

## اثر همزیستی با قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط

عبدالله جوانمرد<sup>۱\*</sup>، الهام صدر کریمی<sup>۲</sup>، مصطفی امانی ماچانی<sup>۳</sup>، محمدرضا مرشدلو<sup>۴</sup>، علی استادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۱۵

۱- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳- دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

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

### چکیده

اهداف: سیستم‌های کشت مخلوط و کاربرد کودهای زیستی در افزایش کمیت و کیفیت محصولات نقش مهمی را ایفاء می‌کنند. اهداف این مطالعه، ارزیابی اثرات کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* و الگوهای مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتور اول الگوهای مختلف کشت شامل کشت خالص نخود، کشت خالص سیاهدانه، کشت مخلوط یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۱:۱)، یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) و دو ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۲:۱) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Funneliformis mosseae* در نظر گرفته شده بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که عملکرد دانه نخود و سیاهدانه تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و قارچ میکوریزا قرار گرفتند. بیشترین میزان عملکرد دانه نخود (۱۲۰۳/۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی کشت ۲:۱ نداشت. همچنین بیشترین عملکرد دانه سیاهدانه (۸۲۳/۳ کیلوگرم در هکتار) نیز در کشت خالص آن حاصل شد. کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد دانه نخود و سیاهدانه را به ترتیب ۲۴/۶۲ و ۱۸/۵۹ درصد نسبت به عدم کاربرد قارچ افزایش داد. علاوه بر این، بیشترین میزان درصد اسانس (۱/۰۶) و عملکرد اسانس سیاهدانه (۷/۳۲۶ گرم در متر مربع) در الگوی کشت مخلوط یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه حاصل شد. در همه الگوهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بیشتر از یک بدست آمد که بیانگر سودمندی الگوهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص می‌باشد. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین (۱/۵۶) در الگوی کشت ۱:۲ با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد. همچنین در همه الگوهای کشت مخلوط میزان غالبیت در نخود بیشتر از سیاهدانه بود که بیانگر توانایی رقابتی بیشتر نخود نسبت به سیاهدانه است. علاوه بر این، بیشترین مقادیر شاخص‌های اکولوژیکی (نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان، نسبت معادل سطح برداشت و کارایی استفاده از زمین) و شاخص‌های اقتصادی (مجموع ارزش نسبی، سودمندی کشت، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم) در الگوهای کشت ۱:۲ و ۲:۱ با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی، الگوی کشت یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا نه تنها منجر به ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی و پایداری تولید می‌شود، بلکه در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی نیز موثر است.

**واژه های کلیدی:** سیاهدانه، عملکرد دانه ، کشاورزی پایدار، قارچ میکوریز آریوسکولار، نسبت برابری زمین

## Effect of Symbiosis with Mycorrhizal Fungus (*Funneliformis mosseae*) on Yield and Yield Component of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) and Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Intercropping

Abdollah Javanmard<sup>1\*</sup>, Elham Sadre Karimi<sup>2</sup>, Mostafa Amani Machiani<sup>3</sup>, Mohammad Reza Morshedloo<sup>4</sup>, Ali ostadi<sup>3</sup>

Received: January 4, 2020 Accepted: September 5, 2020

1-Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

2-MSc Student of Agroecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3-Ph.D student of Agrotechnology- crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

4-Assis. Prof., Dept. of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

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

### Abstract

**Background and Objectives:** Intercropping systems and the application of biofertilizers play an important role in increasing of quantity and quality of plant products. The objectives of this study were to evaluate the effects of *Funneliformis mosseae* application and different planting patterns on the yield and yield component of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chick pea (*Cicer arietinum* L.).

**Materials and Methods:** A field experiment was carried out as factorial based on randomized complete blocks design (RCBD) with 10 treatments and three replications at the Faculty of Agriculture, University of Maragheh during 2018 growing season. The first factor was consisted of different planting patterns including monoculture of chickpea, monoculture of black cumin, 1 row intercropping of chickpea + 1 black cumin (1:1), 1 row chickpea+ 2 row black cumin (1:2) and 2 row chickpea+ 1 row black cumin (2:1) and the second factor was inoculation and non-inoculation with mycorrhizal fungus.

**Results:** The results demonstrated that the seed yield of chickpea and black cumin was significantly affected by different planting patterns and mycorrhizal fungus. The highest seed yield of chickpea (1203.5 kg.ha<sup>-1</sup>) was observed in the chickpea monoculture that was no significantly different with planting pattern of 2:1. Also, the highest seed yield of black cumin (823.3 kg.ha<sup>-1</sup>) was achieved in its monoculture. Application of mycorrhizal fungus increased the seed yield of chickpea and black cumin by 24.62 and 18.59% in compared with non-application. In addition, the highest essential oil percentage (1.06) and essential oil yield (7.326 g.m<sup>-2</sup>) were achieved in the 1 row chickpea+ 2 row black cumin intercropping pattern. In all intercropping patterns, the LER was higher than one, indicating the advantages of these patterns compared with monocultures. The highest LER (1.56) was obtained in the planting pattern of 1:2 with application of mycorrhizal fungus. Also, in all intercropping patterns, the aggressivity values of chickpea was higher than black cumin, representing that the chickpea was the dominant in these intercropping patterns. Moreover, the highest ecological indices (AHER, ATER and LUE) and monetary indices (IA, MAI, RVT and SPI) were achieved in the ratios of 1:2 and 2:1 with application of mycorrhizal fungus.

**Conclusion:** Generally, the planting pattern of 1 row chickpea+ 2 row black cumin (1:2) with application of mycorrhizal fungus not only leading to agricultural ecosystems diversity and sustainable productivity, but also effective in enhancing economic income and land use efficiency.

**Keywords:** Arbuscular Mycorrhizal Fungus, Black Cumin, Land Equivalent Ratio, Seed Yield, Sustainable Agriculture

#### مقدمه

با توجه به رشد سریع جمعیت جهان، پیش‌بینی شده است جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۶ میلیارد نفر برسد. جهت تأمین نیازهای غذایی این جمعیت، تولید کشاورزی باید ۷۰ درصد افزایش یابد. به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی در واحد سطح، عملیات زراعی متعددی نظیر کاربرد بیش از حد نهاده‌های شیمیایی از قبیل کودها، سموم و آفت‌کش‌ها صورت می‌گیرد. نتیجه این فعالیت‌ها طی سال‌های اخیر بحران آلودگی‌های محیط زیست و به ویژه آلودگی منابع خاک و آب بوده که زنجیره‌وار به منابع غذایی انسانی راه یافته و سلامت جامعه بشری را مورد تهدید قرار داده است (چاپاگین و رایزمن ۲۰۱۴). از طرفی بهبود و حفظ باروری خاک به منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز و به تبع آن افزایش عملکرد گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (مندال و همکاران ۲۰۰۷). یکی از راهکارها در سیستم‌های کشاورزی پایدار جهت افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده هرچه بیشتر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای، از جمله جانداران مفید خاکزی با عنوان کودهای زیستی و کاربرد تلفیقی آن با کودهای آلی و شیمیایی می‌باشد (شارما و همکاران ۲۰۱۳). استفاده از کودهای بیولوژیکی که شامل مجموعه کاملی از جوامع میکروبی همراه و هم‌زیست می‌باشند با بهبود رشد گیاه از یک سو و کاهش هزینه‌های تولید از سوی دیگر از آلاینده‌های محیط می‌کاهند (بارئا و همکاران ۲۰۰۵). تولید محصولات غذایی با کیفیت، که محصول کودهای بیولوژیک است، نه تنها باعث رضایت خاطر مصرف کنندگان می‌شود، بلکه تأمین و تضمین سلامت جسمی آنان را نیز در پی دارد. همزیستی میکوریزایی از

رایج‌ترین و قدیمی‌ترین رابطه همزیستی در سلسله گیاهان می‌باشد. همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار تقریباً در ۸۰ درصد از گیاهان آوندی صورت می‌گیرد (لیو و همکاران ۲۰۱۸). از فواید اصلی قارچ میکوریزا برای گیاهان میزبان، افزایش سطح جذب و گسترش منطقه نفوذ ریشه می‌باشد. شبکه‌ای از هیف‌های خارجی به عنوان اتصال اضافی و سطح جاذب در خاک عمل می‌کنند (ناظری و همکاران ۲۰۱۳). افزایش کارایی ریشه‌های میکوریزایی در مقابل ریشه‌های غیرمیکوریزایی بواسطه جذب فعال و انتقال عناصر خصوصاً عناصر معدنی غیرمتحرک مثل فسفر، روی و مس ایجاد می‌شود (لامبرس و همکاران ۲۰۱۸). همچنین احیاء پوشش گیاهی توسط تلقیح قارچ میکوریزا یکی از بهترین و موثرترین راه‌ها جهت کاهش تخریب خاک و جلوگیری از گسترش آن به مناطق مجاور است (لیو و همکاران ۲۰۱۸). قارچ میکوریزا با ترشح ترکیبات آلی مانند گلوکالین در خاک موجب کلاته شدن یون‌های فلزی شده و از این طریق جذب فلزات سنگین مثل کامیوم را کاهش می‌دهد (جیانگ و همکاران ۲۰۱۶). علاوه بر این، همزیستی این قارچ‌ها با ریشه گیاهان یک همزیستی سودمند و مؤثر در فناوری گیاه پالایی آلاینده‌های خاک محسوب می‌گردد. همزیستی گیاهان با قارچ میکوریزا علاوه بر اثرات مثبت بر کمیت، دارای اثرات مثبت زیادی بر کیفیت نیز می‌باشد. به طوری که، همزیستی با قارچ میکوریزا اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی و تنش‌های خشکی و شوری را کاهش و رشد گیاه، جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر، برگشت‌پذیری (پس از تنش) و تحمل گیاه را افزایش می‌دهد (لاتف و چائوکسینگ ۲۰۱۱). قیصری زردک و

تثبیت کننده نیتروژن (لگوم‌ها) به همراه سایر گیاهان از جمله معمول‌ترین و قدیمی‌ترین این سیستم‌ها در نقاط مختلف دنیا به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۹).

حبوبات به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین نیازهای غذایی بشر در بین گیاهان زراعی از جایگاه خاصی برخوردار بوده و بدلیل همزیستی با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک دارند و به همین علت در تناوب با سایر گیاهان زراعی کشت و یا در سیستم‌های کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرند (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۹). نخود زراعی با نام علمی *Cicer arietinum* L. گیاهی یک ساله متعلق به تیره حبوبات می‌باشد. از نظر سطح زیر کشت در جهان، نخود پس از لوبیا و عدس در رتبه سوم قرار گرفته است. سطح زیر کشت نخود در جهان معادل ۱۳ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (کهریزی و سپهری ۲۰۱۹). این گیاه به طور متوسط دارای ۲۴ درصد پروتئین باشد و نزدیک به ۱/۶ میلیون تن از پروتئین تولید شده در دنیا را به خود اختصاص داده است.

بررسی‌ها نشان داده است که کاشت گیاهان لگومینوز از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب افزایش رشد و بهبود عملکرد گیاهان همراه می‌شود (حمزه‌ئی و همکاران ۲۰۱۲). نتایج تحقیقات مافی و موسیاری (۲۰۰۳) نشان داد که عملکرد نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشت مخلوط با سویا (*Glycine max* L.) ۵۰ درصد افزایش یافت و با افزایش درصد منتول و کاهش درصد منتوفوران و منتیل استات (اجزای تشکیل دهنده اسانس نعنای فلفلی)، افزایش کیفیت اسانس هم مشاهده گردید. علاوه بر این، تعداد برگ، به ازای هر گره، مساحت برگ‌ها، شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، کاروتنوئید، وزن خشک ساقه و برگ در تیمارهای مخلوط بهبود پیدا کردند. رضائی چیاپانه و قلی نژاد (۲۰۱۵) در کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) و سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که

همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که غلظت فسفر در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) با کاربرد قارچ میکوریزا در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۱۰۸ و ۱۳۳ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط شوید (*Anethum graveolens*) با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، موجب افزایش میزان کلروفیل و عملکرد اسانس شوید گردید. وهبای و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که با هدف تجزیه و تحلیل تاثیرتلقیح با قارچ میکوریزا روی تثبیت و انتقال نیتروژن تثبیت شده از باقلا به گندم در کشت مخلوط انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش میزان نیتروژن جذب شده و عملکرد گندم گردید. علاوه بر این، این محققین گزارش کردند که هر اندازه میزان تلقیح با قارچ میکوریزا بیشتر باشد، میزان نیتروژن تثبیت شده توسط باقلا و میزان نیتروژن انتقال یافته از باقلا به گندم افزایش می‌یابد. کوپتا و همکاران (۲۰۰۶) نیز مشاهده کردند که تلقیح گونه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با سه گونه مختلف قارچ میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه، سطح برگ، زیست توده، طول و میزان انشعابات جانبی ریشه و میزان اسانس در مقایسه با شاهد شد.

سیستم‌های کشاورزی مرسوم به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که تنوع گیاهی موجود را به حداقل کاهش داده و باعث بی‌ثباتی عملکرد اقتصادی، افزایش خسارت آفات و بیماری‌ها، کاهش کیفیت محصولات زراعی، فرسایش شدید خاک و از بین رفتن منابع طبیعی شده‌اند (کسام و برمر ۲۰۱۳). یکی از راه‌ها برای افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی، رشد دو یا چند گیاه به صورت توأم می‌باشد که امکان برقراری روابط متقابل بین محصولات مختلف را فراهم ساخته و موجب افزایش عملکرد در واحد سطح، کاهش آفات و بیماری‌ها، کاهش رشد علف‌های هرز و استفاده کارآمدتر از منابع می‌شود (امانی ماچیانی و همکاران ۲۰۱۸ و بارکر و دنت ۲۰۱۳). در بین سیستم‌های مختلف کشت مخلوط، ترکیب گیاهان

بادشکن، قاعده آور، مسهل، شیرافزا، ضد یبوست و تقویت کننده نیروی جنسی در مردان کاربرد دارد (رضائی چپانه و قلی نژاد ۲۰۱۵). از آنجایی که رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت بهبود کمیت و کیفیت و سلامت ماده موثره می‌باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که تغذیه‌ی سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تطابق با اهداف تولید گیاهان دارویی باشد و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آن‌ها شود. در همین راستا پژوهشی با هدف بررسی اثرات قارچ میکوریزا و الگوهای مختلف کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود و سیاهدانه اجرا گردید.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۲۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. مشخصات اقلیمی منطقه مورد آزمایش (میانگین دما و بارش ماهیانه) در جدول ۱ بیان شده است. همچنین، قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۲).

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود و سیاهدانه از کشت خالص به دست آمد، اما بالاترین درصد پروتئین دانه نخود و درصد اسانس سیاهدانه از نسبت کاشت ۵۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد سیاهدانه حاصل شد. ظریف پور و همکاران (۲۰۱۴) در کشت مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و نخود گزارش کردند که الگوهای مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر عملکرد دو گونه داشتند و بیشترین عملکرد اسانس زیره سبز و بالاترین نسبت برابری زمین در نسبت کاشت ۵۰ درصد زیره سبز+ ۵۰ درصد نخود زراعی بدست آمد.

امروزه، بر رشد گیاهان دارویی که نقش مهمی را در سیستم‌های کشاورزی پایدار ایفا می‌کنند، تمرکز بیشتری شده است. این گیاهان در سراسر جهان از زمان‌های قدیم به علت اثرات مفیدشان بر سلامت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (یورکویچ و همکاران ۲۰۱۵). سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک ساله متعلق به تیره آلاله، به ارتفاع ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر، برگ‌ها به رنگ سبز خاکستری دارای بریدگی‌های نخ، گل‌ها به رنگ سفید تا آبی، میوه به صورت برگه (فولیکول) می‌باشد که درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر قرار دارد. این گیاه علاوه بر خودرو بودن در مناطق مختلف اروپا، غرب آسیا و برخی مناطق ایران به صورت زراعی نیز کشت می‌شود (مظفریان ۲۰۰۸). در دانه‌های سیاهدانه ۴۰ درصد روغن و حدود ۱/۴ درصد اسانس وجود دارد. دانه‌های این گیاه از لحاظ دارویی به عنوان

جدول ۱- مشخصه‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طول دوره رشد گیاه مورد مطالعه

ماه	میانگین دمای ماهیانه (oC)	میانگین بارش ماهیانه (mm)
فروردین	۱۲/۶	۴۴/۹
اردیبهشت	۱۶/۶	۵۴/۵
خرداد	۲۴/۱	۱/۷
تیر	۳۰/۲	۰/۱
مرداد	۲۷/۷	۰
شهریور	۲۳/۶	۰/۲

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

نیترژن کل (%)	فسفر قابل جذب	پتاسیم تبادلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> )	کربن آلی	رس	سیلت	شن	بافت خاک
(mg.kg <sup>-1</sup> )				(%)					
۰/۰۸۹	۹/۴۹	۵۷۰/۸۵	۸/۱۶	۱/۱۸	۰/۶۳	۲۷/۵	۱۶/۵	۵۶	لومی رسی

تقریبی ۱۰۸ سلول باکتری در هر میلی لیتر (تهیه شده از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا، تهران) آغشته شدند. طبق توصیه شرکت سازنده، میزان مصرف مزوریزوبیوم، یک کیلوگرم در هکتار به ازای ۸۰-۷۰ کیلوگرم بذر نخود بود.

وجین علف‌های هرز در صورت لزوم به صورت دستی انجام شد. در پایان فصل رشد، ابتدا از هر کرت به طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه برای سیاهدانه و برای گیاه نخود صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برداشت نخود و سیاهدانه بترتیب در ۱۰ تیرماه (زمانی که رنگ غلاف‌ها زرد شده بود) و ۱۵ مرداد (هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده، ولی هنوز فولیکول‌ها شکاف برنداشته بودند) انجام شد. جهت محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نخود و سیاهدانه پس از حذف دو خطوط کناری و نیم‌متر از انتهای هر واحد آزمایشی به عنوان اثر حاشیه ای از سطحی معادل ۲/۴ متر مربع صورت گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیکی، پس از جدا نمودن بذر نخود و سیاهدانه، نمونه‌ها در دمای اتاق و تحت شرایط سایه خشک شدند و هنگامی که تغییرات وزن طی ۲۴ ساعت مشاهده نگردید، اعداد حاصل از توزین به عنوان وزن خشک نمونه‌ها ثبت گردید.

به‌منظور ارزیابی کشت مخلوط، از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، نسبت برابری زمین

فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص نخود، کشت خالص سیاهدانه، کشت مخلوط یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۱:۱)، یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) و دو ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۲:۱) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Funneliformis mosseae* بودند. تعداد ردیف‌های کشت برای کشت خالص نخود، کشت خالص سیاهدانه، الگوهای مخلوط ۱:۱، ۱:۲ و ۲:۱ بترتیب ۴، ۴، ۴، ۶ و ۶ بودند. همچنین طول خطوط کشت و فاصله بین ردیف‌ها به ترتیب ۴ متر و ۴۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. علاوه بر این، فاصله روی ردیف برای نخود و سیاهدانه به ترتیب هفت و پنج سانتیمتر در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که تراکم بهینه نخود و سیاهدانه به ترتیب ۳۶۰ هزار و ۵۰۰ هزار بوته در هکتار در نظر گرفته شد. به‌منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در پاییز ۱۳۹۶ شخم نیمه‌عمیق توسط گاواهن برگرداندار انجام و در بهار پس از شخم سطحی، جهت نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده گردید. کاشت کرتی نخود و سیاهدانه بطور همزمان در ۲۰ فروردین‌ماه ۱۳۹۷ صورت گرفت. قارچ *Funneliformis mosseae* از کلینیک گیاه‌پزشکی اسدآباد همدان تهیه شد. قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، قطعات کلونیزه شده ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود (کریمی و همکاران ۲۰۱۶ و ویسانی و همکاران ۲۰۱۶)، در هر ردیف کاشت به مقدار ۱۵۰ گرم استفاده شد. در زمان کاشت ابتدا بذر را با محلول قند و سپس با باکتری *Mesorhizobium ciceri* با جمعیت

بیولوژیک بالا، نسبت عملکرد مورد نیاز مربوطه را نیز در برگیرد، از نسبت برابری زمین استاندارد استفاده می شود. در تعیین نسبت برابری زمین استاندارد برای تیمارهای مختلف، کشت خالصی به کار می رود که حداکثر عملکرد را در بردارد. نسبت برابری زمین استاندارد (LER<sub>s</sub>) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (واندرمیر ۱۹۸۹):

$$LER_s = (Y_{cn}/Y_{cc \text{ Max.}}) + (Y_{nc}/Y_{nn \text{ Max.}}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این Y<sub>cc Max.</sub> و Y<sub>nn Max.</sub> بترتیب حداکثر عملکرد نخود و سیاهدانه در کشت خالص می باشد.

یکی از معایب نسبت برابری زمین این است که عامل زمان در نظر گرفته نمی شود. در کشت مخلوط گاهی اتفاق می افتد 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 می کنند. با توجه به این امر و در نظر گرفتن عامل زمان، شاخص نسبت معادل کشت و زمان (ATER) پیشنهاد شده است (ویلی ۱۹۷۹). نسبت معادل کشت و زمان در حقیقت بیانگر کارایی تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی بر حسب واحد زمان و سطح زیرکشت می باشد که از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$ATER = (Y_{cn}/Y_{nn} \times t_c) + (Y_{nc}/Y_{cc} \times t_n) / t \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه t<sub>c</sub> طول دوره رشد نخود، t<sub>n</sub> طول دوره رشد سیاهدانه و t طول دوره رشد در کشت مخلوط می باشد.

نسبت معادل سطح برداشت (AHER) شاخصی است برای نشان دادن کارایی یا بازده مصرف منابع محیطی که به صورت زیر محاسبه شد (بالاسوبرامانیان و سکایانگ ۱۹۹۰):

$$AHER = (Y_{cn}/Y_{cc} \times n_i) + (Y_{nc}/Y_{nn} \times n_i) \quad (\text{رابطه ۴})$$

استاندارد (LERS)<sup>۱</sup>، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER)، نسبت معادل سطح برداشت (AHER)<sup>۲</sup>، کارایی استفاده از زمین (LUE)، نسبت رقابت (CR)<sup>۳</sup>، ضریب تراکم نسبی (K)<sup>۴</sup>، غالبیت (A)<sup>۵</sup>، کاهش واقعی عملکرد (AYL)، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI)<sup>۶</sup>، سودمندی کشت مخلوط (IA)<sup>۷</sup> و شاخص برتری مالی کشت مخلوط (MAI)<sup>۸</sup> استفاده شد (واندرمیر ۱۹۸۹).

مزیت نسبی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص برای هر نسبت کاشت با استفاده از نسبت برابری زمین (LER) محاسبه می شود. نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می گردد و بوسیله آن مشخص می شود که برای بدست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

$$LER = (Y_{cn}/Y_{cc}) + (Y_{nc}/Y_{nn}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه Y<sub>cn</sub> و Y<sub>nc</sub> به ترتیب عملکرد نخود و سیاهدانه در کشت مخلوط و Y<sub>cc</sub> و Y<sub>nn</sub> بترتیب عملکرد نخود و سیاهدانه در کشت خالص می باشد. زمانی که LER برابر یک باشد، کشت مخلوط هیچ مزیتی بر کشت خالص ندارد. این حالت در صورتی رخ می دهد که در اجزای مخلوط رقابت درون گونه ای با رقابت برون گونه ای برابر است. علاوه بر آن، اگر میزان افزایش یک محصول معادل با کاهش محصول دیگر در کشت مخلوط باشد، مقدار LER برابر یک خواهد شد. اگر مقدار LER کوچکتر از یک باشد کشت خالص بر کشت برتری داشته و اگر مقدار LER بزرگتر از یک باشد کشت مخلوط سودمندی بیشتری نسبت به کشت خالص داشته است (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). به منظور تعیین سیستم های مخلوطی که ضمن برخورداری از کارایی

6 - System Productivity Index

7 - Intercropping advantage

8 - Monetary advantage intercropping

1 - Land Equivalent Ratio Standard

2 - Area Harvest Equivalent Ratio

3 - Competition Ratio

4 - Relative Crowding Coefficient

5 - Aggressivity



$$A_c = (Y_{cn}/Y_{cc} \times Z_{cn}) - (Y_{nc}/Y_{nn} \times Z_{nc}) \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$A_n = (Y_{nc}/Y_{nn} \times Z_{nc}) - (Y_{cn}/Y_{cc} \times Z_{cn})$$

در این رابطه  $A_c$  و  $A_n$  به ترتیب ضریب غالبیت برای نخود و سیاهدانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد.

جهت بدست آوردن کاهش واقعی عملکرد (AYL) از رابطه زیر استفاده شد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱).

$$AYL = AYL_c + AYL_n$$

$$AYL_c = ((Y_{cn}/Z_{cn})/(Y_{nn}/Z_{nn}) - 1) \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$AYL_n = ((Y_{nc}/Z_{nc})/(Y_{nn}/Z_{nn}) - 1)$$

در این روابط  $AYL_c$ ،  $AYL_n$  و  $AYL$  به ترتیب کاهش واقعی عملکرد کل، کاهش واقعی عملکرد نخود و کاهش واقعی عملکرد سیاهدانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد.

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

$$SPI = (Y_{nn}/Y_{cc})Y_{cn} + Y_{nc} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

جهت تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط (IA) و سودمندی مالی (MAI) و مجموع ارزش نسبی (RVT) استفاده شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). در این شاخص‌ها قیمت نخود و سیاهدانه بترتیب کیلویی ۷۶۰۰ و ۳۰ هزار تومان در نظر گرفته شد.

$$IA = IA_c + IA_n \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$IA_c = AYL_c \times P_c$$

$$IA_n = AYL_n \times P_n$$

$$MAI = (Y_{cn} \times P_c + Y_{nc} \times P_n) \times (LER - 1/LER) \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$RVT = (Y_{nc} \times P_n + Y_{cn} \times P_c) / Y_{pp} P_p \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$Y_{nn} P_n > Y_{cc} P_c$$

$\pi_i$ : بیانگر این است که در طول دوره کشت مخلوط چند بار می‌توان گیاه را بصورت خالص کاشت یا برداشت نمود.

کارایی استفاده از زمین (LUE)، توسط دو شاخص LER و ATER از طریق رابطه زیر محاسبه شد. 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).

$$LUE = [(LER + ATER) / 2] \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

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).

$$CR_c = (LER_c / LER_n) \times (Z_{nc} / Z_{cn}) \quad (\text{رابطه ۶ و ۷})$$

$$CR_n = (LER_n / LER_c) \times (Z_{cn} / Z_{nc})$$

در این رابطه  $Z_{cn}$  و  $Z_{nc}$  به ترتیب نسبت سیاهدانه و نخود کاشته شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد. ضریب تراکم نسبی (RCC)، میزان رقابت بین گیاهانی را نشان می‌دهد که با استفاده از روش جایگزینی به صورت مخلوط کشت شده‌اند.

$$K = k_c \times K_n$$

$$K_c = (Y_{cn} \times Z_{nc}) / [(Y_{cc} - Y_{cn}) Z_{cn}] \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$K_n = (Y_{nc} \times Z_{cn}) / [(Y_{nn} - Y_{nc}) Z_{nc}]$$

ضریب غالبیت، میزان غالبیت گیاهان را نسبت به همدیگر در کشت مخلوط نشان می‌دهد (هاگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۹).

## اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه

در مرحله گلدهی کامل از کرت‌هایی که قارچ میکوریزا مصرف شده بود نمونه‌های ریشه جمع آوری شد، ابتدا ریشه‌ها با آب شستشو داده شدند. سپس ریشه‌ها را داخل هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت ۱۰-۵ دقیقه حرارت و مجدداً با آب مقطر شستشو و بعد از آن داخل محلول اسید هیدروکلریدریک ۲ درصد به مدت ۲۰-۱۵ دقیقه قرار داده شدند. جهت رنگ آمیزی، ریشه‌ها را داخل تریپان بلو<sup>۹</sup> ۰/۰۵ درصد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت و با آب مقطر شستشو و سپس در محلولی که حاوی اسید لاکتیک، گلیسرول و آب بود تا زمان سنجش نگهداری شدند (مک‌گونیگل و همکاران ۱۹۹۰؛ کاسک و جیما ۱۹۸۹؛ فیلیپس و هایمن ۱۹۷۰). نمونه‌های رنگ‌آمیزی

شده توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند و از اندام‌ها و ریشه‌های قارچی که رنگ آبی به خود گرفته بودند عکسبرداری شد. در نهایت درصد کلونیزاسیون با روش خطوط متقاطع محاسبه شد (جیووانتی و ماس ۱۹۸۰). ریشه‌های رنگ آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده و بصورت تصادفی درون پلیت شیشه‌ای قرار داده شدند. سپس یک صفحه شطرنجی به ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر تهیه و زیر پلیت قرار گرفت، جهت مشاهده و شمارش ریشه‌های آلوده و غیرآلوده از یک استیرو میکروسکوپ (بینوکولار) استفاده شد. ریشه‌های آلوده و غیرآلوده که با خطوط عمودی و افقی صفحه شطرنجی تقاطعی را ایجاد کرده بودند، هر کدام جداگانه شمارش شدند و درصد کلونیزاسیون از رابطه ۱۵ بدست آمد:

$$۱۰۰ \times (\text{تعداد کل تقاطع‌های بین ریشه و شبکه} / \text{تعداد تقاطع ریشه‌های حاوی میکوریزا}) = \text{درصد کلونیزاسیون ریشه}$$

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار آماری MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت پذیرفت.

## نتایج و بحث

## ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد ارتفاع بوته نخود تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت ولی اثر متقابل الگوی کشت در قارچ میکوریزا برای این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان ارتفاع بوته نخود (۵۲/۵۶ سانتیمتر) در الگوی کشت مخلوط ۲:۱ بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی ۱:۲ نداشت. همچنین کمترین میزان شاخص ذکر شده (۴۵/۲۲ سانتیمتر) به الگوی کشت ۱:۱ و پس از آن کشت خالص نخود متعلق بود (جدول ۴).

همچنین نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا بر ارتفاع بوته سیاهدانه بود. ولی این صفت تحت تأثیر اثر متقابل الگوی کشت و قارچ میکوریزا قرار نگرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان ارتفاع بوته سیاهدانه (۲۷/۲۱ سانتیمتر) به الگوی کشت مخلوط یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با الگوهای ۲:۱ و ۱:۱ نداشت. همچنین کمترین میزان ارتفاع بوته (۲۲/۶۵ سانتیمتر) به کشت خالص سیاهدانه مربوط بود (جدول ۶). ارتفاع بوته تحت تأثیر شرایط رویشی گیاه قرار می‌گیرد، به طوری که هر جا از رقابت برون‌گونه‌ای در جهت کسب نور کاسته می‌شود، ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد. تونا و اوراک (۲۰۰۷) در کشت مخلوط ماشک با یولاف گزارش کرده‌اند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به شدت رقابت بین دو گیاه بستگی دارد. به طوری که ارتفاع بوته در صورت رقابت شدید افزایش می‌یابد. دلیل آن به سایه‌اندازی و رقابت

<sup>9</sup> -Trypan blue

بوته زرت را در ترکیب‌های مختلف مخلوط زرت و ماش گزارش نمودند. همچنین نتایج نشان داد میزان ارتفاع بوته نخود و سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا به ترتیب ۶/۵۷ و ۱۰/۲۹ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش پیدا کرد. دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربرد قارچ میکوریزا به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر، آمونیوم، مس و پتاسیم نسبت داده می‌شود که در نهایت منجر به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخ و برگ می‌گردد (بائوم و همکاران ۲۰۱۵). همچنین معصومی زواریان (۲۰۱۵) نتیجه گرفتند که کاربرد قارچ میکوریزا باعث افزایش ارتفاع بوته و وزن کل ماده خشک گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) گردید.

نوری بین بوته‌ها نسبت داده شد (تونا و اوراک ۲۰۰۷). در شرایط سایه با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) و کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) افزایش ارتفاع گیاهان قابل انتظار است (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امانی ماچپانی و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند بیشترین ارتفاع بوته باقلا در کشت مخلوط با نعنای فلفلی در تیمار ۱:۳ (۱ ردیف نعنای فلفلی + ۳ ردیف باقلا) و ۲:۳ (۲ ردیف نعنای فلفلی + ۳ ردیف باقلا) بدست آمد. همچنین جرن و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که ارتفاع بوته زرت در کشت خالص نسبت به ترکیب‌های مختلف زرت و ماش (*Vigna radiate* L.) و زرت و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) کاهش نشان داد. این محققان حداکثر ارتفاع

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد نخود در کشت مخلوط با سیاهدانه

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	دانه در غلاف	دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد عملکرد
تکرار	۲	۲۴/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۶۴۷ <sup>ns</sup>	۳/۳۰ <sup>ns</sup>	۲۸۵/۸۱ <sup>ns</sup>	۷۰۰۶۰۴/۱ <sup>ns</sup>
الگوی کشت	۳	۷۳/۵۰ <sup>**</sup>	۴/۸۱ <sup>**</sup>	۴/۲۱ <sup>*</sup>	۵۹۹/۰۱ <sup>ns</sup>	۱۲۹۷۸۲۷/۹۹ <sup>**</sup>
قارچ میکوریزا	۱	۵۸/۰۱ <sup>*</sup>	۱۷/۷۶ <sup>**</sup>	۷/۷۳ <sup>*</sup>	۶۴/۶۱ <sup>ns</sup>	۲۶۵۰۳۵۸/۳۴ <sup>**</sup>
الگوی کشت* قارچ میکوریزا	۳	۱۵/۷۹ <sup>ns</sup>	۲/۰۶ <sup>ns</sup>	۱/۰۶ <sup>ns</sup>	۹۲۲/۵۶ <sup>ns</sup>	۳۱۸۶۵۰/۹۸ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۱۴	۹/۱۵۹	-/۰۱۴	۵/۹۰۳	۳۶۲/۸۳	۱۷۶۵۸۵/۰۱
ضریب تغییرات (%)		۶/۱۹	۹/۸۹	۱۳/۸۲	۸/۶۹	۱۱/۶۲

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت تأثیر اثرات اصلی الگوهای کشت و کاربرد قارچ میکوریزا

الگوی کشت	ارتفاع بوته (cm)	دانه در غلاف	دانه در بوته	عملکرد بیولوژیک (Kg.h <sup>-1</sup> )	عملکرد دانه (Kg.h <sup>-1</sup> )
کشت خالص نخود	۴۶/۷۲bc	۱/۳۰a	۱۹/۵۵a	۴۱۴۲/۹a	۱۲۰۳/۵a
۱:۱	۴۵/۲۲c	۱/۰۷b	۱۵/۳۰c	۳۰۶۸/۵d	۸۰۸/۳b
۱:۲	۵۱/۱۷ab	۱/۱۱ab	۱۹/۰۲a	۳۴۳۹/۶c	۸۶۲/۹b
۲:۱	۵۲/۵۶a	۱/۲۲ab	۱۶/۴۵b	۳۸۱۷/۱b	۱۱۰۹/۶a
قارچ میکوریزا					
عدم تلقیح	۴۷/۳۶b	۱/۰۸b	۱۶/۲۰b	۳۲۸۴/۷b	۸۸۶/۸b
تلقیح	۵۰/۴۷a	۱/۲۸a	۱۸/۹۶a	۳۹۴۹/۳a	۱۱۰۵/۱a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

ns، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشد.

**جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود**

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه جانبی	دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار	۲	۱۷/۵۶ <sup>ns</sup>	۲/۳۴ <sup>ns</sup>	۳۱۶۲/۸۵°	-/۳۳۷ <sup>**</sup>	۴۷۰۳۳۴/۱ <sup>ns</sup>	۸۷۹۸/۲۸ <sup>ns</sup>	۸۱/۶۱*	-/۰۰۴۴ <sup>ns</sup>	۱۵۳۴۸/۱ <sup>ns</sup>
الگوی کشت	۳	۳۸/۳۹°	-/۳۶۹ <sup>ns</sup>	۳۶۸۵/۲°	-/۱۵۰°	۱۰۹۴۷۰۶/۳ <sup>**</sup>	۲۵۸۵۹۸/۹۸ <sup>**</sup>	۱۳۳/۹۹ <sup>**</sup>	-/۰۳۹۸ <sup>**</sup>	۳۳۷۰۳۵/۳ <sup>**</sup>
قارچ میکوریزا	۱	۳۵/۳۸*	۴/۹۸۷°	۲۸۱۲۶/۱ <sup>**</sup>	-/۶۱۱ <sup>**</sup>	۸۸۴۳۰۸/۱ <sup>**</sup>	۵۹۴۱۱/۴۷ <sup>**</sup>	-/۰۶۰ <sup>ns</sup>	-/۰۰۷۴ <sup>**</sup>	۲۱۰۴۷۹/۷ <sup>**</sup>
الگوی کشت × میکوریزا	۳	۷/۳۶ <sup>ns</sup>	۲/۸۷۲°	۳۲۹۶/۲°	-/۱۹۶°	۳۳۳۹۸۷/۰۵ <sup>**</sup>	۵۹۷/۹۷ <sup>ns</sup>	۵۷/۴۴°	-/۰۰۲۱ <sup>ns</sup>	۶۲۸۲/۱ <sup>ns</sup>
اشتباه آزمایشی	۱۴	۹/۴۹۳	۰/۶۹۱	۷۳۹/۱۰۲	-/۰۰۴	۶۲۳۳۱/۳۱۱	۲۰۵۸/۸۹۲	۱۶/۸۹۳	-/۰۰۱۰	۶۴۸۵/۴۸۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲/۳۱	۳۱/۳۵	۱۴/۱۲	۷/۴۸	۱۱/۶۶	۸/۷۶	۱۴/۸۷	۱۰/۸۸	۱۴/۶۲

**جدول ۶- میانگین برخی صفات سیاهدانه تحت تأثیر اثرات اصلی الگوی کاشت و کاربرد قارچ میکوریزا**

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه جانبی	عملکرد دانه (Kg.h <sup>-1</sup> )	درصد اسانس	عملکرد اسانس (g.m <sup>-2</sup> )
الگوی کشت					
کشت خالص	۲۲/۶۵ b	۱/۳۰ a	۸۲۳/۳ a	۰/۸۴ b	۶/۸۸۵ a
۱:۱	۲۴/۲۰ ab	۱/۰۷ b	۴۸۰/۷ c	۰/۸۵ b	۴/۲۲۹ b
۱:۲	۲۷/۲۱ a	۱/۱۱ ab	۶۸۰/۵ b	۰/۹۸ a	۷/۳۲۶ a
۲:۱	۲۶/۸۹ ab	۱/۲۲ ab	۳۵۵/۹ d	۱/۰۶ a	۲/۸۵۸ b
قارچ میکوریزا					
عدم تلقیح	۲۳/۸۱ b	۱/۰۸ b	۵۳۵/۳ b	۰/۸۱ b	۴/۳۲۲ b
تلقیح	۲۶/۲۶ a	۱/۲۸ a	۶۳۴/۸ a	۱/۰۶ a	۶/۶۹۲ a

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

**جدول ۷- میانگین برخی صفات سیاهدانه تحت تأثیر اثر متقابل الگوی کشت در قارچ میکوریزا**

تیمار	تعداد فولیکول	دانه در بوته	وزن هزار دانه (gr)	عملکرد بیولوژیک (Kg.h <sup>-1</sup> )	شاخص برداشت (%)
کشت خالص	۴/۴۰ ab	۱۳۵/۹ cd	۲/۶۹ ab	۲۶۲۰/۲ a	۲۸/۷۰ ab
۱:۱	۲/۸۷ c	۱۰۴/۴ d	۲/۱۰ c	۱۳۶۳/۴ d	۲۳/۶۷ b
۱:۲	۳/۴۶ bc	۱۳۳ cd	۲/۷۰ ab	۲۰۶۱/۶ bc	۳۰/۳۰ ab
۲:۱	۲/۹۳ c	۱۱۲/۳ d	۲/۵۳ b	۱۸۵۰/۷ c	۲۳/۲۷ b
کشت خالص + قارچ میکوریزا	۵/۳۳ a	۲۳۴/۱ a	۲/۹۳ a	۲۷۲۹/۹ a	۳۱/۹۷ a
۱+۱:۱ قارچ میکوریزا	۳/۶۷ bc	۱۲۸/۲ cd	۲/۵۶ b	۱۷۶۳/۳ cd	۲۳/۹۳ b
۱+۱:۲ قارچ میکوریزا	۴/۵۷ ab	۲۱۰/۱ ab	۲/۹۸ ab	۲۳۲۸/۹ ab	۳۲ a
۲+۱:۱ قارچ میکوریزا	۴/۰۱ abc	۱۶۸/۲ bc	۲/۸۳ ab	۲۳۱۳/۳ ab	۲۳/۳۰ b

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

**تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته خود تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفتند ولی اثر متقابل الگوی کشت و قارچ میکوریزا بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین میزان تعداد دانه در غلاف به کشت خالص خود مربوط بود که تفاوت معنی‌داری با الگوهای کشت ۱:۲ و ۲:۱ نداشت. همچنین بیشترین میزان تعداد دانه در بوته در کشت خالص خود بدست آمد که با الگوی کشت ۱:۲ در یک سطح قرار گرفتند. علاوه بر این کمترین میزان صفات ذکر شده در الگوی کشت مخلوط یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۱:۱) بدست آمد (جدول ۴). علاوه بر این، تعداد دانه در بوته سیاهدانه تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت، کاربرد قارچ میکوریزا و اثر متقابل دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین (۲۳۴/۱) میزان تعداد دانه در بوته سیاهدانه در کشت خالص سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی ۱:۲ همراه با کاربرد قارچ میکوریزا نداشت. کمترین میزان تعداد دانه در بوته سیاهدانه نیز به الگوی ۱:۱ بدون مصرف قارچ میکوریزا مربوط بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد، حضور گیاه مکمل (سیاهدانه) در الگوهای مختلف کشت مخلوط از طریق کاهش رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های نخود و از طرفی کاهش جمعیت علف‌های هرز به دلیل سایه‌اندازی بیشتر توسط سیاهدانه در سطح زمین باعث بهبود صفات رشدی از قبیل تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته شده است. علاوه بر این، نتایج نشان داده در کشت مخلوط، تثبیت نیتروژن لگوم‌ها به دلیل اثرات مکملی، در نتیجه افزایش وزن خشک و تعداد گره‌های فعال، بیشتر شده و این منجر به بهبود صفات رشدی و عملکرد گیاه همراه می‌شود (هاوگارد نیلسن و همکاران ۲۰۰۱). همچنین پژوهش هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد در کشت خالص

نخود و جو به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای، کاهش اجزاء عملکرد گیاهان مشاهده شد، در حالی‌که در کشت مخلوط دو گیاه به دلیل وارد کردن گونه همراه و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، افزایش اجزاء عملکرد حاصل شد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امانی ماچیان و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند بیشترین میزان تعداد دانه در غلاف باقلا در کشت مخلوط به همراه نعنای فلفلی در الگوی کشت ۲ ردیف نعنای فلفلی+ ۳ ردیف باقلا (۲:۳) حاصل شد. علاوه بر این نتایج نشان داد تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته خود با کاربرد قارچ میکوریزا بترتیب ۱۸/۵۲ و ۱۴/۵۶ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت. همچنین، با کاربرد قارچ میکوریزا تعداد دانه در بوته سیاهدانه ۵۲/۱۶ درصد نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت. بهبود صفات رشدی گیاه با کاربرد قارچ میکوریزا به افزایش سطح جذب عناصر غذایی توسط ریشه و جذب بیشتر آن‌ها نسبت داده می‌شود (قیصری زردک و همکاران ۲۰۱۸). در تطابق با نتایج حاضر، ویسانی و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که صفات رشدی و عملکردی در شنبلینه (*Trigonella foenum graecum L.*)، گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) و سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا بهبود پیدا کردند.

**تعداد فولیکول**

تعداد فولیکول سیاهدانه تحت تأثیر معنی‌دار کاربرد قارچ میکوریزا و اثر متقابل الگوی کشت و قارچ میکوریزا قرار گرفت. ولی اثر الگوی کشت بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۵). بیشترین تعداد فولیکول در کشت خالص سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با الگوی ۲:۱، ۱:۲ همراه با قارچ میکوریزا و خالص سیاهدانه بدون مصرف قارچ میکوریزا نداشت (جدول ۷). همچنین با کاربرد قارچ میکوریزا تعداد فولیکول سیاهدانه نسبت به عدم مصرف ۲۸/۶۵ درصد افزایش نشان داد. کاربرد قارچ میکوریزا بدلیل بر همکنش

بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد کود در زنیان *(Carum copticum L.)* نتیجه گرفتند که بیشترین وزن هزار دانه زنیان با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا+ *ازتوباکتر*+ فسفر بارور ۲ و همچنین کاربرد جداگانه قارچ میکوریزا در شرایط رطوبتی مطلوب حاصل شد.

### عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد بیولوژیک نخود تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت ولی تحت تأثیر اثر متقابل الگوی کشت و قارچ میکوریزا واقع نشد (جدول ۳). بیشترین (۴۱۴۲/۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۰۶۸/۵ کیلوگرم در هکتار) مقدار عملکرد بیولوژیک به ترتیب در کشت خالص نخود و کشت مخلوط یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه بدست آمد. همچنین در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک به تیمار دو ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۲:۱) مربوط بود (جدول ۴). نتایج مشابهی در عملکرد دانه نخود نیز مشاهده شد. طبق نتایج تجزیه واریانس، الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه نخود داشتند ولی اثر متقابل الگوی کشت و قارچ میکوریزا بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد دانه نخود (۱۲۰۳/۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص آن بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی کشت دو ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۲:۱) نداشت. کمترین میزان عملکرد دانه نخود نیز به تیمار یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه (۱:۱) متعلق بود. همچنین نتایج نشان داد میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود با کاربرد قارچ میکوریزا به ترتیب ۱۱/۰۴ و ۲۰/۲۳ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش پیدا کرد (جدول ۴).

طبق جدول ۵، عملکرد بیولوژیک سیاهدانه تحت تأثیر معنی‌دار فاکتورهای آزمایش و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک سیاهدانه

مثبت آن در محیط رایزوسفر ریشه و با در دسترس قرار دادن عناصر غذایی موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی و به تبع آن افزایش فتوسنتز شده که در نتیجه آن صفات رشدی از قبیل تعداد فولیکول افزایش می‌یابد (رضائی چیانه و همکاران ۲۰۱۵). شباهنگ و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند تلقیح با قارچ میکوریزا منجر به افزایش صفات رشدی از قبیل تعداد شاخه جانبی، تعداد چتر، چترک در دو گیاه رازیانه و زنیان گردید. این محققین دلیل بهبود صفات رشدی با تلقیح قارچ میکوریزا را به بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان همزیست، دسترسی به منابع موجود به ویژه رطوبت و مواد غذایی همچون فسفر نسبت دادند.

### وزن هزار دانه

وزن هزار دانه نخود تحت تاثیر فاکتورهای مورد آزمایش قرار نگرفت. برعکس وزن هزار دانه سیاهدانه تحت تاثیر معنی‌دار الگوهای کشت، قارچ میکوریزا و اثر متقابل دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین وزن هزار دانه سیاهدانه (۲/۹۸ گرم) در الگوی ۱:۲ همراه با قارچ میکوریزا بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوهای خالص سیاهدانه تلقیح شده با قارچ میکوریزا، ۲:۱ تلقیح شده با قارچ میکوریزا و ۱:۲ بدون تلقیح با میکوریزا نداشت. کمترین میزان وزن هزار دانه نیز به الگوی کشت ۱:۱ در حالت عدم تلقیح با قارچ میکوریزا اختصاص داشت (جدول ۷). همچنین تلقیح با قارچ میکوریزا وزن هزار دانه سیاهدانه را ۱۲/۷۵ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش داد. قارچ‌های میکوریزا قادرند از طریق افزایش جذب بهتر آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز شده و از طرفی در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه به ویژه در دوره پر شدن دانه منجر به افزایش صفات عملکردی از قبیل عملکرد زیستی، عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌شود (خرمدل و همکاران ۲۰۰۸). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، رضائی‌چیانه و همکاران (۲۰۱۵) با

نخود در کشت مخلوط ۲:۱ و عدم تفاوت معنی‌دار با کشت خالص، به افزایش تعداد و وزن خشک گره و تثبیت بیشتر نیتروژن در نتیجه اثر مساعدتی گیاه مکمل (سیاهدانه) نسبت داده می‌شود (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). چپاگین و رایزمن (۲۰۱۴) مشاهده کردند تعداد گره خودفرنگی در کشت مخلوط با جو ۴۵-۲۷ درصد بیشتر و در نتیجه میزان تثبیت نیتروژن ۱۷-۹ درصد بالاتر از کشت خالص آن بود. در الگوهای کشت مخلوط، هر چه قدر شباهت گیاهان موجود از نظر اکولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کمتر باشد، میزان استفاده از منابع محیطی مانند نور به حداکثر رسیده و کارایی مصرف نور افزایش می‌یابد، به طوری که تسهیم مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها بیشتر و در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). آگنهو و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که با افزایش حضور باقلا از ۱۲/۵ تا ۶۲/۵ درصد، عملکرد باقلا در کشت مخلوط با جو افزایش یافت که دلیل این امر را به اصل تولید رقابتی و استفاده حداکثری از منابع محیطی نسبت دادند. علاوه بر این نتایج نشان داد عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نخود با کاربرد قارچ میکوریزا بترتیب ۲۰/۲۳ و ۲۴/۶۲ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت. همچنین با کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد بیولوژیک و دانه سیاهدانه نیز نسبت به عدم مصرف قارچ بترتیب ۱۵/۷ و ۱۸/۵۹ درصد افزایش یافت. با توجه به این که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به بهبود صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف و دانه در بوته می‌گردد، لذا افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نخود به بهبود صفات رشدی و عملکردی آن بر اثر افزایش جذب عناصر غذایی نسبت داده می‌شود (لاتف و چائوکسینگ ۲۰۱۱). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، اکبری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که استفاده از قارچ میکوریزا با بهبود جذب آب و افزایش فتوسنتز منجر به تحریک رشد رویشی و در نهایت عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) شد.

(۲۷۲۹/۹ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص آن با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوهای کشت ۱:۲ تلقیح شده با قارچ میکوریزا، ۲:۱ تلقیح شده با قارچ میکوریزا و کشت خالص سیاهدانه بدون کاربرد قارچ میکوریزا نداشت. همچنین کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۶۳/۴ کیلوگرم در هکتار) نیز در الگوی کشت یک ردیف نخود+ یک ردیف سیاهدانه در حالت عدم مصرف قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷).

عملکرد دانه سیاهدانه نیز تحت تاثیر معنی‌دار اثرات اصلی فاکتورهای آزمایش قرار گرفت. اما اثر ترکیب تیماری الگوی کشت و قارچ میکوریزا بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۵). بیشترین میزان عملکرد دانه سیاهدانه به کشت خالص آن مربوط بود و بعد از آن الگوی ۱:۲ قرار گرفت. کمترین میزان عملکرد دانه سیاهدانه به الگوی ۲:۱ تعلق داشت که نسبت به کشت خالص آن ۵۶/۷۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۶). کاهش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به افزایش رقابت برون گونه‌ای برای کسب منابع مورد نیاز رشد از قبیل آب، عناصر غذایی، نور و ... نسبت داده می‌شود (قلی نژاد و رضائی چیانه ۲۰۱۴). به طور مشابه، امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در کلیه الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا با نعنای فلفلی، میزان عملکرد دانه سویا نسبت به کشت خالص آن کمتر بود. در پژوهشی روستایی و همکاران (۲۰۱۸) نتیجه گرفتند که عملکرد سویا در الگوهای کشت مخلوط دو ردیف سویا+ یک ردیف سیاهدانه و یک ردیف سویا+ دو ردیف سیاهدانه و با کاربرد کود آلی تفاوت معنی‌داری با عملکرد آن در کشت خالص نداشت. همچنین نتایج حاصل از این آزمایش بیانگر کاهش معنی‌دار عملکرد سیاهدانه در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. به طور مشابه روستایی و همکاران (۲۰۱۸) هم کاهش عملکرد سیاهدانه در کشت مخلوط را گزارش نموده‌اند. دلیل آن را به سایه‌اندازی و در نتیجه کاهش سطح برگ و شاخص سطح برگ نسبت دادند. از طرفی، بالا بودن عملکرد دانه

**شاخص برداشت**

شاخص برداشت خود تحت تاثیر معنی‌دار فاکتورهای مورد آزمایش قرار نگرفت. ولی شاخص برداشت سیاهدانه تحت تاثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و ترکیب تیماری الگوی کشت و قارچ میکوریزا واقع شد (جدول ۵). بیشترین میزان شاخص برداشت سیاهدانه (۳۲ درصد) به تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا مربوط بود که تفاوت معنی‌داری با الگوهای خالص سیاهدانه تلقیح شده با قارچ میکوریزا، ۱:۲ بدون تلقیح و کشت خالص سیاهدانه بدون تلقیح نداشت (جدول ۷). بهبود شاخص برداشت در کشت مخلوط، اغلب از طریق افزایش ظرفیت گونه‌ها برای جذب و مصرف فیزیولوژیکی منابع توسط آن‌ها حاصل می‌شود. همچنین بهبود شاخص برداشت را می‌توان به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن نسبت داد. زیرا نیتروژن یکی از عناصر غذایی موثر بر میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه بهبود عملکرد و شاخص برداشت می‌باشد (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵).

**درصد اسانس**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد اسانس سیاهدانه تحت تاثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت. ولی تحت تاثیر ترکیب تیماری الگوی کشت و قارچ میکوریزا واقع نشد (جدول ۵). بیشترین (۱/۰۶) و کمترین (۰/۸۴) درصد اسانس به‌ترتیب در الگوهای یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) و کشت خالص سیاهدانه بدست آمد (جدول ۶). میزان اسانس گیاهان تحت شرایط نور اضافی بیشتر از گیاهان تحت شرایط نور معمولی است و بیوسنتز اسانس بستگی زیادی به رژیم‌های نوری دارد از آنجایی که اسانس ترکیبی ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آن به ATP و NADPH نیاز دارند و با در نظر گرفتن این مطلب که حضور عناصر برای

تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد (ارمنو و فرناندز ۲۰۱۲)، به نظر می‌رسد کشت مخلوط این گیاه دارویی با نخود از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن موجب افزایش درصد اسانس شده است. رضائی چپانه و قلی نژاد (۲۰۱۵) گزارش کردند که بیشترین (۱/۴۷ درصد) و کمترین (۰/۹۷ درصد) اسانس سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود به‌ترتیب در الگوی مخلوط ۵۰ درصد نخود+ ۱۰۰ درصد سیاهدانه و کشت خالص سیاهدانه بدست آمد. همچنین با کاربرد قارچ میکوریزا درصد اسانس سیاهدانه ۳۰/۸۶ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافت. افزایش اسانس با کاربرد قارچ میکوریزا به بهبود صفات رشدی گیاه، افزایش فعالیت فتوسنتزی و غدد تشکیل دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می‌شود (کوپتا و همکاران ۲۰۰۶). کاپور و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که کاربرد قارچ میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از قبیل جاسمونیک اسید، ژبیرلیک اسید و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهورمون‌ها، تشکیل غدد ترشح کننده اسانس را بیشتر کرده و در نهایت منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند. رسولی صادقیانی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که کاربرد سه گونه مختلف قارچ میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار درصد اسانس گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) نسبت به شاهد (عدم مصرف قارچ) شد.

**عملکرد اسانس**

اثر الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا بر عملکرد اسانس سیاهدانه معنی‌دار شد. ولی این صفت تحت تاثیر ترکیب تیماری الگوی کشت و قارچ میکوریزا قرار نگرفت (جدول ۵). بیشترین عملکرد اسانس (۷۳۲/۶ گرم در متر مربع) در تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) بدست آمد. همچنین با کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد اسانس سیاهدانه ۵۴/۸۴ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافت (جدول ۶). عملکرد اسانس



زمین می‌باشد (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). مونتی و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که افزایش LER جزئی به بیشتر از ۰/۵ به درجه مطلق اجزای مخلوط بستگی دارد. همچنین، بیشترین مقادیر LER معمولی و استاندارد در تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده شد. براساس مقادیر LER استاندارد، ۴۰-۱۹ درصد سطح زیرکشت بیشتری در کشت خالص نیاز است تا عملکردی مشابه کشت مخلوط حاصل شود. استفاده کارآمد از منابع محیطی، تبادل مواد غذایی، افزایش توانایی رقابتی در کنترل علف‌های هرز، تثبیت نیتروژن، وجود اختلاف در سیستم ریشه‌ای اجزای مخلوط و جذب بیشتر تشعشع دلیل افزایش LER در کشت مخلوط می‌باشد (بانیک و همکاران ۲۰۰۶). امانی ماچپانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در کلیه الگوهای کشت مخلوط نعنای فلفلی و سویا نسبت برابر زمین بیشتر از یک بود. کوچکی و همکاران (۲۰۱۲) در کشت مخلوط گاوزبان اروپایی و لوبیا مشاهده کردند که کشت مخلوط لوبیا با گل گاوزبان باعث افزایش نسبت برابری زمین شد، به طوری که بالاترین مقدار آن (۱/۵۵) در تیمار ۲:۲ مشاهده شد.

سیاهدانه رابطه مستقیمی با عملکرد دانه و درصد اسانس تولیدی دارد. لذا، افزایش عملکرد آن در کشت مخلوط یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا به افزایش عملکرد دانه و درصد اسانس بیشتری در این تیمار نسبت داده می‌شود (امانی ماچپانی و همکاران ۲۰۱۹). قیصری زرداک و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که عملکرد اسانس رازیانه در رژیم‌های مختلف رطوبتی با کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت. همچنین، رضائی چپانه و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند بیشترین درصد اسانس گیاه زنیان با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (قارچ میکوریزا+ ازتوباکتر+ فسفر بارور) بدست آمد.

#### شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط سیاهدانه با نخود نسبت به کشت خالص می‌باشد (جدول ۸). نسبت برابری جزئی زمین نخود و سیاهدانه در اکثر الگوهای کشت مخلوط بیشتر از ۰/۵ بود که نشان دهنده برتری این الگوهای کشت براساس کارایی استفاده از

جدول ۸- LER معمولی و استاندارد در الگوهای کشت مخلوط

LER استاندارد			LER استاندارد			تیمار
کل	نخود	سیاهدانه	کل	نخود	سیاهدانه	
۰/۸۷	۰/۴۶	۰/۴۱	۱/۱۳	۰/۵۹	۰/۵۴	سیاهدانه ۱:۱ نخود
۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۶۴	۱/۳۲	۰/۹۲	۰/۴۰	سیاهدانه ۲:۱ نخود
۱/۱۹	۰/۶۹	۰/۵۰	۱/۵۲	۰/۷۲	۰/۸۰	سیاهدانه ۱:۲ نخود
۱/۲۱	۰/۶۰	۰/۶۱	۱/۳۶	۰/۷۴	۰/۶۳	سیاهدانه ۱:۱ نخود+ قارچ میکوریزا
۱/۲۰	۰/۴۴	۰/۷۶	۱/۳۸	۰/۹۲	۰/۴۶	سیاهدانه ۲:۱ نخود+ قارچ میکوریزا
۱/۴۰	۰/۸۱	۰/۵۹	۱/۵۶	۰/۷۱	۰/۸۵	سیاهدانه ۱:۲ نخود+ قارچ میکوریزا

مقادیر ATER و AHER در الگوی کشت یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۹). نسبت معادل برداشت بیانگر کارایی یا بازده مصرف منابع محیطی در کشت مخلوط می‌باشد. احتمال می‌رود بالاتر بودن شاخص ATER و

نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER)، نسبت معادل سطح برداشت (AHER) و کارایی استفاده از زمین (LUE)

مقدار ATER در همه الگوهای کشت مخلوط به جز الگوی ۱:۱ بدون تلقیح بالاتر از یک بدست آمد. بیشترین

تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد. سینگ و همکاران (۲۰۱۳) در کشت مخلوط سیر و شمعدانی 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 در این تیمار نسبت به الگوهای مختلف کشت مخلوط بیان نمودند.

AHER در کشت مخلوط به دلیل افزایش کارایی مصرف نور و جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش رشد علف‌های هرز و کاهش رقابت بین دو گونه باشد (ورما و همکاران ۲۰۱۳ و سینگ و همکاران ۲۰۱۳). سینگ و همکاران (۲۰۱۳) در کشت مخلوط شمعدانی و سیر گزارش کردند که میزان ATER در کلیه الگوهای کشت مخلوط بزرگتر از یک بدست آمد. روند LUE شبیه ATER و LER بود. به طوری که بالاترین میزان LUE در

جدول ۹- میزان ATER، AHER، LUE در تیمارهای مخلوط

LUE	AHER	ATER	تیمار
۱۰۵	۱/۱۳	۰/۹۷	سیاهدانه ۱:۱ نخود
۱۲۰/۱	۱/۳۲	۱/۰۸	سیاهدانه ۲:۱ نخود
۱۴۲/۵	۱/۵۲	۱/۳۳	سیاهدانه ۱:۲ نخود
۱۲۶/۵	۱/۳۶	۱/۱۷	سیاهدانه ۱:۱ نخود + قارچ میکوریزا
۱۲۵/۷	۱/۳۸	۱/۱۳	سیاهدانه ۲:۱ نخود+ قارچ میکوریزا
۱۴۶/۸	۱/۵۶	۱/۳۷	سیاهدانه ۱:۲ نخود+ قارچ میکوریزا

بودن نسبت رقابت به این معنی است که آن گونه می‌تواند با گونه دیگر به صورت مخلوط کشت شود ولی اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیشتر از ۱ باشد مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (ویلی ۱۹۷۹).

شاخص افت واقعی عملکرد (AYL) اطلاعات دقیق تری نسبت به دیگر شاخص‌ها درباره رقابت درون و برون‌گونه‌ای گیاهان و رفتار هر گونه در کشت مخلوط می‌دهد (دباغ محمدی نسب و همکاران ۲۰۱۱). با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول ۱۰ بیشترین مقادیر AYL در تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد. همچنین، مقدار AYL در همه الگوهای 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). زو و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که AYL مثبت بیانگر آن است که محصول واقعی

### شاخص‌های رقابتی

با بررسی شاخص‌های رقابتی می‌توان رفتار دو گونه را در نسبت‌های مختلف کشت، دقیق‌تر بررسی نمود (جدول ۱۰). غالبیت (A) بیانگر معیاری از ارتباطات رقابتی بین دو گیاه در کشت مخلوط است (ویلی ۱۹۷۹). نتایج نشان داد میزان غالبیت در همه نسبت‌های کشت برای نخود مثبت و برای سیاهدانه منفی بود که بیانگر توانایی رقابتی بیشتر نخود نسبت به سیاهدانه است (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). نتایج غالبیت با نتایج شاخص نسبت رقابت مطابقت دارد. به طوری که در همه نسبت‌های کشت به جز ۱:۲ میزان CR نخود بیشتر از سیاهدانه بود. بنا بر گزارش ویلی و راثو (۱۹۸۰) شاخص نسبت رقابت معیار مناسب‌تری برای ارزیابی توانایی رقابتی اجزای کشت مخلوط است و در مقایسه با شاخص‌های دیگر مانند شاخص غالبیت (A) و ضریب تراکم نسبی (K) دقت بیشتری در ارزیابی رقابت دارد. در همه الگوهای کشت به جز ۱:۲ مقادیر CR سیاهدانه کمتر از یک بود. کمتر

آن‌ها است (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، بیشترین مقدار K کل در کشت مخلوط یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد. هر اندازه مقدار K 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).

گیاهان در کشت مخلوط بیشتر از محصول پیش بینی شده بوده و از عوامل محیطی رشد استفاده بیشتری کرده‌اند.

ضریب تراکم نسبی نخود در همه نسبت‌های کشت بیشتر از ۱ بود که بیانگر برتری عملکرد نخود نسبت به سیاهدانه در کشت مخلوط است. در تأیید این نتیجه می‌توان به غالبیت و نسبت رقابت بیشتر نخود اشاره کرد. همچنین، مقدار

K کل در همه تیمارها بالاتر از یک بدست آمد که بیانگر سودمندی کشت مخلوط دو گیاه نسبت به کشت خالص

جدول ۱۰- ضریب غالبیت، نسبت رقابت و کاهش عملکرد واقعی در الگوهای کشت مخلوط

ترکیب تیماری	غالبیت		نسبت رقابت		کاهش واقعی عملکرد			ضریب ازدحام نسبی	
	سیاهدانه	نخود	سیاهدانه	نخود	سیاهدانه	نخود	کل	سیاهدانه	نخود
سیاهدانه ۱:۱ نخود	-۰/۱۱	-۰/۱۱	۰/۹۰	۱/۱۱	-۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۲۶	۱/۰۶	۱/۱۶
سیاهدانه ۲:۱ نخود	-۰/۱۸	-۰/۱۸	۰/۲۲	۴/۵۹	-۰/۲۲	-۰/۴۰	۰/۶۱	۰/۳۴	۲۳/۴۸
سیاهدانه ۱:۲ نخود	-۰/۹۸	-۰/۹۸	۲/۲۱	۰/۴۵	-۰/۲۱	۱/۱۹	۱/۴۰	۷/۹۶	۱/۳۰
سیاهدانه ۱:۱ نخود + قارچ میکوریزا	-۰/۲۲	-۰/۲۲	۰/۸۵	۱/۱۸	-۰/۲۵	-۰/۴۷	۰/۷۳	۱/۵۷	۱/۶۸
سیاهدانه ۲:۱ نخود + قارچ میکوریزا	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۲۵	۴/۰۱	-۰/۳۹	-۰/۴۱	۰/۷۹	۰/۴۳	۲۳/۴۶
سیاهدانه ۱:۲ نخود + قارچ میکوریزا	-۰/۸۷	-۰/۸۷	۲/۳۹	۰/۴۲	-۰/۲۹	۱/۱۶	۱/۴۵	۱۱/۴۵	۱/۲۴

### شاخص‌های اقتصادی

مقادیر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط، سودمندی مالی، شاخص بهره‌وری سیستم و مجموع ارزش نسبی در جدول ۱۱ ارائه شده است. مثبت بودن مقادیر این شاخص‌ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط نخود با سیاهدانه و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آنها می‌باشد. همه نسبت‌های کشت مخلوط مقادیر IA و MAI مثبت بودند. بیشترین میزان IA کل و MAI در تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده شد. بالاتر بودن مقادیر نسبت برابری زمین (LER) و ضریب ازدحام

نسبی (K) در تیمار مذکور سبب افزایش مقادیر MAI شده است (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱). شاخص دیگری که بهره‌وری و کارایی سیستم کشت مخلوط را نمایان می‌سازد، شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) می‌باشد. بالاتر بودن این شاخص بیانگر افزایش کارایی سیستم مخلوط است. بیشترین میزان SPI و RVT به تیمار یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ میکوریزا تعلق داشت. دلیل آن به LER و LUE بالاتر این تیمار برمی‌گردد. لایتورگایدیس و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند در تیمارهایی که از LER و K بالاتری برخوردار باشند میزان SPI بالاتر و در نتیجه RVT و ثبات عملکرد بیشتری داشتند.

جدول ۱۱- مقادیر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط، سودمندی مالی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم

مجموع ارزش نسبی	شاخص بهره‌وری سیستم	سودمندی مالی	سودمندی کشت مخلوط			ترکیب تیماری
			کل	نخود	سیاهدانه	
۱/۸۷	۸۸۳/۹	۱۶۳/۴	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۱۷	سیاهدانه ۱:۱ نخود
۱/۶۱	۱۰۳۵/۱	۳۴۹/۳	۰/۷۸	۰/۲۸	۰/۵۰	سیاهدانه ۲:۱ نخود
۲/۷۲	۱۱۹۰/۲	۶۸۲/۹	۱/۳۲	۰/۸۳	۰/۴۸	سیاهدانه ۱:۲ نخود
۲/۲۳	۱۱۷۸/۹	۵۱۲/۸	۰/۹۱	۰/۳۳	۰/۵۸	سیاهدانه ۱:۱ نخود + قارچ میکوریزا
۱/۸۱	۱۱۹۳/۹	۴۸۵/۷	۱/۱۹	۰/۲۹	۰/۹۰	سیاهدانه ۲:۱ نخود + قارچ میکوریزا
۲/۹۰	۱۳۵۱/۸	۸۴۶/۱	۱/۴۸	۰/۸۱	۰/۶۷	سیاهدانه ۱:۲ نخود + قارچ میکوریزا

## درصد کلونیزاسیون ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد درصد کلونیزاسیون دو گیاه نخود و سیاهدانه تحت تاثیر معنی‌دار الگوهای کشت قرار گرفت (جدول ۱۲). بیشترین (۷۴/۵۹ درصد) و کمترین (۵۴/۱۲ درصد) کلونیزاسیون سیاهدانه به ترتیب به الگوهای کشت دو ردیف سیاهدانه + یک ردیف نخود (۱:۲) و کشت خالص سیاهدانه مربوط بود. همچنین بیشترین (۶۵/۸۵ درصد) و کمترین (۵۱/۲۳ درصد) کلونیزاسیون نخود نیز به ترتیب در الگوهای کشت مخلوط یک ردیف سیاهدانه + دو ردیف نخود (۲:۱) و کشت خالص نخود بدست آمد (جدول ۱۳). دلیل افزایش درصد کلونیزاسیون دو گیاه نخود و سیاهدانه در کشت مخلوط را می‌توان به بهبود استفاده از منابع محیطی و

بویژه منابع غذایی و همچنین اختصاص بیشتر کربن آلی به قارچ توسط گیاه در حالت کشت توأم نسبت داد که منجر به افزایش جمعیت میکروبی خاک و تاثیر مثبتی بر میزان کلونیزاسیون ریشه خواهد داشت. بطور مشابه، وهبای و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که طول هیف‌های میکوریزایی در الگوهای مختلف کشت مخلوط باقلا (*Vicia faba L.*) و گندم (*Triticum aestivum L.*) بیشتر از کشت‌های خالص دو گیاه بود. همچنین ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند درصد کلونیزاسیون ریشه در الگوهای مختلف کشت مخلوط شوید (*Anethum graveolens L.*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris L.*) بیشتر از کشت خالص بود

جدول ۱۲- تجزیه واریانس درصد کلونیزاسیون ریشه نخود و سیاهدانه

منابع تغییر	درجه آزادی	سیاهدانه	میانگین مربعات
تکرار	۲	۱۰۲/۵۶ <sup>NS</sup>	۳۲/۷۵ <sup>NS</sup>
الگوی کشت	۳	۲۴۶/۶۵ <sup>**</sup>	۱۱۰/۳۶*
اشتباه آزمایشی	۶	۱۴/۶۷۴	۲۰/۵۸۸
ضریب تغییرات (%)		۷/۶۹	۹/۸۱

NS، \* و \*\* به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین درصد کلونیزاسیون ریشه نخود و سیاهدانه در الگوهای مختلف کشت

الگوی کشت	درصد کلونیزاسیون سیاهدانه	درصد کلونیزاسیون نخود
کشت خالص	۵۴/۱۲b	۵۱/۲۳b
سیاهدانه ۱:۱ نخود	۷۱/۳۰a	۵۶/۹۸ab
سیاهدانه ۲:۱ نخود	۶۹/۶۲a	۶۵/۸۵a
سیاهدانه ۱:۲ نخود	۷۴/۵۹a	۵۸/۵۷ab

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

### نتیجه گیری کلی

بطور کلی نتایج نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش معنی دار صفات رشدی و عملکردی دو گیاه نخود و سیاهدانه گردید. بطوری که عملکرد دانه نخود و سیاهدانه بر اثر همزیستی با قارچ *Funneliformis mosseae* به ترتیب ۲۴/۶۲ و ۱۸/۵۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه نخود در کشت خالص نخود بدون تفاوت معنی دار با الگوی کشت ۲:۱ حاصل شد. علاوه بر این، علی رغم

کاهش عملکرد دانه سیاهدانه در کشت مخلوط، بیشترین درصد اسانس آن در الگوهای کشت ۱:۲ و ۲:۱ بدست آمد. همچنین بیشترین عملکرد اسانس سیاهدانه در الگوهای کشت ۱:۲ و کشت خالص آن مشاهده شد. بیشترین درصد کلونیزاسیون نیز در الگوهای کشت مخلوط دو گیاه حاصل شد. در نتیجه با توجه به شاخص های زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی، می توان کشت مخلوط یک ردیف نخود+ دو ردیف سیاهدانه (۱:۲) با کاربرد قارچ را به عنوان یک روش جایگزین در راستای اهداف کشاورزی پایدار توصیه نمود.

### منابع مورد استفاده

- Agegehu G, Ghizam A and Sinebo W, 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25: 202-207.
- Akbari, P, Ghalavand A, Sanavy AM and Alikhani MA. 2011. The effect of biofertilizers, nitrogen fertilizer and farmyard manure on grain yield and seed quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Technology*, 7(1): 173-184.
- Amani Machiani M, Javanmard A and Shekari F, 2017. The effect of intercropping patterns on peppermint (*Mentha piperita* L.) dry biomass yield and essential oil content and faba bean (*Vicia faba* L.) seed yield. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(3):79-97.
- 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.
- Amani Machiani M, Rezaei-Chiyaneh E, Javanmard A, Maggi F and Morshedloo MR, 2019. Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed yield and quali-quantitative production of the essential oils from fennel (*Foeniculum vulgare*) and dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in intercropping system under humic acid application. *Journal of Cleaner Production*, 235: 112.122.
- Balasubramanian V, and Sekayange L, 1990. Area harvests equivalency ratio for measuring efficiency in multiseason intercropping. *Agronomy journal*, 82(3), 519-522.
- 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.

- Barker S and Dennett M D, 2013. Effect of density, cultivar and irrigation on spring sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 51: 108–116.
- Barea JM, Pozo MJ, Azcon R and Azcon-Aguilar C, 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417): 1761-1778.
- Baum C, El-Tohamy W and Gruda N, 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia horticulturae*, 187: 131-141.
- Chapagain T and Riseman A, 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166: 18–25.
- Copetta A, Lingua G and Berta G, 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, 16(7): 485-494.
- Dabbagh Mohammadi Nasab A, Amon T and Kaul HP, 2011. Competition and yield in intercrops maize and sunflower for biogas. *Industrial Crops and Products*, 34: 1203-1211.
- Geren H, Avcioglu R, Soya H and Kir B, 2008. Intercropping of corn with cowpea and bean: biomass yield and silage quality. *African Journal of Biotechnology*, 7 (22): 4100-4104.
- Gheisari Zardak S, Movahhedi Dehnavi M, Salehi A and Gholamhoseini M, 2018. Effects of using arbuscular mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on the physiological traits and essential oil yield of fennel. *Rhizosphere*, 6: 31–38.
- Gholinezhad E and Rezaei Chiyaneh E, 2014. Evaluation of grain yield and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Crop Science*, 16(3): 236-249.
- Giovannetti M, and Mosse B, 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3): 489-500.
- Hamzei J, Seyedi M, Ahmadvand G and Abutalebian MA, 2012. The effect of additive intercropping on weed suppression, yield and yield component of chickpea and barley. *Journal of Crop Production and Processing*, 2:43- 55 (In Persian).
- Hauggard-Nielsen H, Ambus P and Jensen ES, 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea- barley intercropping. *Field Crops Research*, 70: 101-109.
- Hauggaard-Nielsen H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahlmann C, Dibet A, Fragstein P, Pristeri A, Monti M and Jensen ES, 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N<sub>2</sub>-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113: 64–71.
- Karimi K, Babai Ahari A, Weisany W, Pertot I, Vrhovsek U and Arzanlou M, 2016. *Funneliformis mosseae* root colonization affects *Anethum graveolens* essential oil composition and its efficacy against *Colletotrichum nymphaeae*. *Industrial Crops and Products*, 90: 126–134.
- Kapoor R, Chaudhary V and Bhatnagar A, 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*, 17(7): 581-587.
- Kahrizy S and Sepehri A, 2019. Effect of Vermicompost, Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars under Terminal Drought Stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 29(1): 67-83.
- Kassam A and Brammer H, 2013. Combining sustainable agricultural production with economic and environmental benefits. *Geographical Journal*, 179: 11–18.
- Khorrandel S, Koocheki A, Nasiri Mahallati M and Ghorbani R, 2008. Influence of biologic fertilizers on growth indices of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(2):285-294.

- Koocheki A, Shabahang J, Khorramdel S and Amin G, 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. *Journal of Agroecology*, 4 (1): 1-11.
- Koske R, and Gemma J, 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, 92(4): 486-488.
- Jiang QY, Zhuo F, Long SH, Zhao HD, Yang DJ, Ye ZH and Jing YX, 2016. Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils. *Scientific Reports*, 6: 21805.
- Lambers H, Albornoz F, Kotula L, Laliberté E, Ranathunge K, François PT and Zemunik G, 2018. How belowground interactions contribute to the coexistence of mycorrhizal and non-mycorrhizal species in severely phosphorus-impooverished hyper diverse ecosystems. *Plant Soil*, 424:11–33.
- Latef AAHA and Chaoxing H, 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulture*, 127:228–233.
- 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.
- Liu H, Song F, Liu S, Li X, Liu F and Zhu X, 2018 Arbuscular mycorrhiza improves nitrogen use efficiency in soybean grown under partial root-zone drying irrigation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65:269–279.
- Maffi M and Mucciarelli M, 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Research*, 84: 229 – 240.
- Mandal A, Patra AK, Singh D, Swarup A and Masto RE, 2007. Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages. *Bioresource technology*, 98(18): 3585-3592.
- Masoumi Zavarian A, Yousefi Rad M and Asghari M, 2015. Effects of Mycorrhizal Fungi on Quantitative and Qualitative Characteristics of Anise Plant (*Pimpinella anisum*) under Salt Stress. *Journal of Medicinal Plants*, 4(56): 139-148.
- McGonigle T, Miller M, Evans D, Fairchild G, and Swan J, 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 115(3): 495-501.
- 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.
- Mozaffarian V, 2008. A pictorial dictionary of botany botanical taxonomy Latin-English-French-Germany-Persian. Koeltz Scientific Books, Germany.
- Nasiri Mahallati M, Koocheki A, Mondani F, Amirmoradi SH and Feizi H, 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.
- Nazeri NK, Lambers H, Tibbett M and Ryan MR, 2013. Do arbuscular mycorrhizas or heterotrophic soil microbes contribute toward plant acquisition of a pulse of mineral phosphate? *Plant Soil*, 373: 699–710.
- Ormeño 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.
- 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.

- Rasouli-Sadaghiani M, Hassani A, Barin M, Rezaee Danesh Y and Sefidkon F, 2010. Effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on growth, essential oil production and nutrients uptake in basil. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(21): 2222-2228. (In Persian).
- Rezaei-Chiyaneh E and Gholinezhad E, 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 7(3): 381-396 (In Persian).
- Rezaei Chiyaneh E, Jalilian J, Ebrahimian E, Seyedi SM, 2015. Effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of ajowan at different irrigation levels. *Journal of Crops Improvement*, 17(3): 775-788. (In Persian).
- Rezaei Chiyaneh E, Khorramdel S, Movludi A and Rahimi A, 2.17. Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1): 168-184. (In Persian).
- Rostaei M, Fallah S, Lorigooinib Z and Abbasi Surki A, 2018. Crop productivity and chemical compositions of black cumin essential oil in sole crop and intercropped with soybean under contrasting fertilization. *Industrial Crops & Products*, 125: 622-629.
- Shabahang J, Khorramdel S and Gheshm R, 2013. Evaluation of symbiosis with Mycorrhizal on yield, yield components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and ajowan (*Carum copticum* L.) under different nitrogen levels. *Agroecology*, 5(3): 289-298.
- Sharma RC, Sarkar S, Das D and 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 Anal*, 44:1116–1126.
- Singh S and Kapoor Kkm 1999. Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 28(2): 139-144.
- Singh M, Singh A, Singh S, Tripathi RS, Singh AK and Patra DD, 2010. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Industrial Crops and Products*, 31: 289-293.
- 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.
- Tuna C and Orak A, 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.)/oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2: 14-19.
- Urcoviche RC, Gazim ZC, Dragunski D. C., Barcellos, F. G., and Alberton, O. 2015. Plant growth and essential oil content of *Mentha crispera* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products*. 67, 103-107.
- Vandermeer, J.H. 1989. *The Ecology of Intercropping*, Cambridge. University Press. 297 pp.
- 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.
- Wahbi S, Maghraoui T, Hafidi M, Sanguin H, Oufdou K and Prin Y. 2016. Enhanced transfer of biologically fixed N from faba bean to intercropped wheat through mycorrhizal symbiosis. *Applied Soil Ecology*, 107: 91–98.
- Weisany W, Raei Y, Salmasi SZ, Sohrabi Y and Ghassemi-Golezani K. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi induced changes in rhizosphere, essential oil and mineral nutrients uptake in dill/common bean intercropping system. *Annals of Applied Biology*, 169(3), 384-397.



- Weisany W, Sohrabi Y, Siosemardeh A and Ghassemi-Golezani, K. 2016. *Funneliformis mosseae* fungi changed essential oil composition in *Trigonella foenum graecum* L., *Coriandrum sativum* L. and *Nigella sativa* L. Journal of Essential Oil Research, 29: 276-287.
- Willey RW and Rao MR, 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture, 16:117-125.
- Willey RW, 1979. Intercropping its importance and research needs: Part I. Competition and yield advantage. Field Crop Abstracts, 32:1-10.
- Xu BC, Li FM and Shan L, 2008. Switch grass and milk vetch intercropping under 2:1 row replacement in semiarid region, northwest China: Aboveground biomass and water use efficiency. European Journal of Agronomy, 228: 485-492.
- Yang F, Huang S, Gao R, Liu W, Yong T, Wang X, Wu X and Yang W, 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. Field Crops Research, 155: 245-253.
- 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.
- Zarifpour N, Naseri Poor Yazdi MT and Nassiri Mahallati M, 2014. Effect of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) on quantity and quality characteristic of species. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(1): 34-43 (In Farsi).
- Zhang G, Yang Z and Dong S, 2011. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. Field Crops Research, 124: 66-73.