماده خشک خواهد شد (گائو و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهشی با بررسی سطوح مختلف تنش آبی روی گیاه مریم‌گلی لوله‌ای (*Salvia macrosiphon* Boiss) گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، وزن خشک اندام‌های هوایی کاهش یافت بطوریکه بیشترین میزان آن در آبیاری نرمال بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با تنش ملایم نداشت (سودایی‌زاده و منصور ۲۰۱۴).

بیشترین عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی و مریم‌گلی با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. قارچ میکوریزا با کاهش اسیدیته ریشه و ترشح آنزیم‌های حل‌کننده عناصر غذایی منجر به افزایش دسترسی ریشه گیاهان به عناصر غذایی می‌شود. علاوه بر این، قارچ میکوریزا با تولید و ترشح فسفاتاز به داخل خاک باعث می‌شود تا فسفات نامحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول تبدیل و برای ریشه قابل جذب گردد (وارما و همکاران ۲۰۱۸). اسماعیل‌پور و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد

دو گونه قارچ میکوریزا (*Glomus etunicatum* و *Glomus versiformis*) روی مرزه (*Satureja hortensis* L.) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی عملکرد ماده خشک کاهش یافت بطوریکه بیشترین و کمترین عملکرد ماده خشک به ترتیب در ۱۰۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد. همچنین کاربرد هر دو گونه قارچی به ترتیب منجر به افزایش ۱۶/۱ و ۱۹/۳ درصدی عملکرد ماده خشک نسبت به عدم مصرف کود گردید. نانو دی‌اکسید تیتانیوم فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن از جمله مثل نیترات ردوکتاز^۱، گلوتامات دهیدروژناز^۲، گلوتامین سنتاز^۳ و گلوتامیک-پیروویک ترنس آمیناز^۴ را تنظیم کرده و به جذب بیشتر نیترات توسط گیاه کمک می‌کند (یانگ و همکاران ۲۰۰۶؛ میشرای و همکاران ۲۰۱۴) و باعث تسریع در تبدیل نیتروژن معدنی به فرم‌های آلی آن مثل کلروفیل و پروتئین شده و از این طریق باعث بهبود صفات رشدی گیاه از جمله عملکرد ماده خشک گیاه می‌گردد (یانگ و همکاران ۲۰۰۶). زیرا نیتروژن با افزایش تقسیم و تورژسانس سلول‌های مرستمی باعث افزایش رشد رویشی و شاخه‌دهی در گیاهان می‌شود. علاوه بر این، زمانی که نیتروژن کافی در دسترس گیاه باشد، آسمیلاسیون کربن فتوسنتزی از طریق افزایش فعالیت کربوکسیلاسیون آنزیم ریبولوز ۱و۵-بی فسفات کربوکسیلاز/اکسیژناز (روبیسکو) افزایش و فعالیت فتوسنتزی گیاه بیشتر شده که این منجر به افزایش رشد و بیوماس گیاه می‌گردد (سیدیکیو و همکاران ۲۰۱۵؛ گائو و همکاران ۲۰۰۶). بطور مشابه در پژوهشی با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی و کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) روی مریم‌گلی گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی عملکرد ماده خشک کاهش یافت. کاربرد نانو دی‌اکسید تیتانیوم منجر به بهبود عملکرد ماده خشک گردید بطوریکه بیشترین میزان عملکرد ماده خشک در آبیاری نرمال با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد (مزرعی و همکاران ۲۰۱۹). علاوه بر این نتایج نشان داد که عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی و مریم‌گلی

³ - Glutamine synthase

⁴ - Glutamic-pyruvic transaminase

¹ - Nitrate reductase

² - Glutamate dehydrogenase

در کشت مخلوط دو گیاه کمتر از کشت خالص آن‌ها بود. از آنجایی که میزان تراکم گیاهان برداشت شده در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کمتر می‌باشد، لذا کاهش میزان عملکرد تولید شده در کشت مخلوط به کاهش میزان تراکم گیاهان در واحد سطح برداشت شده نسبت داده می‌شود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که افزایش تنوع گیاهان در کشت مخلوط منجر به افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در ریزوسفر و دسترسی بیشتر گیاه به عناصر غذایی گردید. علاوه بر این، افزایش ترشحات ریشه‌ای در کشت مخلوط منجر به افزایش حلالیت عناصر غذایی موجود در محیط ریزوسفر شده و در نتیجه منجر به افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود صفات رشدی گیاهان خواهد شد. در تحقیقی دیگر، رضائی چپانه و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که عملکرد ماده خشک رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) و عملکرد دانه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در الگوهای کشت مخلوط کمتر از کشت خالص دو گیاه بودند که دلیل آن را به افزایش رقابت برون‌گونه‌ای نسبت دادند.

۳- درصد اسانس

نتایج نشان داد درصد اسانس نعناع‌فلفلی در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. از آنجایی که ترپنوئیدها اجزاء اصلی اسانس را تشکیل می‌دهند، بیوسنتز واحدهای سازنده آن‌ها مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی متیل آلایل پیروفسفات، نیاز به ترکیب‌هایی از قبیل استیل کوآنزیم آ، ATP، NADPH و فسفر دارند (أرمنو و فرناندز ۲۰۱۲). به نظر می‌رسد کشت مخلوط از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد اسانس شده است. زیرا نیتروژن یکی از عناصر مؤثر بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان اسانس گیاهان است. بنابراین هر عاملی که باعث افزایش نیتروژن قابل دسترس گیاه گردد، در نهایت منجر به افزایش اسانس خواهد شد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، سیلوا و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی کشت مخلوط بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) با بومادران (*Achillea millefolium* L.) گزارش کردند که درصد اسانس دو گیاه در کشت مخلوط به ترتیب ۹۹/۱ و ۱۱ درصد

نسبت به کشت خالص آن‌ها افزایش پیدا کرد و دلیل آن را به تخصیص بیشتر کربن فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه در کشت مخلوط برای بقاء در شرایط رقابتی و بیشتر بودن میزان غلظت کلروفیل در کشت مخلوط نسبت داده‌اند. همچنین نتایج نشان داد با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم درصد اسانس نعناع‌فلفلی افزایش یافت. افزایش اسانس نعناع‌فلفلی با کاربرد قارچ میکوریزا به بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه از طریق افزایش سطح جذب و فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن و فسفر (شریفی‌راد و همکاران ۲۰۱۷) و تولید بیشتر غده‌های تشکیل دهنده اسانس مرتبط می‌باشد (گلوبکینا و همکاران ۲۰۲۰؛ امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۲۱). رابطه مستقیمی بین قارچ میکوریزا و تغییرات کمی و کیفی اسانس در بسیاری از گیاهان دارویی و معطر وجود دارد. به طوریکه، تغییرات کمی و کیفی اسانس در نعناع فلفلی و گشنیز با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (موچیاری و همکاران ۲۰۰۳؛ ذوالفقاری و همکاران ۱۴۰۱). کاپور و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که قارچ-های میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین، جیبرلیک اسید و جاسمونیک اسید می‌شوند که این فیتوهورمون‌ها، تشکیل غده‌های ترشح کننده اسانس را بیشتر نموده و در نتیجه سبب تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند. به نظر می‌رسد نانو دی‌اکسید تیتانیوم از طریق افزایش فعالیت آنزیمی و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی (نیتروژن و فسفر)، ظرفیت فتوسنتزی برگ را بهبود و از این طریق منجر به بیوسنتز بیشتر کربوهیدرات‌ها، توسعه غده‌های ترشح کننده اسانس، کانال‌ها و مجاری ترشحاتی اسانس می‌گردد (شایبیر و همکاران ۲۰۱۹؛ اینگل ۲۰۲۱). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، گوهری و همکاران (۲۰۲۰) با کاربرد غلظت‌های مختلف نانو دی‌اکسید تیتانیوم روی بادرشبی گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. در پژوهشی دیگر با ارزیابی اثر سطوح مختلف نانو دی‌اکسید تیتانیوم و جاسمونیک اسید روی مریم‌گلی گزارش کردند که درصد اسانس با کاربرد ۱۰۰ میلی‌گرم

بالنگو (*Lallemantia iberica* L.) گزارش کردند که عملکرد اسانس بالنگو در کشت خالص با کاربرد قارچ میکوریزا بدلیل افزایش عملکرد دانه و درصد اسانس افزایش یافت. در پژوهشی دیگر با بررسی سطوح مختلف تنش خشکی و نانو دی اکسید تیتانیوم روی گیاه *Vetiveria zizanioides* L. Nash گزارش کردند که بیشترین عملکرد ماده خشک و اسانس با کاربرد ۹۰ میلی گرم در لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم بدست آمد (شایبیر و همکاران ۲۰۱۹).

۵- شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

۱-۵- شاخص‌های اکولوژیکی

نسبت برابری زمین کل معمولی بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط نعنای فلفلی با مریم‌گلی نسبت به کشت خالص دو گیاه می‌باشد. همچنین، نسبت برابری جزیی زمین نعنای فلفلی و مریم‌گلی در تمامی تیمارها بیشتر از ۰/۵ بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط براساس کارایی استفاده از زمین می‌باشد (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). موتتی و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که افزایش نسبت برابری زمین جزیی به بیشتر از ۰/۵ به درجه مکملی اجزای مخلوط بستگی دارد. براساس مقادیر نسبت برابری زمین معمولی، ۳۵ الی ۵۶ درصد سطح زیرکشت بیشتری در کشت خالص مورد نیاز می‌باشد تا عملکردی مشابه کشت مخلوط حاصل شود. استفاده کارآمد از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع دلیل افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶).

مقادیر نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER) در تمامی تیمارها بالاتر از یک بدست آمد. بیشترین میزان ATER در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی اکسید تیتانیوم بدست آمد. بالاتر بودن شاخص ATER در کشت مخلوط به افزایش کارایی مصرف نور و جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش رشد علف‌های هرز و کاهش رقابت بین دو گونه نسبت داده می‌شود (ورما و همکاران ۲۰۱۳). روند LUE شبیه ATER و LER بود. سینگ و همکاران (۲۰۱۳) در کشت مخلوط سیر (*Allium sativum* L.) و شمعدانی

در لیتر نانو دی اکسید تیتانیوم افزایش یافت. علاوه بر این، میزان اسانس تولیدی در تنش ملایم نسبت به آبیاری نرمال و تنش شدید افزایش معنی‌داری پیدا کرد. گیاهان دارویی بر خلاف همه محصولات کشاورزی که در شرایط تنش خشکی از نظر تولید صدمه می‌بینند، ممکن است در این اوضاع تولید مواد شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازدهی اقتصادی بالاتری پیدا کنند (مرشدلو و همکاران ۲۰۱۷). تولید متابولیت‌های ثانویه برای سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی صورت گرفته و به منزله به کار افتادن یک نوع جریان دفاعی به منظور استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی به حساب می‌آید (قائمی و همکاران ۲۰۱۹). معمولاً تشکیل و تجمع اسانس در گیاهان دارویی در شرایط نامساعد محیطی افزایش می‌یابد که این امر گیاه را در مقابل آسیب‌های نوری زیاد و کمبود احتمالی آب محافظت می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تولید متابولیت‌های ثانویه به عنوان یک روش دفاعی موثر در گیاهان دارویی و معطر به منظور کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شناخته می‌شود (کلاین وچر و سلمار ۲۰۱۵). افزایش درصد اسانس در تنش ملایم را می‌توان این گونه توضیح داد که بر اثر تنش خشکی با کاهش سطح برگ، تراکم‌های غده‌های ترشح‌کننده اسانس و تجمع اسانس در واحد بافت برگ افزایش می‌یابد (خوش‌اقبال قربابی و همکاران ۲۰۲۰؛ امانی ماچپانی و همکاران ۲۰۲۱). در تطابق با این نتایج، گواهی و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند اسانس تولیدی مریم‌گلی در تنش‌های ملایم و شدید به ترتیب ۱۰۸ و ۸۴ درصد نسبت به آبیاری نرمال افزایش یافت.

۴- عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که عملکرد اسانس دو گیاه با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و نانو دی اکسید تیتانیوم افزایش یافت. با توجه به اینکه عملکرد اسانس از حاصلضرب عملکرد ماده خشک در میزان اسانس تولید شده توسط گیاه بدست می‌آید و با دو شاخص ذکر شده رابطه مستقیمی دارد لذا هر عاملی که منجر به افزایش دو شاخص ذکر شده گردد منجر به افزایش عملکرد اسانس نیز خواهد شد. رضائی چپانه و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی منابع مختلف کودی و کشت مخلوط شنبليله با

کشت مخلوط را نمایان می‌سازد، شاخص بهره‌وری سیستم می‌باشد. بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم و مجموع ارزش نسبی در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم بدست آمد. دلیل بیشتر بودن این دو شاخص به نسبت برابری زمین و کارایی استفاده از زمین بالاتر این تیمار برمی‌گردد. لایتورگایدیس و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که تیمارهایی که از نسبت برابری زمین و ضریب تراکم نسبی بالاتری برخوردار بودند میزان شاخص بهره‌وری سیستم بالاتر و در نتیجه ثبات عملکردی بیشتری داشتند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد کاربرد جداگانه و تلفیقی قارچ میکوریزا و نانو دی‌اکسید تیتانیوم، بهره‌وری هر دو گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود بخشید. بیشترین عملکرد ماده خشک با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم و در آبیاری نرمال بدست آمد. با افزایش تنش خشکی تا سطح متوسط، درصد اسانس نعنای فلفلی افزایش یافت. بطوریکه درصد اسانس نعنای فلفلی در تنش ملایم ۱۳/۱ درصد بیشتر از آبیاری نرمال بود. علاوه بر این، درصد اسانس نعنای فلفلی در کشت مخلوط ۱۳ درصد بیشتر از کشت خالص آن‌ها بود. افزایش بهره‌وری اسانس هر دو گیاه با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم منجر به افزایش درآمد خالص دو گیاه در کشت مخلوط و در تنش ملایم گردید. بطور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + نانو دی‌اکسید تیتانیوم در کشت مخلوط می‌تواند به عنوان یک روش مدیریت پایدار برای بهبود کمیت و کیفیت اسانس نعنای فلفلی و مریم‌گلی در شرایط تنش خشکی توصیه گردد.

سپاسگزاری

از مدیریت پژوهش و فناوری و مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

(*Pelargonium graveolens* L.) مشاهده کردند که بالاترین مقدار LUE در تیمار دو ردیف سیر+ یک ردیف شمعدانی بدست آمد که دلیل آن را بالاتر بودن میزان LER و ATER بیان نمودند. امانی ماچپانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نتیجه گرفتند که مقادیر LER، ATER و LUE در اکثر الگوهای کشت نعنای فلفلی و سویا بیشتر از یک بدست آمد.

۲-۵- شاخص‌های رقابتی

مقادیر ضریب تراکم نسبی کل در همه تیمارها بالاتر از یک بدست آمد. هر چقدر مقدار ضریب تراکم نسبی بزرگتر باشد بدان معنی است که هر دو جزء در کشت مخلوط اثرات رقابتی کمتری بر یکدیگر دارند و در نتیجه آن کارایی کشت مخلوط افزایش خواهد یافت (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). شاخص کاهش واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات دقیق‌تری نسبت به دیگر شاخص‌ها درباره رقابت درون و برون‌گونه‌ای گیاهان و رفتار هر گونه در کشت مخلوط می‌دهد (دباغ محمدی نسب و همکاران ۲۰۱۱). مقدار AYL در کشت مخلوط مثبت بود. مثبت بودن میزان AYL در کشت مخلوط بیانگر تأثیر مفید این گیاهان بر یکدیگر و سودمندی کشت مخلوط بوده است (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). شو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که مثبت بودن کاهش واقعی عملکرد (AYL) بیانگر این است که محصول واقعی گیاهان در کشت مخلوط بیشتر از محصول پیش‌بینی شده بوده و از عوامل محیطی رشد استفاده بیشتری کرده‌اند.

۳-۵- شاخص‌های اقتصادی

مثبت بودن شاخص‌های اقتصادی بیانگر مزیت اقتصادی کشت مخلوط نعنای فلفلی با مریم‌گلی و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها می‌باشد. در تمامی تیمارها مقادیر IA و MAI مثبت بودند. لایتورگایدیس و همکاران (۲۰۱۱) دلیل مثبت بودن MAI را به بیشتر بودن مقادیر نسبت برابری زمین (LER) و ضریب ازدحام نسبی (K) نسبت دادند. شاخص دیگری که بهره‌وری و کارایی سیستم

منابع مورد استفاده

- Abdollahi Arpanahi A and Feizian M. 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate mild to mild water stress and improve essential oil yield in thyme. *Rhizosphere*, 9: 93-96. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.10.003>
- Abdollahi Arpanahi A, Feizian M, Mehdipourian G and Khojasteh DN. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, 100: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217>
- Ahmad B, Shabbir A, Jaleel H, Khan MMA and Sadiq Y. 2018. Efficacy of titanium dioxide nanoparticles in modulating photosynthesis, peltate glandular trichomes and essential oil production and quality in *Mentha piperita* L. *Current Plant Biology*, 13: 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.04.002>
- Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR, Aghaee A and Maggi F. 2021. Funneliformis mosseae inoculation under water deficit stress improves the yield and phytochemical characteristics of thyme in intercropping with soybean. *Scientific Reports*, 11(1): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94681-9>
- Amani Machiani M, Javanmard A, Morshedloo MR and 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>
- Bahreininejad B, Razmjou J and Mirza M. 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 7(1): 151-166. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.927>
- Banik P, Midya A, Sarkar BK and Ghose S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24: 325- 332. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010>
- Bansal M. 2017. Organic farming: is it a solution to safe food?. Pp. 515-525. In: Dudeja P, Gupta RK and Minhas AS (eds.). *Food safety in the 21st century*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801773-9.00043-1>
- Biglari T, Maleksaeidi H, Eskandari F and Jalali M. 2019. Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change: Evidence from Iran. *Land Use Policy*, 87: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104043>
- CIMMYT. 1988. *An Economics Training Manual: From Agronomic Data To Farmer Recommendations*. Completely Revised Edition. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Dabbagh Mohammadi Nasab A, Amon T and Kaul HP. 2011. Competition and yield in intercrops of maize and sunflower for biogas. *Industrial Crops and Products*, 34(1): 1203-1211. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.015>
- Emrahi R, Morshedloo MR, Ahmadi H, Javanmard A and Maggi F. 2021. Intraspecific divergence in phytochemical characteristics and drought tolerance of two carvacrol-rich *Origanum vulgare* subspecies: Subsp. *hirtum* and subsp. *gracile*. *Industrial Crops and Products*, 168: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113557>
- Esmailpour B, Jalilvand P and Hadian J. 2013. Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). *Agroecology*, 5(2): 169-177. (In persian). <https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24496>
- Dhima KV, Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB and Dordas CA. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100: 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008>
- Fazel F, Gheysari M, Mohammadian M and Etemadi N. 2017. Effect of maximum allowable depletion on irrigation use and plant parameters of grass under subsurface drip irrigation management. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1): 155-165. (In persian). <https://doi.org/10.22055/IISE.2017.12674>

- Fazeli-Nasab B, Sirousmehr AR and Azad H. 2018. Effect of titanium dioxide nanoparticles on essential oil quantity and quality in *Thymus vulgaris* under water deficit. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 7(2): 125-133. <https://doi.org/10.22092/JMPB.2018.118140>
- Gao F, Hong F, Liu C, Zheng L, Su M, Wu X, Yang F, Wu C and Yang P. 2006. Mechanism of nano-anatase TiO₂ on promoting photosynthetic carbon reaction of spinach. *Biological Trace Element Research*, 111(1): 239-253. <https://doi.org/10.1385/BTER:111:1:239>
- Gao S, Wang Y, Yu S, Huang Y, Liu H, Chen W and He X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, 259: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108795>
- Ghaemi M, Zare Z and Nasiri Y. 2019. Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth and development. *Developmental Biology*, 11(1): 15-26. (In Persian).
- Ghanbarzadeh Z, Mohsenzadeh S, Rowshan V and Moradshahi A. 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. *Scientia Horticulturae*, 256: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108652>
- Giovannetti M and Mosse B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3): 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Gitari HI, Nyawade SO, Kamau S, Karanja NN, Gachene CK, Raza MA, Maitra S and Schulte-Geldermann E. 2020. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. *Field Crops Research*, 258: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107957>
- Gohari G, Mohammadi A, Akbari A, Panahirad S, Dadpour MR, Fotopoulos V and Kimura S. 2020. Titanium dioxide nanoparticles (TiO₂ NPs) promote growth and ameliorate salinity stress effects on essential oil profile and biochemical attributes of *Dracocephalum moldavica*. *Scientific Reports*, 10(1): 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57794-1>
- Golubkina N, Logvinenko L, Novitsky M, Zamana S, Sokolov S, Molchanova A, Shevchuk O, Sekara A, Tallarita A and 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: 1-16. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>
- Govahi M, Ghalavand A, Nadjafi F and 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. *Agroecology*, 9(2): 445-457 (In Persian). <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I2.45974>
- Govahi M, Ghalavand A, Nadjafi F and Sorooshzadeh A. 2015. Comparing different soil fertility systems in Sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. *Industrial Crops and Products*, 74: 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.053>
- Ingle AP. 2021. *Nanotechnology In Plant Growth Promotion And Protection*. Maharashtra India: John Wiley & Sons, Incorporated. <https://doi.org/10.1002/9781119745884>
- Kamalizadeh M, Bihamta M and Zarei A. 2019. Drought stress and TiO₂ nanoparticles affect the composition of different active compounds in the Moldavian dragonhead plant. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(2): 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2814-0>
- Kapoor R, Anand G, Gupta P and 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>
- Khosheghbal Ghorabae F, Ghasemi Pirbalouti A, Enteshari S and Davarpanah SJ. 2020. Qualitative and quantitative effects of drought stress on essential oil compositions of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(2): 292-303. (In Persian). <https://dorl.net/20.1001.1.23832592.1399.33.2.1.3>

- Kleinwächter M and Selmar D. 2015. New insights explain that drought stress enhances the quality of spice and medicinal plants: potential applications. *Agronomy Sustainable Developments*, 35: 121–131. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0260-3>
- Koske R and Gemma J. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, 92(4): 486-488. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)80195-9)
- Lithourgidis AS, Vlachostergios DN, Dordas CA and Damalas CA. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34: 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007>
- Madhava KV, Raghavendra AS and Reddy KJ. 2006. *Physiology And Molecular Biology Of Stress Tolerance In Plants*. Springer Science & Business Media India. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4225-6>
- Mazarie A, Mousavi-nik SM, Ghanbari A and Fahmideh L. 2019. Effect of titanium dioxide spraying on physiological characteristics of sage (*Salvia officinalis* L.) under water stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(2): 539-553. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1369.1304>
- Mazarie A, Mousavi-nik SM, Ghanbari A and Fahmideh L. 2019. Effect of different spraying concentrations of jasmonic acid and titanium dioxide nanoparticles on some physiological traits and antioxidant system activity of Sage (*Salvia officinalis* L). *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(1): 1-22. (In Persian). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110510.1092>
- Mishra V, Mishra RK, Dikshit A and Pandey AC. 2014. Interactions of nanoparticles with plants: An emerging prospective in the agriculture industry. Pp. 159-180. In: Ahmad P and Rasool S (eds.). *Emerging technologies and management of crop stress tolerance*. Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800876-8.00008-4>
- Mohammadi H, Esmailpour M and Gheranpaye A. 2016. Effects of TiO₂ nanoparticles and water-deficit stress on morpho-physiological characteristics of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) plants. *Acta Agriculturae Slovenica*, 107(2): 385-396. <https://doi.org/10.14720/aas.2016.107.2.11>
- Monti M, Pellicanò A, Santonoceto C, Preiti G and Pristeri A. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 196: 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.017>
- Morshedloo MR, Craker LE, Salami A, Nazeri V, Sang H and 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>
- Mucciarelli M, Scannerini S, Berteà C and 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>
- Mumivand H. 2016. Effect of drought stress on growth, effective substances and some enzyme activities in selected tarragon (*Artemisia dracuculus* L.) accessions. PhD. Thesis University of Tehran. (In Persian).
- Nasiri Mahallati MN, Koocheki A, Mondani F, Feizi H and Amirmoradi S. 2015. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. *Journal of Cleaner Production*, 106: 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099>
- Omidbaigi R. 2011. *Production And Processing Of Medicinal Plants (Vol.2)*. Razavi Ghods Astan Publication.
- Ormeno E and 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>
- Peter KV. 2006. *Handbook Of Herbs And Spices (Vol.3)*. Washington, DC: Woodhead publishing.
- Phillips JM and Hayman D. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1): 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)

- Rahimi Y, Taleei A and Ranjbar M. 2018. Long-term water deficit modulates antioxidant capacity of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 237: 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.004>
- Rezaei-Chiyaneh E, Amirnia R, Amani Machiani M, Javanmard A, Maggi F and Morshedloo MR. 2020. Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. *Scientia Horticulturae*, 261: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108951>
- Rezaei-Chiyaneh E, Mahdaviakia H, Battaglia ML, Thomason WE and Caruso G. 2021. Intercropping and fertilizer type impact seed productivity and secondary metabolites of dragon's head and fenugreek. *Scientia Horticulturae*, 287: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110277>
- Shukla A, Kumar A, Jha A, Salunkhe O and Vyas D. 2013. Soil moisture levels affect mycorrhization during early stages of development of agroforestry plants. *Biology and Fertility of Soils*, 49(5): 545-554. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0744-8>
- Siddiqui MH, Al-Whaibi MH and Mohammad F. 2015. *Nanotechnology And Plant Sciences*. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14502-0>
- Silva TC, Pinto JEBP, Pacheco FV, Roza HLH, Lordello DMDS and Bertolucci SKV. 2018. The growth, photosynthetic pigments and essential oil composition of monocropped and intercropped lemon balm with yarrow. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40: 1-7. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35506>
- Singh M, Singh UB, Ram M, Yadav A and Chanotiya CS. 2013. Biomass yield, essential oil yield and quality of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as influenced by intercropping with garlic (*Allium sativum* L.) under subtropical and temperate climate of India. *Industrial Crops and Products*, 46: 234-237. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.032>
- Shabbir A, Khan MMA, Ahmad B, Sadiq Y, Jaleel H and Uddin M. 2019. Efficacy of TiO₂ nanoparticles in enhancing the photosynthesis, essential oil and khusimol biosynthesis in *Vetiveria zizanioides* L. *Nash. Photosynthetica*, 57(2): 599-606. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.071>
- Sharifi-Rad J, Sureda A, Tenore GC, Daglia M, Sharifi-Rad M, Valussi M, Tundis R, Sharifi-Rad M, Loizzo MR, Ademiluyi AO and Sharifi-Rad R. 2017. Biological activities of essential oils: From plant chemocology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1): 1-55. <https://doi.org/10.32615/ps.2019.071>
- Sodaeizadeh H and Mansouri F. 2014. Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphonas* a medicinal plant. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 4(1): 1-9. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2008790.1393.4.1.1.0>
- Toksha B, Sonawale VAM, Vanarase A, Bornare D, Tonde S, Hazra C, Kundu D, Satdive A, Tayde S and Chatterjee A. 2021. Nanofertilizers: A review on synthesis and impact of their use on crop yield and environment. *Environmental Technology & Innovation*, 24: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101986>
- Vandermeer J. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523>
- Varma A, Prasad R and Tuteja N. 2018. *Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration*. Springer Nature, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1>
- Verma RK, Chauhan A, Verma RS, Rahman L and Bisht A. 2013. Improving production potential and resources use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with geranium (*Pelargonium graveolens* L. *Herit ex Ait*) under different plant density. *Industrial Crops and Products*, 44: 577-582. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.019>
- Willey RW. 1979. Intercropping its importance and research needs. Part I. Competition and yield advantage. *Field Crop Abstracts*, 32: 1-10.
- Willey RW and Rao MR. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, 16: 117-125. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010802>

- Willmann M, Gerlach N, Buer B, Polatajko A, Nagy R, Koebke E, Jansa J, Flisch R and Bucher M. 2013. Mycorrhizal phosphate uptake pathway in maize: vital for growth and cob development on nutrient poor agricultural and greenhouse soils. *Frontiers in Plant Science*, 4: 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00533>
- Xu BC, Li FM and Shan L. 2008. Switchgrass and milkvetch intercropping under 2: 1 row-replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 28(3): 485-492. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.011>
- Yang F, Hong F, You W, Liu C, Gao F, Wu C, and Yang P. 2006. Influence of nano-anatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biological Trace Element Research*, 110(2): 179-190. <https://doi.org/10.1385/BTER:110:2:179>
- Yilmaz S, Ozel A, Atak M, and Erayman M. 2015. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39: 135-143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
- Zhang F, Shen J, Li L and Liu X. 2004. An overview of rhizosphere processes related with plant nutrition in major cropping systems in China. *Plant Soil*, 260: 89-99. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000030192.15621.20>
- Zolfaghari M, Tolideh S, Sedighi Dehkordi F and Mahmoodi Sourestani M. 2022. Evaluation of growth, yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under mycorrhiza, vermicompost and chemical fertilizer treatments. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(1): 35-46. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.24764310.1401.32.1.3.8>