

ارزیابی عملکرد اسانس و شاخص‌های اکولوژیکی در کشت مخلوط آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) و سویا (*Glycine max* L.) با کاربرد قارچ میکوریز

مصطفی امانی ماچیان^۱، عبدالله جوانمرد^{۲*}، علی استادی^۱، محمدرضا مرشدلو^۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۹

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

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

۳- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

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

چکیده

مقدمه و هدف: با توجه به لزوم استفاده از سیستم‌های کشاورزی پایدار و وارد کردن گونه‌های جدید به منظور افزایش تنوع گونه‌ای، پژوهشی با هدف بررسی اثر کشت مخلوط آویشن (*Thymus vulgaris* L.) با سویا (*Glycine max* L.) با کاربرد کود زیستی بر محتوی و عملکرد اسانس آویشن و شاخص‌های اکولوژیکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و ۳ تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی الگوهای مختلف کشت شامل کشت خالص آویشن، کشت خالص سویا، کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن (۱:۱) و دو ردیف سویا+ یک ردیف آویشن (۲:۱) بود. فاکتور دوم و سوم به ترتیب تلقیح و عدم تلقیح با میکوریز و برداشت (دو چین) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، بیشترین عملکرد ماده خشک آویشن (۶۳۴/۵ گرم در متر مربع) در کشت خالص و چین اول بدست آمد. همچنین، بیشترین عملکرد اسانس آویشن (۹/۴۵ گرم در متر مربع) در چین اول و الگوی کشت مخلوط ۱:۱ بدست آمد. علاوه بر این، با تلقیح قارچ میکوریزا درصد و عملکرد اسانس آویشن بترتیب ۳۰/۸۶ و ۱۱/۹۵ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. بیشترین شاخص‌های اکولوژیکی (نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان، نسبت معادل سطح برداشت و کارایی استفاده از زمین) و شاخص‌های اقتصادی (سودمندی کشت، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم) در الگوی کشت ۱:۱ با کاربرد کود زیستی بدست آمد که بیانگر سودمند بودن این الگوی کشت از لحاظ اقتصادی نسبت به کشت خالص دو گیاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن همراه با کود زیستی می‌تواند در افزایش درآمد اقتصادی و کارایی استفاده از زمین به کشاورزان معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، شاخص بهره‌وری سیستم، عملکرد دانه، کشاورزی پایدار، کود زیستی

Evaluation of Essential Oil Yield and Ecological Indices in the Intercropping of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus

Mostafa Amani Machiani¹, Abdollah Javanmard^{2*}, Ali Ostadi¹, Mohammad Reza Morshedloo³

Received: 26 August 2020 Accepted: 18 January 2021

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

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

3- Assist. Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

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

Abstract

Background and Objectives: In order to using sustainable agricultural methods and entering new species for increasing biodiversity, a field experiment performed to evaluate the effect of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and soybean (*Glycine max* L.) with application of biofertilizer on the essential oil productivity, essential oil yield and ecological indices.

Material and Methods: A field experiment was carried out as split split plot based on the randomized complete blocks design (RCBD) with 12 treatments and three replication at the faculty of Agriculture, University of Maragheh during 2019 growing season. The main factor was different planting patterns including thyme sole culture, soybean sole culture, intercropping of one row soybean+ one row thyme (1:1) and intercropping of two rows of soybean+ one row thyme (2:1). The sub plot and sub- sub plot factor were inoculation and non-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungus and harvest time (first harvest and second harvest), respectively.

Results :The results demonstrated that the highest dry yield of thyme (634.5 g.m⁻²) was achieved in the sole culture of plants with application of AMF. Also, the highest essential oil yield of thyme (9.45 g.m⁻²) was observed in the first harvest and intercropping ratio of 1:1. In addition, the essential oil yield and essential oil yield of thyme with AMF inoculation increased by 30.86 and 11.95% compared with control. Moreover, the highest ecological indices (LER, AHER, ATER and LUE) and monetary indices (IA, MAI and SPI) were achieved in the intercropping ratio of 1:1 with AMF application.

Conclusion: The intercropping ratio of 1 row soybean+ 1 row thyme along with biofertilizer could be suggested to farmers for enhancing economic income and land use efficiency.

Keywords: Bio-Fertilizer, Cropping Pattern, Sustainable Agriculture, System Productivity Index, Seed Yield

مقدمه

کشت خالص هر چند دارای عملکرد بالایی است و در تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد نقش مهمی ایفاء می‌کند، ولی به هزینه و انرژی بالایی نیاز داشته و از نظر بوم‌شناختی باعث بروز مشکلاتی از جمله آلودگی آب‌های زیرزمینی، افزایش آفات، 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 است (نصیری محلاتی و همکاران ۲۰۱۵). کشت مخلوط به عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های کشاورزی پایدار، به دلیل افزایش تنوع و سود حاصل از آن‌ها در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (امانی‌ماچپانی و همکاران ۲۰۱۹). کشت مخلوط، کشت دو یا چند گیاه زراعی به صورت توأم بوده که امکان برقراری روابط متقابل بین گیاهان مختلف را فراهم ساخته و موجب افزایش عملکرد در واحد سطح، بهبود راندمان استفاده از منابع محیطی (بارگاز و همکاران ۲۰۱۵) و کاهش خسارت آفات می‌شود (کائو و همکاران ۲۰۱۵).

لگوم‌ها به دلیل داشتن پروتئین بالا، فیبر و کربوهیدرات به عنوان دومین منبع مهم جهت تامین منابع غذایی انسان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. سویا با نام علمی *Glycine max L.*، گیاهی یک ساله متعلق به تیره لگومینوز می‌باشد. سویا یکی از مهمترین گیاهان روغنی و پروتئینی به شمار می‌رود و بذر سویا بر مبنای وزن خشک به طور متوسط دارای ۴۰-۳۵ درصد پروتئین و ۲۰-۱۸ درصد روغن و حدوداً ۳۵ درصد کربوهیدرات می‌باشد و به عنوان یک رژیم غذایی اصلی در تغذیه انسان و دام‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (پراتاب و همکاران ۲۰۱۲). کشت این گیاه به دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، موجب تقویت خاک‌های زراعی شده و از نظر اکولوژیکی نقش مهمی در پایداری اکوسیستم‌های زراعی ایفاء می‌نماید. بطور میانگین، میزان نیتروژن تثبیت یافته

توسط سویا در طول فصل رشدی و در شرایط محیطی مختلف ۱۱۵-۶۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (هریج و همکاران ۱۹۹۰).

آویشن (*Thymus vulgaris L.*) گیاهی است از تیره نعناعیان با ساختار بوته‌ای و ساقه مستقیم و علفی یا چوبی و پرشاخه به ارتفاع ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در بعضی موارد تا ۴۵ سانتی‌متر است. ساقه‌های منشعب این گیاه پوشیده از کرک‌های سفید رنگ می‌باشد. پیکر رویشی آویشن باغی حاوی مواد مؤثره اسانس با میزان ۱-۳ درصد می‌باشد. اسانس آویشن از جمله ده اسانس معروف است که دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی، آنتی‌اکسیدان، نگهدارنده طبیعی غذا و تاخیردهنده پیری می‌باشد و جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد. مهمترین اجزاء تشکیل دهنده اسانس را تیمول، گاما ترپینن، پی سایمن و کارواکرول تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، پیکر رویشی گیاه حاوی تانن، فلاونوئید، ساپونین و مواد تلخ نیز می‌باشد (عسکری و همکاران ۲۰۱۸).

نتایج آزمایشات قبلی بیانگر این است که کشت مخلوط گیاهان دارویی به همراه لگوم منجر به افزایش اجزای عملکرد، کمیت و کیفیت گیاهان دارویی می‌شود. امانی‌ماچپانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند درصد و کیفیت اسانس حاصل از نعناع‌فللی (*Mentha piperita L.*) در کلیه الگوهای کشت مخلوط با سویا (*Glycine max L.*) نسبت به کشت خالص افزایش یافت. نتایج پژوهش مافی و موسیاری (۲۰۰۳) نشان داد که عملکرد نعناع‌فللی در کشت مخلوط با سویا ۵۰ درصد افزایش یافت و با افزایش درصد منتول و کاهش درصد منتوفوران و منتیل استات (اجزای تشکیل دهنده اسانس نعناع‌فللی)، افزایش کیفیت اسانس حاصل گردید. علاوه بر این، تعداد برگ به ازای هر گره، مساحت برگ‌ها، شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، کاروتنوئید، وزن خشک ساقه و برگ در الگوهای کشت مخلوط بهبود پیدا کردند. همچنین ورما و همکاران (۲۰۱۳) نتیجه گرفتند که

فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش منجر شده است (استادی و همکاران ۲۰۲۰، ویسانی و همکاران ۲۰۱۶). امیری و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، درصد اسانس و کیفیت اسانس گیاه شمع‌دانی معطر در شرایط تنش خشکی با کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت. استادی و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتیجه گرفتند درصد و کیفیت اسانس نعناع‌فللی با کاربرد قارچ میکوریزا بهبود پیدا کردند. این ویژگی‌های گیاهان کلونیزه شده با قارچ میکوریزا به آن‌ها اجازه می‌دهد تا نسبت به گیاهانی که با قارچ میکوریزا کلونیزه نشده‌اند، اهمیت ویژه‌ای برای محیط‌های چالش برانگیز داشته باشند. بنابراین با توجه به رویکرد روزافزون به استفاده از گیاهان دارویی و نقش این گیاهان در چرخه اقتصادی و از طرف دیگر لزوم استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و ارتقای عملکرد کمی و کیفی گیاهان، پژوهشی با هدف ارزیابی برخی صفات کمی و کیفی و شاخص‌های اکولوژیکی، رقابتی و اقتصادی در کشت مخلوط آویشن- سویا با کاربرد قارچ میکوریزا اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه 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 سه نمونه خاک بصورت تصادفی از قسمت‌های مختلف محل اجرای آزمایش برداشته (عمق صفر الی ۳۰ سانتی متری) و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین مشخصات آب و هوایی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشدی در جدول ۲ بیان شده است.

عملکرد و اسانس نعناع‌فللی بصورت قابل توجهی تحت تاثیر کشت مخلوط با شمع‌دانی (*Pelargonium graveolens* L.) قرار گرفت، به گونه‌ای که بیشترین عملکرد و کارایی استفاده از منابع محیطی در کشت مخلوط بدست آمد. درصد اجزای تشکیل دهنده اسانس نعناع‌فللی و شمع‌دانی و بازارپسندی آن‌ها نیز با انجام کشت مخلوط بهبود پیدا کردند.

با توجه به محدودیت سطح زیرکشت، مصرف کودهای شیمیایی در طی انقلاب سبز و بعد از آن به‌عنوان تنها راهکار افزایش تولید در واحد سطح در نظر گرفته شده است. کاربرد کودهای شیمیایی در دهه ۲۰۱۰ نسبت به ۱۹۷۰ دو برابر شده و از ۸۱ هزار تن در سال ۱۹۷۰ به ۱۶۱ هزار تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است (لیو و لال ۲۰۱۵). با توجه به کارایی پایین کودهای شیمیایی (۵۰-۳۰ درصد) و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بالای آن‌ها، ضروری است استفاده از کودهای زیستی توسعه پیدا کنند. کودهای زیستی حاوی قارچ‌ها و باکتری‌های مفید حل‌کننده عناصر غذایی هستند که معمولاً با اسیدی کردن خاک و یا ترشح آنزیم‌ها موجب آزادسازی عناصر از ترکیبات پیچیده معدنی و آلی خواهند شد. قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار^۱، یکی از عوامل بیولوژیک خاک‌های زراعی می‌باشند که به دلیل افزایش سطح مؤثر ریشه و به دنبال آن سطح جذب و توانایی افزایش جذب فسفر از منابع غیرمتحرک به‌واسطه فعالیت آنزیم فسفاتاز و ترکیبات آلی حل‌کننده فسفات نامحلول، موجب استفاده تجاری از این قارچ‌ها به‌عنوان کودهای زیستی شده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۶). میکوریز مقاومت گیاه 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 که قارچ میکوریز بویژه در گیاهان دارویی به افزایش فتوسنتز، جذب رطوبت بیشتر از خاک، افزایش کلروفیل و کارتنوئید و

^۱ - Arbuscular Mycorrhizal Fungi

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر الی ۳۰ سانتی متر)

ماده آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	اسیدیته	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل (%)	بافت خاک
۰/۸۸	۰/۹۱	۷/۵۳	۴۷۲	۱۲/۷	۰/۰۸۹	لومی رسی شنی

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشد

ماه	متوسط دمای ماهیانه (درجه سانتی گراد)	بارندگی ماهیانه (mm)	مجموع ماهیانه ساعات آفتابی	طول دوره روشنایی (hr)
فروردین	۱۰/۴	۵۱/۳	۲۰۸/۹	۱۲/۵۹
اردیبهشت	۱۸/۵	۳۷/۸	۳۰۸	۱۳/۷۵
خرداد	۲۵/۷	۴/۲	۳۷۷/۳	۱۴/۴۹
تیر	۲۷/۶	۰	۳۶۵/۶	۱۴/۴۸
مرداد	۲۷/۸	۰	۳۵۸/۳	۱۳/۷۲
شهریور	۲۲/۱	۰	۳۰۹/۵	۱۲/۵۶
مهر	۱۶/۷	۶/۳	۲۴۰/۵	۱۱/۳۰

از کاشت و ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (۳۰ کیلوگرم در هنگام کاشت بصورت کود استارتر و مابقی آن در دو مرحله رشد رویشی و پس از برداشت چین اول آویشن) به خاک اضافه گردید. نشاهای آویشن و بذور سویا در ۱۵ اردیبهشت ماه به ترتیب با تراکم‌های ۱۲/۵ و ۴۵ بوته در متر مربع در عمق پنج سانتیمتری خاک کاشته شدند. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. مبارزه با علف‌های هرز به صورت منظم و بطور دستی و آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای بصورت هر ۱۰ روز یک بار و بر اساس نیاز آبی گیاه سویا انجام شد.

برداشت بصورت تصادفی از سطحی معادل ۳/۲ مترمربع (از ردیف‌های وسط و با حذف اثرات حاشیه‌ای) انجام شد. برداشت آویشن در دو چین (اواخر تیر و شهریورماه) صورت گرفت. در هر دو چین، آویشن در مرحله گلدهی برداشت گردید. بعد از تعیین وزن تر بوته‌های برداشت شده، آن‌ها را در محیط سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری و سپس وزن خشک اندازه‌گیری شد علاوه بر این، بذور سویا در مرحله رسیدگی کامل در اواخر شهریور ماه برداشت گردید. (جدول ۳).

آزمایش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل الگوهای مختلف کشت در چهار سطح، کشت خالص آویشن، کشت خالص سویا، کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن (۱:۱) و کشت مخلوط دو ردیف سویا+ یک ردیف آویشن (۲:۱) بود. فاکتور فرعی و فرعی فرعی به ترتیب تلقیح و عدم تلقیح قارچ میکوریزا و برداشت در دو چین بودند. در الگوهای کشت خالص، ۱:۱ و ۲:۱ به ترتیب چهار، شش و نه خط کشت به طول چهار متر با فواصل ردیفی ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود زیستی مورد استفاده قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بود که از شرکت زیست‌فناور پیشتان واریان تهیه گردید. قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ (۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت و زیر نشاها به مقدار ۵۰ گرم در هر خط کاشت استفاده گردید. به منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، در اوایل پاییز ۱۳۹۷ 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 شد. بر اساس نتایج آنالیز خاک، ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل قبل

جدول ۳- مراحل رشدی سویا و آویشن در طول دوره آزمایشی

سویا	آویشن	
۱۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	کشت
۱۵ خرداد	۱۵ خرداد	رشد رویشی
مرداد ماه	تیر ماه	گلدهی
اوایل شهریور ماه	-	دانه بندی
اواخر شهریور ماه	-	رسیدگی
اواخر شهریور ماه	دو مرحله ای: اواخر تیر و شهریور	برداشت

شیشه‌ای در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری گردید. بعد از اسانس‌گیری، عملکرد اسانس طبق رابطه زیر محاسبه گردید (امانی ماچسانی و همکاران ۲۰۱۹).

$$\text{وزن خشک} \times \text{درصد وزنی اسانس} = \text{عملکرد اسانس}$$

برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر (مدل فارماکوپه بریتانیا) استفاده شد. اسانس‌گیری به مدت سه ساعت از اندام‌های هوایی انجام شد. سپس اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آبگیری و داخل ویال (رابطه ۱)

(SPI)^۷، سودمندی کشت مخلوط (IA)^۸ و شاخص برتری مالی کشت مخلوط (MAI)^۹ 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).

$$\text{LER} = (Y_{ti}/Y_{tm}) + (Y_{si}/Y_{sm}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

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 پیشنهاد شده است. نسبت معادل کشت و زمان در حقیقت بیانگر کارایی تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی بر حسب واحد زمان و سطح زیر کشت می‌باشد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (ویلی ۱۹۷۹):

به‌منظور ارزیابی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، از شاخص‌های نسبت برابری زمین (LER)، نسبت برابری زمین استاندارد (LERS)^۲، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER)، نسبت معادل سطح برداشت (AHER)^۳، کارایی استفاده از زمین (LUE)، نسبت رقابت (CR)^۴، ضریب تراکم نسبی (K)^۵، غالبیت (A)^۶، کاهش واقعی عملکرد (AYL)، شاخص بهره‌وری سیستم

در این رابطه Y_{si} و Y_{ti} بترتیب عملکرد آویشن و سویا در کشت مخلوط و Y_{sm} و Y_{tm} بترتیب عملکرد آویشن و سویا در کشت خالص می‌باشد. 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

⁷ - System Productivity Index

⁸ - Intercropping advantage

⁹ - Monetary advantage intercropping

² - Land Equivalent Ratio Standard

³ - Area Harvest Equivalent Ratio

⁴ - Competition Ratio

⁵ - Relative Crowding Coefficient

⁶ - Aggressivity

$$ATER = (Y_{ti}/Y_{tm} \times t_t) + (Y_{si}/Y_{sm} \times t_s) / t \quad (\text{رابطه ۳})$$

علاوه بر این، نسبت معادل سطح برداشت شاخصی است برای نشان دادن کارایی یا بازده مصرف منابع محیطی که به صورت زیر محاسبه شد (ویلی ۱۹۸۰).

در این رابطه t_t طول دوره رشد آویشن، t_s طول دوره رشد سویا و t طول دوره رشد در کشت مخلوط می‌باشد.

$$AHER = (Y_{ti}/Y_{tm} \times n_i) + (Y_{si}/Y_{sm} \times n_i) \quad (\text{رابطه ۴})$$

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).

n_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، توسط دو شاخص LER و ATER از طریق رابطه زیر محاسبه شد. به دلیل این که

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

شدت رقابت بین دو گونه در تیمارهای مختلف می‌توان نسبت به سودمندی کشت مخلوط قضاوت کرد (یلماز و همکاران ۲۰۱۵).

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

$$CR_t = (LER_t / LER_s) \times (Z_{si} / Z_{ti}) \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$CR_s = (LER_s / LER_t) \times (Z_{ti} / Z_{si})$$

ضریب تراکم نسبی (K)، میزان رقابت بین گیاهانی را نشان می‌دهد که با استفاده از روش جایگزینی به صورت مخلوط کشت شده‌اند.

در این رابطه Z_{ti} و Z_{si} به ترتیب نسبت سویا و آویشن کاشته شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد.

$$K = k_t \times K_s$$

$$K_t = (Y_{ti} \times Z_{si}) / [(Y_{tm} - Y_{ti}) Z_{ti}] \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$K_s = (Y_{si} \times Z_{ti}) / [(Y_{sm} - Y_{si}) Z_{si}]$$

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

در این رابطه Z_{ti} و Z_{si} به ترتیب نسبت سویا و آویشن کاشته شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد. همچنین Y_{sm} ، Y_{si} ، Y_{tm} ، Y_{ti} به ترتیب عملکرد تولیدی آویشن در کشت مخلوط و خالص و عملکرد تولیدی سویا

$$\begin{aligned} A_t &= (Y_{ti}/Y_{tm} \times Z_{ti}) - (Y_{si}/Y_{sm} \times Z_{si}) \\ A_s &= (Y_{si}/Y_{sm} \times Z_{si}) - (Y_{ti}/Y_{tm} \times Z_{ti}) \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۸})$$

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

$$SPI = (Y_{sm}/Y_{tm})Y_{ti} + Y_{si} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این رابطه A_t و A_s به ترتیب ضریب غالبیت برای آویشن و سویا در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد.

جهت تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط (IA) و سودمندی مالی (MAI) استفاده شد (لایتورگایدیس و همکاران ۲۰۱۱).

$$\begin{aligned} IA &= IA_t + IA_s \\ IA_t &= AYL_t \times P_t \\ IA_s &= AYL_s \times P_s \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$MAI = (Y_{ti} \times P_t + Y_{si} \times P_s) \times (LER - 1 / LER) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

ماده خشک در کلیه الگوهای مختلف کشت مخلوط ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) کمتر از کشت خالص بود. همچنین صلاحی و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده کردند بیشترین عملکرد دانه کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در کشت خالص دو گیاه بیشتر از الگوهای کشت مخلوط بود. امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند عملکرد ماده خشک نعنای فلفلی در کلیه الگوهای کشت مخلوط آن با سویا نسبت به کشت خالص کمتر بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که عملکرد ماده خشک آویشن در چین اول ۱۸/۳ درصد نسبت به چین دوم بیشتر بود. بیشتر بودن ماده خشک در چین اول نسبت به چین دوم به طول دوره رشد در چین اول و شرایط بهینه برای گیاه در چین اول (از قبیل بیشتر بودن طول روز و تابش آفتاب، دمای محیط و ...) نسبت به چین دوم مربوط می‌شود. بطور مشابه امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۷) با مقایسه دو چین نعنای فلفلی بیان کردند که چین اول نسبت به چین دوم ۲۲/۹۴ درصد عملکرد بیشتری تولید نمود.

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

نتایج و بحث

عملکرد ماده خشک آویشن

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد عملکرد ماده خشک آویشن تحت تاثیر الگوی کشت، تاریخ برداشت (چین) و ترکیب تیماری دو فاکتور قرار گرفت. بیشترین عملکرد ماده خشک (۶۳۴/۵ گرم در متر مربع) در چین اول و الگوی کشت خالص حاصل شد. در حالی که کمترین عملکرد ماده خشک در چین دوم و الگوی کشت دو ردیف سویا + یک ردیف آویشن (۲:۱) حاصل شد (جدول ۵). کاهش عملکرد ماده خشک آویشن در الگوهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به منفی بودن غالبیت و همچنین کمتر بودن نسبت رقابت این گیاه در برابر سویا مربوط می‌شود. به طور مشابه، رضائی چیانه و همکاران (۲۰۲۰) نتیجه گرفتند که عملکرد

جدول ۴- تجزیه واریانس عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس آویشن به صورت اسپلیت پلات در زمان

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد اسانس	درصد اسانس	عملکرد ماده خشک		
۴/۵۳**	۰/۰۶۵**	۵۸۵۱/۶ ^{ns}	۲	تکرار
۳۰/۹۰**	۱/۲۱**	۲۱۳۱۹۲/۱**	۲	الگوی کشت
۰/۰۳	۰/۰۲	۳۵۲۵/۱	۴	خطای یک
۴/۲۰*	۰/۱۲۶**	۱۹۸۹/۱ ^{ns}	۱	قارچ میکوریزا
۰/۸۹ ^{ns}	۰/۰۲۶*	۱۰۳۰/۵ ^{ns}	۲	الگوی کشت × قارچ میکوریزا
۰/۱۸	۰/۰۰۳	۵۹۸/۷	۶	خطای دو
۱۲۴/۵**	۳/۹۱۴**	۴۴۸۷۱/۳**	۱	چین
۹/۷۲**	۰/۰۰۷ ^{ns}	۲۰۷۶۶/۴**	۲	الگوی کشت × چین
۰/۳۰۴ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۳۲۴۷/۳ ^{ns}	۱	قارچ میکوریزا × چین
۰/۶۳۷ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۱۷۶۶/۱ ^{ns}	۲	الگوی کشت × قارچ میکوریزا × چین
۰/۵۷۹	۰/۰۰۲	۲۵۲۶/۱	۱۲	خطای سه
۱۲/۵۵	۶/۷۸	۱۱/۹		ضریب تغییرات (درصد)

***، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس آویشن در ترکیب تیماری الگوی کشت و زمان برداشت

عملکرد اسانس (g.m ⁻²)	عملکرد ماده خشک (g.m ⁻²)	تیمار
۹/۲۷ a	۶۳۴/۵ a	کشت خالص × چین ۱
۹/۴۵ a	۴۴۰/۲ b	کشت مخلوط ۱:۱ × چین ۱
۵/۰۵ b	۳۱۷/۵ c	کشت مخلوط ۲:۱ × چین ۱
۴/۳۴ bc	۴۹۹/۵ b	کشت خالص × چین ۲
۴/۸۸ b	۳۴۰/۱ c	کشت مخلوط ۱:۱ × چین ۲
۳/۴۰ c	۲۹۴/۲ c	کشت مخلوط ۲:۱ × چین ۲

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

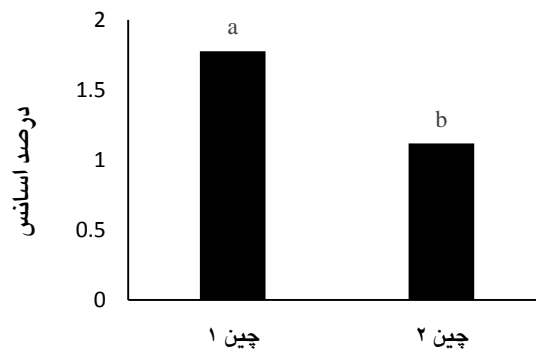
درصد اسانس

تجمع اسانس در گیاهان دارویی در شرایط محیطی گرم تمایل به افزایش نشان داده که گیاه را در مقابل آسیب‌های نوری و کمبود احتمالی آب محافظت می‌کند (تورتولا و همکاران ۲۰۰۳). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امانی‌ماچپانی و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند میزان اسانس نعناع‌فللی در چین اول ۲۰/۳۷ درصد بیشتر از چین دوم بود. هاسیوتیس و همکاران (۲۰۱۴) مشاهده نمودند میزان اسانس و ترکیبات تشکیل دهنده آن تحت تأثیر پارامترهای آب و هوایی از قبیل دما و بارندگی قرار می‌گیرند، به طوریکه بارندگی و کاهش دما در طی دوره

تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که درصد اسانس آویشن تحت تاثیر الگوی کشت، زمان برداشت، قارچ میکوریزا و ترکیب تیماری الگوی کشت با قارچ میکوریزا قرار گرفت. درصد اسانس در چین اول ۵۹ درصد بیشتر از چین دوم بود (شکل ۱). کمتر بودن اسانس در چین دوم نسبت به چین اول به کاهش دما در چین دوم نسبت داده می‌شود که تاثیر منفی بر غدد تشکیل دهنده اسانس و میزان اسانس تولید شده خواهد داشت (امانی‌ماچپانی و همکاران ۲۰۱۷). زیرا تشکیل و

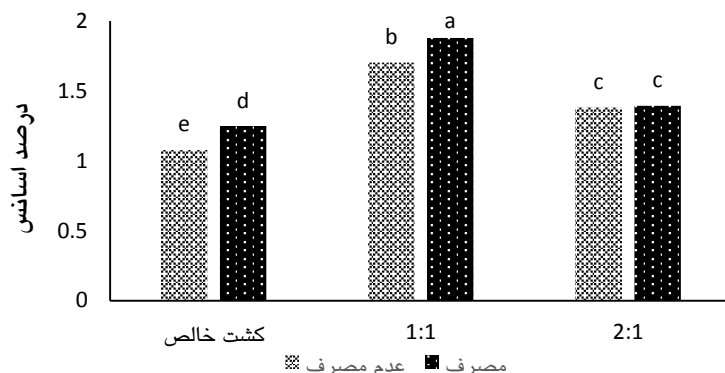
(۲۰۱۷) گزارش کردند که بیشترین درصد اسانس نعناع فلفلی در الگوهای مختلف کشت مخلوط با باقلا در الگوی کشت مخلوط ۲ ردیف نعناع + ۳ ردیف باقلا مشاهده شد. همچنین کمترین میزان اسانس نعناع فلفلی نیز در کشت خالص این گیاه بدست آمد. رضائی‌چپانه و قلی‌نژاد (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که بیشترین (۱/۴۷ درصد) و کمترین (۰/۹۷ درصد) درصد اسانس سیاهدانه در کشت مخلوط با نخود به ترتیب در الگوی ۵۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد سیاهدانه و کشت خالص سیاهدانه بدست آمد. با تلقیح قارچ میکوریزا درصد اسانس آویشن ۳۰/۸۶ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. افزایش اسانس آویشن با کاربرد قارچ میکوریزا به بهبود صفات رشدی گیاه، افزایش فعالیت فتوسنتزی و اندازه غدد تشکیل‌دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می‌شود (رحمان و حنیف ۲۰۱۶). 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 شده 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 کاربرد قارچ) شد.

رشد گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) منجر به کاهش میزان تولید اسانس شد که دلیل آن را به تخریب غدد ترشح کننده اسانس نسبت دادند. علاوه بر این نتایج نشان داد بیشترین درصد اسانس آویشن در الگوی کشت یک ردیف آویشن + یک ردیف سویا (۱:۱) با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد. میزان تولید اسانس در کشت مخلوط ۱:۱ و ۲:۱ نسبت به کشت خالص آویشن به ترتیب ۵۲/۶ و ۱۸/۹ درصد افزایش نشان داد. همچنین کمترین درصد اسانس به کشت خالص آویشن و عدم کاربرد قارچ مربوط بود (شکل ۲). از آنجایی که تریپنوئیدها اجزاء اصلی اسانس را تشکیل می‌دهند بیوسنتز واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) به استیل کوآنزیم آ، ATP، NADPH و غلظت فسفر معدنی در گیاه بستگی دارد، نیتروژن هم به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت انتقال الکترون و فتوسنتز برگ، ATP و سوسترای مورد نیاز را برای سنتز ایزوپرنوئیدها تأمین می‌کند (ارمنو و فرناندز ۲۰۱۲)، به نظر می‌رسد کشت مخلوط این گیاه دارویی با سویا از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن موجب افزایش درصد اسانس آویشن 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. امانی‌ماچپانی و همکاران



شکل ۱- مقایسه میانگین درصد اسانس آویشن در چین اول و دوم

ستون‌های دارای حرف متفاوت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن دارند.



شکل ۲- درصد اسانس آویشن در الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا

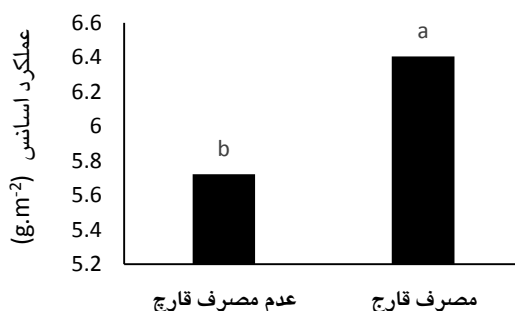
ستون‌های دارای حرف متفاوت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن دارند.

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که عملکرد اسانس آویشن تحت تاثیر الگوی کشت، زمان برداشت، قارچ میکوریزا و ترکیب تیماری الگوی کشت در چین قرار گرفت. بیشترین عملکرد اسانس آویشن در چین اول و الگوی کشت یک ردیف آویشن+ یک ردیف سویا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کشت خالص آویشن نداشت. همچنین کمترین عملکرد اسانس آویشن در الگوی کشت دو ردیف سویا+ یک ردیف آویشن و در چین دوم بدست آمد (جدول ۵). با تلقیح قارچ میکوریزا عملکرد اسانس آویشن ۱۱/۹۵ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت

(شکل ۳). عملکرد اسانس آویشن رابطه مستقیمی با

عملکرد ماده خشک و درصد اسانس تولیدی دارد. لذا، افزایش عملکرد آن در کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن در چین اول و همچنین کاربرد قارچ میکوریزا به افزایش عملکرد ماده خشک و درصد اسانس بیشتر در این تیمارها نسبت داده می‌شود (امانی‌ماچپانی و همکاران ۲۰۱۹). ویسانی و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند عملکرد اسانس شوید (*Anethum graveolens* L.) در کشت مخلوط با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) با کاربرد قارچ میکوریزا بدلیل افزایش عملکرد ماده خشک و درصد اسانس بیشتر شد.



شکل ۳- عملکرد اسانس آویشن با کاربرد قارچ میکوریزا

ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارند.

ارتفاع بوته سویا

ارتفاع بوته سویا تحت تاثیر جداگانه الگوی کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۶). در بین

الگوهای مختلف کشت بیشترین (۷۵/۲۷ سانتی متر) و کمترین (۶۴/۸۹ سانتی متر) ارتفاع بوته سویا به کشت مخلوط ۲ ردیف سویا+ یک ردیف آویشن (۲:۱) و کشت

قابل انتظار است (یانگ و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر این، با تلقیح قارچ میکوریزا ارتفاع بوته سویا ۴/۳ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت. احتمالاً دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربرد قارچ میکوریزا به جذب بهتر نیتروژن، روی، فسفر، آمونیوم، مس و پتاسیم نسبت داده می‌شود که در نهایت منجر به بهبود صفات رشدی ارتفاع بوته و تعداد شاخ و برگ می‌گردد (باثوم 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.

خالص سویا مربوط بود (جدول ۷). با توجه به نتایج شاخص‌های رقابتی از قبیل غالبیت و نسبت رقابت، سویا در مقایسه با آویشن از غالبیت بیشتری برخوردار می‌باشد. لذا، افزایش ارتفاع بوته سویا به رقابت برون گونه‌ای آن با گونه مکمل (آویشن) در مراحل رشد رویشی و غالبیت بیشتر آن نسبت داده می‌شود (جدول ۹). تونا و اوراک (۲۰۰۷) 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 افزایش می‌یابد و دلیل آن به سایه‌اندازی و رقابت نوری بین بوته‌ها نسبت دادند. زیرا در شرایط سایه با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) و کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR) افزایش ارتفاع گیاهان

جدول ۶- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سویا به صورت فاکتوریل

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	دانه در غلاف	عملکرد	عملکرد دانه	شاخص برداشت
تکرار	۲	۱۳/۶۴*	۰/۰۶۰*	۶۲۲۸۴۶/۳*	۲۴۹۲۸/۷ ^{ns}	۷۹/۶۹۹*
الگوی کشت	۲	۱۶۳/۳**	۰/۰۴۷*	۷۷۶۹۲۶۲/۵**	۸۵۲۲۳۵/۲**	۱/۷۹ ^{ns}
قارچ میکوریزا	۱	۳۹/۶۱**	۰/۰۷۳*	۱۶۹۳۶۲/۱ ^{ns}	۲۷۱۸۳۰/۲**	۷۶/۶۳*
الگوی کشت * قارچ میکوریزا	۲	۰/۰۹۵ ^{ns}	۰/۰۲۳ ^{ns}	۱۸۱۲۵/۷ ^{ns}	۱۴۱۱۰۳/۷*	۷/۵۰ ^{ns}
اشتباه آزمایشی	۱۰	۱/۱۳۶	۰/۰۸	۸۴۲۹۴/۰۳	۱۰۶۲۹/۷	۱۰/۸۸۴
ضریب تغییرات (%)		۸/۲۳	۹/۶۸	۱۲/۲۳	۹/۶۹	۹/۹۳

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

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات مربوط به سویا در الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	دانه در غلاف	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)
الگوی کشت				
کشت خالص	۶۴/۸۹ c	۱/۷۲ a	۵۳۲۹/۷ a	۳۲/۹۱ a
آویشن ۱:۱ سویا	۷۰/۹۵ b	۱/۵۵ b	۳۲۰۷/۲ b	۳۲/۸۸ a
آویشن ۲:۱ سویا	۷۵/۲۷ a	۱/۶۷ ab	۳۵۵۷/۲ b	۳۳/۸۴ a
قارچ میکوریزا				
عدم تلقیح	۶۸/۸۹ b	۱/۵۸ b	۳۹۳۴/۳ a	۳۱/۱۵ b
تلقیح	۷۱/۸۵ a	۱/۷۱ a	۴۱۲۸/۳ a	۳۵/۲۷ a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

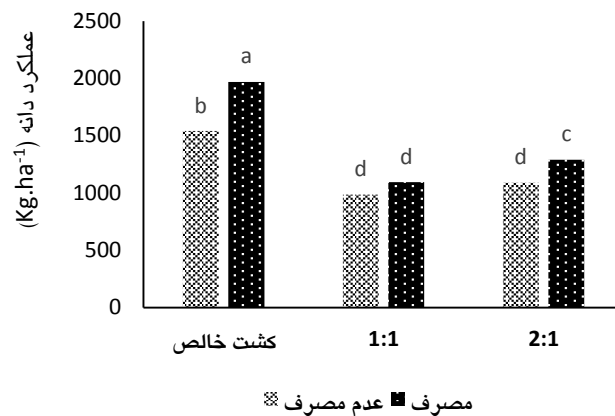
دانه در غلاف

تجزیه واریانس نشان داد تعداد دانه در غلاف سویا تحت تاثیر جداگانه الگوی کشت و کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۶). در بین الگوهای کشت بیشترین (۱/۷۲) تعداد دانه در غلاف در کشت خالص سویا بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی کشت مخلوط دو ردیف سویا+ یک ردیف آویشن نداشت. همچنین کمترین تعداد دانه در غلاف (۱/۵۵) به الگوی کشت یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن متعلق بود (جدول ۷). دلیل کاهش تعداد دانه در غلاف سویا در تیمار ۱:۱ را می‌توان به کمتر بودن ضریب نسبی تراکم سویا در این الگو در مقایسه با سایر الگوهای کشت نسبت داد (جدول ۹). در حالی که هاوگارد نیلسن و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده کردند که در کشت خالص به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای، کاهش اجزاء عملکرد گیاهان حاصل شد، اما در کشت مخلوط به دلیل وارد کردن گونه همراه و کاهش رقابت درون‌گونه‌ای، بهبود اجزاء عملکرد بدست آمد. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند بیشترین تعداد دانه در غلاف باقلا در کشت مخلوط با نعنای فلفلی حاصل شد. علاوه بر این، تعداد دانه در غلاف سویا با کاربرد قارچ میکوریزا ۸/۲۳ درصد نسبت به عدم کاربرد افزایش یافت.

عملکرد بیولوژیک و دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد بیولوژیک سویا فقط تحت تاثیر الگوی کشت قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین (۵۳۲۹/۷) کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۲۰۷/۲) کیلوگرم در هکتار) عملکرد بیولوژیک به کشت خالص سویا و کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن تعلق داشت (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد، عملکرد

دانه سویا تحت تاثیر الگوهای مختلف کشت، کاربرد قارچ میکوریزا و برهمکنش دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه سویا به ترتیب در کشت خالص سویا با کاربرد میکوریزا و کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن و عدم تلقیح قارچ بدست آمد (شکل ۴). از آنجایی که میزان تراکم گیاهان برداشت شده در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کمتر می‌باشد، لذا کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه به کاهش میزان تراکم گیاهان در واحد سطح برداشت شده نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک و دانه در کشت خالص سویا به بالا بودن اجزای عملکرد بویژه تعداد دانه در غلاف مربوط می‌شود. به طور مشابه، امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در کلیه الگوهای مختلف کشت مخلوط سویا با نعنای فلفلی، عملکرد دانه سویا نسبت به کشت خالص آن کمتر بود. علاوه بر این نتایج نشان داد عملکرد دانه سویا با کاربرد قارچ میکوریزا ۲۰/۴ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت. با توجه به این که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به بهبود صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته، دانه در غلاف و دانه در بوته می‌گردد (جدول ۷)، لذا افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه سویا تحت تاثیر کاربرد قارچ میکوریزا به بهبود صفات رشدی و عملکردی نسبت داده می‌شود (لاتف و چائوکسینگ ۲۰۱۱). در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، گولوبکینا و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش عملکرد ترخون (*Artemisia dracunculus L.*)، زوفا (*Hyssopus officinalis L.*) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia L.*) گردید.



شکل ۴- عملکرد دانه سویا در الگوهای مختلف کشت و کاربرد قارچ میکوریزا

ستون‌های دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون دانکن ندارند.

به مقصد (دانه‌ها) شده و به تبع آن شاخص برداشت افزایش می‌یابد (ناصری و همکاران ۲۰۱۷).

شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین کل در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کشت مخلوط آویشن با سویا نسبت به کشت خالص دو گیاه می‌باشد (جدول ۸). همچنین، نسبت برابری جزیی زمین آویشن و سویا در اکثر الگوهای کشت مخلوط بیشتر از ۰/۵ بود که نشان دهنده برتری این الگوهای کشت براساس کارایی استفاده از زمین می‌باشد (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). مونتلی و همکاران (۲۰۱۶) نتیجه گرفتند که افزایش LER جزیی به بیشتر از ۰/۵ به درجه مکملی اجزای مخلوط بستگی دارد. همچنین، بیشترین مقادیر LER در تیمار یک ردیف آویشن+ یک ردیف سویا با کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده شد. بر اساس مقادیر LER، ۱۰-۲۹ 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

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد شاخص برداشت سویا فقط تحت تاثیر قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۶). با کاربرد قارچ میکوریزا میزان شاخص برداشت سویا ۱۳/۲ درصد نسبت به عدم کاربرد افزایش یافت (جدول ۷). حصول عملکرد بهینه در گیاهان زراعی با تنظیم روابط مبدا- مقصد در راستای تولید و استفاده از فتوآسمیلات‌ها بدست می‌آید. بررسی‌ها نشان داده است، عوامل محدود کننده در تولید ماده خشک و یا سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ، با ظرفیت مبدا یا مقصد در ارتباط می‌باشد. هنگامی که ظرفیت مبدا بیشتر از ظرفیت یک مقصد معین باشد، مقصد کنترل کننده سرعت تولید ماده خشک خواهد بود. ظرفیت بالقوه مقصدها در طول مرحله پرشدن دانه می‌تواند با توجه به مولفه‌های اجزای عملکرد (برای مثال در سویا تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف، اندازه دانه و تعداد دانه‌های پر شده) تعیین گردد. از آنجایی که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش اجزای عملکرد سویا (از قبیل تعداد دانه در غلاف) و عملکرد دانه شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد قارچ میکوریزا با تاثیرگذاری بر تخصیص زیست‌توده بین ساقه و ریشه و با افزایش جذب عناصر غذایی منجر به بهبود فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی

کشت مخلوط لوبیا با گاوزبان باعث افزایش نسبت برابری زمین شد، به طوری که بالاترین مقدار آن (۱/۵۵) در تیمار ۲:۲ مشاهده شد.

ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند در کلیه الگوهای کشت مخلوط نعنای فلفلی + سویا، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود. کوچکی و همکاران (۲۰۱۲) در کشت مخلوط گاوزبان اروپایی و لوبیا مشاهده کردند که

جدول ۸- میزان LER، ATER، AHER و LUE معمولی و استاندارد در نسبت های مختلف کشت مخلوط

LUE	AHER	ATER	LER			تیمار
			کل	سویا	آویشن	
۱۰۵/۲	۰/۸۴	۱/۰۱	۱/۱۰	۰/۵۸	۰/۵۲	آویشن ۱:۱ سویا
۱۰۸/۵	۰/۹۴	۱/۰۴	۱/۱۲	۰/۷۱	۰/۴۱	آویشن ۲:۱ سویا
۱۲۴/۳	۱/۰۱	۱/۱۹	۱/۲۹	۰/۷۱	۰/۵۸	آویشن ۱:۱ سویا + میکوریزا
۱۱۹/۶	۱	۱/۱۵	۱/۲۴	۰/۷۶	۰/۴۸	آویشن ۲:۱ سویا + میکوریزا

LER، ATER، AHER و LUE به ترتیب نسبت برابری زمین، نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان، نسبت معادل سطح برداشت و کارایی استفاده از زمین می‌باشند.

LUE در اکثر الگوهای کشت نعنای فلفلی و سویا بیشتر از یک بدست آمد.

شاخص‌های رقابتی

ضریب غالبیت بیانگر معیاری از ارتباطات رقابتی بین دو گیاه در کشت مخلوط است (ویلی ۱۹۷۹). نتایج نشان داد میزان غالبیت در همه نسبت‌های کشت برای سویا مثبت و برای آویشن منفی بود که بیانگر توانایی رقابتی بیشتر سویا نسبت به آویشن می باشد (جدول ۹) (یلماز و همکاران ۲۰۱۵). نتایج غالبیت با نتایج شاخص نسبت رقابت مطابقت دارد. به طوری که در همه نسبت‌های کشت نسبت رقابت سویا بیشتر از آویشن بود. بنا بر گزارش ویلی و رائو (۱۹۸۰) شاخص نسبت رقابت معیار مناسب‌تری برای ارزیابی توانایی رقابتی اجزای کشت مخلوط است و در مقایسه با شاخص‌های دیگر مانند ضریب غالبیت و ضریب تراکم نسبی توانایی بیشتری در ارزیابی رقابت دارد. در همه الگوهای کشت مخلوط، نسبت رقابت آویشن کمتر از یک بود. کمتر بودن نسبت رقابت گونه‌ای به این معنی است که آن گونه می‌تواند با گونه دیگر به صورت مخلوط کشت شود ولی اگر نسبت

مقادیر ATER و AHER در اکثر الگوهای کشت مخلوط بالاتر از یک بدست آمد. بیشترین مقادیر شاخص‌های ذکر شده در الگوهای کشت مخلوط به همراه قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۸). نسبت معادل سطح برداشت بیانگر کارایی یا بازده مصرف منابع محیطی در کشت مخلوط می‌باشد. بالاتر بودن شاخص ATER و AHER در کشت مخلوط به افزایش کارایی مصرف نور و جذب بیشتر تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش رشد علف های هرز و کاهش رقابت بین دو گونه نسبت داده شده است (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. 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 بیان نمودند. امانی ماچیانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نتیجه گرفتند که مقادیر LER، ATER، AHER و

بدست آمد. علاوه بر این، بیشترین مقدار K کل در کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (جدول ۹). 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).

رقابت گونه‌ای بیشتر از یک باشد مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است (ویلی ۱۹۷۹). ضریب تراکم نسبی سویا در همه نسبت‌های کشت بیشتر از آویشن بود که بیانگر برتری عملکرد و همچنین غالبیت سویا نسبت به آویشن در کشت مخلوط است. در تأیید این نتیجه می‌توان به غالبیت و نسبت رقابت بیشتر سویا در مقایسه با آویشن اشاره کرد. همچنین، مقدار K کل در همه تیمارها بالاتر از یک

جدول ۹- ضریب غالبیت، نسبت رقابت و ضریب تراکم نسبی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

K	CR		A		تیمار
	سویا	آویشن	سویا	آویشن	
کل	سویا	آویشن	سویا	آویشن	آویشن ۱:۱ سویا
۱/۴۷	۱/۳۶	۱/۰۸	۱/۱۱	-۰/۹۰	۰/۱۱
۱/۶۶	۱/۶۱	۱/۰۳	۱/۱۶	-۰/۸۶	۰/۱۶
۳/۳۹	۲/۴۶	۱/۳۸	۱/۲۳	-۰/۸۲	-۰/۲۶
۲/۹۰	۲/۱۳	۱/۳۶	۱/۰۷	-۰/۹۴	-۰/۰۸
					آویشن ۲:۱ سویا + میکوریزا
					آویشن ۱:۱ سویا + میکوریزا

A، CR و K به ترتیب شاخص غالبیت، نسبت رقابتی و ضریب تراکم نسبی می‌باشند.

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 می‌باشد. بیشترین میزان SPI به تیمار یک ردیف سویا+ دو ردیف آویشن 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 ثبات عملکرد بیشتری داشتند.

شاخص‌های اقتصادی

مقادیر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط (IA) و سودمندی مالی (MAI) تیمارهای کشت مخلوط به تفکیک در جدول ۱۰ ارائه شده است. مثبت بودن این شاخص‌ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط سویا با آویشن 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 سویا+ یک ردیف آویشن با کاربرد قارچ میکوریزا مشاهده شد. بالاتر بودن مقادیر نسبت برابری زمین (LER) و ضریب

جدول ۱۰- شاخص‌های اقتصادی (سودمندی کشت مخلوط، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم)

SPI	MAI	(IA)			تیمار
		کل	سویا	آویشن	
۰/۶۵	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۱۰	آویشن ۱:۱ سویا
۰/۶۶	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۵	آویشن ۲:۱ سویا
۰/۸۷	۰/۲۵	۰/۶۲	۰/۱۹	۰/۴۳	آویشن ۱:۱ سویا + میکوریزا
۰/۸۳	۰/۱۸	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۵۰	آویشن ۲:۱ سویا + میکوریزا

IA، MAI و SPI به ترتیب سودمندی کشت مخلوط، سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم می‌باشند.

نتیجه‌گیری

می‌باشد. در نهایت با توجه به صفات مورد بررسی در آویشن و سویا، می‌توان کشت مخلوط آویشن به همراه سویا و کاربرد قارچ میکوریزا را به عنوان یک روش پایدار و جایگزین کشت خالص در راستای اهداف کشاورزی پایدار معرفی نمود.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم مزرعه و آزمایشگاه گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

بطور کلی با اجرای کشت مخلوط و کاربرد قارچ میکوریزا درصد و عملکرد اسانس آویشن افزایش یافت. به طوری که با کاربرد قارچ میکوریزا درصد و عملکرد اسانس آویشن به ترتیب ۳۰/۸۶ و ۱۱/۹۵ درصد افزایش پیدا کردند. همچنین بیشترین مقادیر شاخص‌های اقتصادی در کشت مخلوط یک ردیف سویا+ یک ردیف آویشن با کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد که بیانگر سودمندی بودن کشت مخلوط از لحاظ اقتصادی نسبت به کشت خالص و اهمیت کاربرد کودهای زیستی

منابع مورد استفاده

- 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.
- Askary M, Behdani MA, Parsa S, Mahmoodi S and Jamialahmadi M, 2018. Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 111: 336-344.
- 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.
- Bargaz A, Isaac ME, Jensen ES and Carlsson G, 2015. Intercropping of faba bean with wheat under low water availability promotes faba bean nodulation and root growth in deeper soil layers. *Procedia Environmental Sciences*, 29:111 – 112.

- Cao S, Luo H, Jin M, Jin S, Duan X, Zhou Y, Chen W, Liu T, Jia Q, Zhang B, Huang J, Wang X, Shang X and Sun Z, 2015. Intercropping influenced the occurrence of stripe rust and powdery mildew in wheat. *Crop Protection*, 70: 40-46.
- 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.
- 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, 2-16.
- Hassiotis CN, F Ntana DM, Lazari S and Vlachonasios K E, 2014. Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62: 359-366.
- Haggard-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.
- Haugaard-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 N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 113: 64–71.
- Herridge DF, Bergersen FJ and Peoples MB, 1990. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using the ureide and natural ¹⁵N abundance methods. *Plant Physiology*, 93: 708–716.
- 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.
- 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.
- 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 R and Lal R, 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total environment*, 514: 131-139.
- Maffi M and Mucciarelli M, 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. *Field Crops Research*, 84: 229 – 240.
- 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.
- Mohammadi Z, Naseri L and Barin M, 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi symbiosis and culture media on establishment and growth of micropropagated MM106 apple rootstock. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(2): 287-296.
- 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.
- Naseri R, Barary M, Zarea M, Khavazi K and Tahmasebi Z, 2017. Effect of plant growth promoting bacteria and Mycorrhizal fungi on growth and yield of wheat under dryland conditions. *Journal of Sol Biology*, 5(1): 49-66.

- 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.
- 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.
- Ostadi A, Javanmard A, Amani Machiani M, Morshedloo MR, Nouraein M, Rasouli F and Maggi F, 2020. Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil 1120 productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148: 112290.
- Pavela R, Žabka M, Vrchotová N and Tříška J, 2018. Effect of foliar nutrition on the essential oil yield of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Industrial Crops and Products*, 112: 762- 765.
- Pratap A, Gupta S K, Kumar J, Mehandi S and Pandey VR, 2012. Soybean. In Gupta S.K. (Ed.), *Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production*. London: Academic Press. pp, 293–315.
- Rehman R and Asif Hanif M, 2016. Biosynthetic Factories of Essential Oils: The Aromatic Plants. *Nat. Prod. Chem. Res.* 4(4), 1000227.
- 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.
- 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, Amani Machiani M, Javanmard A, Mahdaviakia H, Maggi F and Morshedloo MR, 2020. Vermicompost Application in Different Intercropping Patterns Improves the Mineral Nutrient Uptake and Essential Oil Compositions of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 5: 1-17.
- Salahi T, Yadavi A, Salehi A and Balouchi H, 2019. The Effect of Mycorrhiza Biofertilizer on Yield and Yield Components of Linseed (*Linum usitatissimum* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in Intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4): 1-17.
- 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.
- Turtola S, Manninen AM, Rikala R and Kainulainen P, 2003. Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in Scots pine and Norway spruce seedlings. *Journal of Chemical Ecology*. 29: 1981-1985. <https://doi.org/10.1023/A:1025674116183>.
- 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.
- 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.
- Willey RW, 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.
- 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.