Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effect of *Rhizophagus intraradices* and chemical fertilizer application on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping

Mohammad Haghaninia[1], Abdollah Javanmard[2*]

[1]PhD Student in Agrotechnoology - Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran, Email: haghanii72@gmail.com
[2]Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran, Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/06/12
Revised: 2021/11/21
Accepted: 2021/12/21

Keywords:
Arbuscular mycorrhiza fungus
Land equivalent ratio
Oil percent
Seed yield

ABSTRACT

Background and objectives: Intercropping as a new green revolution can prepare the way for sustainable production by increasing resource use efficiency. In agroecosystems sustainable management, application of biofertilizers especially mycorrhiza as a supplement or alternative for chemical fertilizers is very important. Accordingly, a study was conducted to evaluate the effects of application of *Rhizophagus intraradices* and chemical fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under intercropping systems.

Materials and Methods: A field experiment was carried out as factorial based on randomized complete blocks design (RCBD) with 20 treatments and three replications at the Faculty of Agriculture, University of Maragheh in 2019. The first factor including different planting patterns (P_1: safflower sole cropping, P_2: chickpea sole cropping, P_3: cropping of a row of safflower+ a row of chickpeas, P_4: cropping of three row of safflower+ two row of chickpeas, P_5: cropping of four row of safflower+ two row of chickpea) and the second factor including different fertilizer sources (F_1: control, F_2: application of arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*), F_3: recommended chemical fertilizer and F_4: 50% chemical fertilizers + mycorrhiza fungus (AM).

Results: The results showed that the highest seed yield of safflower (1906.6 Kg ha^{-1}) and chickpea (765 Kg ha^{-1}) were observed in monoculture with application of 50% chemical fertilizer+ mycorrhizal fungus. Furthermore, the highest of safflower oil content (28.51%) and yield (508.71 Kg ha^{-1}) were obtained in planting pattern of 4:2 and monoculture with application of 50% chemical fertilizer+ mycorrhizal fungus, respectively. Although, seed yield of safflower and chickpea in monocultures decreased in compared with intercropping, but the land equivalent ratio (LER) in the all planting patterns was higher than one. So that the highest (1.89) LER was observed in planting pattern of 1:1 integrated with 50% chemical fertilizer+ mycorrhizal fungus.

Conclusion: Based on the land equivalent ratio, system productivity and intercropping monetary indices intercropping pattern of 1 row chickpea+ 1 row safflower with application of 50% chemical fertilizers+ mycorrhiza fungus not only leading to agricultural ecosystems diversity and sustainable

productivity, but also effective in enhancing economic income and land use efficiency. As a result, application of biofertilizer in intercropping can reduce the detrimental implications of chemical fertilizers on the environment.

Cite this article: Haghaninia, M., Javanmard, A. 2022. Effect of Rhizophagus intraradices and chemical fertilizer application on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping. *Crop Production Journal*, 15 (2), 1-56.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.19136.2429
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تـولیـد گیـاهـان زراعـی
شـاپا چـاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

اثر کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ و نخود در کشت مخلوط

محمد حقانی‌نیا[۱]، عبدالله جوانمرد[۲*]

۱.دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی - اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه ایران، رایانامه: haghanii72@gmail.com

۲.دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، رایانامه: a.javanmard@maragheh.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶

واژه‌های کلیدی:
درصد روغن
عملکرد دانه
قارچ مایکوریزا آربوسکولار
نسبت برابری زمین

چکیده

سابقه و هدف: کشت مخلوط به عنوان انقلاب سبز جدید می‌تواند با استفاده بهتر از منابع، زمینه را برای تولید پایدار فراهم کند. در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی، کاربرد کودهای زیستی به‌ویژه مایکوریزا به‌عنوان مکمل یا جایگزین کودهای شیمیایی از اهمیت بالایی برخوردار است. بر همین اساس، مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثر قارچ *Rhizophagus intraradices* و کودهای شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ و نخود در کشت مخلوط اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: یک آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۲۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (P_1: کشت خالص گلرنگ، P_2: کشت خالص نخود، P_3: کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، P_4: کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و P_5: کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود) و فاکتور دوم شامل منابع مختلف کودی (F_1: عدم کاربرد کود، F_2: قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus intraradices*)، F_3: کود شیمیایی توصیه شده و F_4: ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه گلرنگ (۱۹۰۶/۶ کیلوگرم در هکتار) و نخود (۷۶۵ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا مشاهده شد. علاوه بر این، بیش‌ترین درصد روغن (۲۸/۵۱ درصد) و عملکرد روغن (۵۰۸/۷۱ کیلوگرم در هکتار) گلرنگ به‌ترتیب در الگوهای کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و کشت خالص با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا حاصل شد. علیرغم کاهش عملکرد دانه گلرنگ و نخود در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص نسبت برابری زمین سودمندی کشت مخلوط را تأیید کرد، به طوری که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود و بیش‌ترین مقدار این شاخص (۱/۸۹) در تیمار یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به شاخص‌های نسبت برابری زمین، بهره‌وری سیستم و شاخص مالی مخلوط، الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود همراه با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی +

قارچ مایکوریزا نه تنها منجر به ایجاد تنوع در اکوسیستم‌های کشاورزی و پایداری تولید شد، بلکه در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری استفاده از زمین‌های کشاورزی نیز موثر است. در نتیجه استفاده از کودهای زیستی در کشت مخلوط می‌تواند اثرات زیان‌بار کودهای شیمیایی را روی محیط زیست کاهش دهد.

استناد: حقانی‌نیا، م.، جوانمرد، ع.ه. (۱۴۰۱). اثر کاربرد قارچ ***Rhizophagus intraradices*** و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ و نخود در کشت مخلوط، *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۲)، ۵۶-۱.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19136.2429

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کشت مخلوط به‌عنوان یک استراتژی برای تنوع بخشیدن به سیستم‌های کشت در مکان و زمان، جهت دست‌یابی به ثبات تولید و امنیت غذایی در سطح جهان مطرح است (۱ و ۲). در مناطقی که با محدودیت نهاده‌ها مواجه هستند، کشت مخلوط با استفاده کارآمد از زمین و استفاده مؤثر از منابع محیطی می‌تواند از طریق برقراری روابط متقابل بین گیاهان، موجب افزایش عملکرد، افزایش ترسیب کربن خاک، کاهش آفات و بیماری‌ها، کاهش فرسایش و افزایش جذب مواد مغذی می‌گردد (۳). به‌واسطه این امر وابستگی نظام‌های زراعی به منابع بیرونی و غیرقابل تجدیدشونده کم‌تر و به دنبال آن پایداری بوم‌نظام‌ها افزایش می‌یابد (٤). در پژوهشی عملکرد دانه نخود (*Cicer arietinum*) و ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر یک از آن‌ها به‌ترتیب ۹ و ۲۳ درصد به دلیل استفاده از مواد مغذی خاک، اثرات مکملی، دریافت بهتر نور، فعل و انفعالات بین گونه‌ای و تثبیت نیتروژون توسط نخود افزایش یافت (۱). همچنین، در پژوهش دیگری با ارزیابی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت بالاترین عملکرد دانه و اجزای عملکرد در الگوهای کشت مخلوط حاصل شد (٤). در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) هم شاخص‌های نسبت برابری زمین، رقابت، غالبیت، نسبت معادل سطح زیرکشت، مجموع ارزش نسبی و ضریب ازدحام نسبی بیش‌تر از یک به‌دست آمد که بیان‌گر سودمندی کشت مخلوط بود (۵).

در دهه‌های اخیر استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی به‌عنوان ابزاری برای رسیدن به حداکثر تولید در واحد سطح باعث افزایش هزینه‌های تولید، بازدهی پایین در بلند مدت و پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده که سلامتی انسان‌ها و سایر موجودات زنده را با خطر مواجه کرده است (٦ و ۷). بنابراین، به‌دلیل مشکلات ناشی از مصرف بی‌رویه و غیر اصولی کودهای شیمیایی و توجه بیشتر به کیفیت، ثبات و پایداری در تولید، مدیریت کودها در کشاورزی پایدار ضرورت پیدا کرده است. در این رابطه مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی نقش کلیدی ایفا می‌کند (٦ و ۸). از آنجا که کودهای شیمیایی لازمه پایداری در کشاورزی، اطمینان از درآمد کافی و امنیت غذایی بوده نمی‌توان به یکباره آن‌ها را از اکوسیستم‌های زراعی حذف نمود (۹). بر این اساس، رویکرد جهانی به‌سمت استفاده از نهاده‌های سالم از قبیل کودهای زیستی بوده (۱۰) که می‌توانند به‌عنوان مکمل و جایگزین بخشی از کودهای شیمیایی در کاهش مصرف این کودها به‌طور قابل توجهی موثر بوده و موجب پایداری تولید در نظام‌های کشاورزی گردند (۱۱). قارچ‌های میکوریزا از جمله *Rhizophagus intraradices* از کودهای مهم زیستی هستند. یکی از ویژگی‌های مهم این قارچ‌ها انتقال مواد بین سلول‌های کورتکس ریشه گیاه کلونیزه شده با قارچ و آربوسکول‌های آن است (۱۲). همزیستی قارچی مواد کربوهیدراتی را عمدتا به شکل ساکارز از گیاه دریافت کرده و موجب فراهمی عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (۱۳). به این ترتیب که عناصر غذایی از غشا آربوسکول بوسیله حامل‌های غشایی که با شیب پروتون عمل می‌کنند به‌صورت فعال در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و مواد کربوهیدراتی موجود در آوند آبکش گیاه ابتدا توسط قارچ به گلوکز و فروکتوز تبدیل شده و سپس توسط حامل‌ها جذب می‌شود که این امر در نهایت سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌گردد (١٤).

نتایج عبدی و پیرزاد (۲۰۱۸) نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته، درصد کلونیزاسیون ریشه و

شاخص کلروفیل برگ (SPAD) نخود مربوط به گیاهان همزیست با *Rhizophagus intraradices* به همراه ۵۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود. آن‌ها اظهار داشتند با افزایش کاربرد کود سوپر فسفات تریپل تا ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، گیاه همزیست با گونه‌های مایکوریزا، کاهش معنی‌دار در تعداد دانه در بوته و درصد پروتئین دانه نشان دادند (۱۵). همچنین، حمیدی و مرعشی (۲۰۱۸) بیش‌ترین میزان شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، ماده خشک ریشه و عملکرد دانه گندم را از تیمار تلفیقی *Rhizophagus intraradices* و سطح کودی ۸۰ کیلوگرم کود شیمیایی فسفر گزارش کردند (۱۹). در پژوهش دیگری قلی‌نژاد و درویش‌زاده (۲۰۲۱) مشاهده کردند کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* موجب بهبود کمیت و کیفیت گیاه کنجد شد. این محققان نتیجه گرفتند عملکرد بذر، درصد و عملکرد روغن، اسیدهای چرب اشباع نشده و کلروفیل کل در گیاهان تلقیح شده افزایش یافت (۱۶). در ارتباط با ارزیابی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی گلرنگ در کشت مخلوط با باقلا گزارش شد که بیش‌ترین شاخص کلروفیل، ارتفاع و شاخه فرعی در بوته به کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی تعلق داشت. همچنین، بیش‌ترین نسبت برابری زمین (۱/۴۱) در الگوی کشت مخلوط ۱:۱ و با مصرف تلفیقی کودها حاصل شد (۱۷).

این آزمایش براساس این فرضیه‌ها اجرا گردید، الف: کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی به دلیل فراهم کردن نیتروژن در مراحل اولیه رشد و همچنین با آزادسازی سایر عناصر غذایی در مراحل بعدی رشد، به بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان منجر خواهد شد، ب: درصد و عملکرد روغن دانه گلرنگ در کشت مخلوط به‌دلیل اثرات مکملی بین دو گیاه و تثبیت نیتروژن توسط نخود افزایش می‌یابد، ج: درآمد اقتصادی و بهره‌وری و کارایی استفاده از زمین می‌تواند با اجرای کشت مخلوط گلرنگ و نخود و با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی افزایش یابد.

در نهایت با توجه به اینکه امنیت غذایی همراه با حفظ محیط‌زیست به یک موضوع مهم جهانی در دهه‌های اخیر تبدیل شده و یکی از ارکان توسعه پایدار جوامع محسوب می‌گردد، در این راستا، این پژوهش با هدف ارزیابی کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان گلرنگ و نخود در کشت مخلوط اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

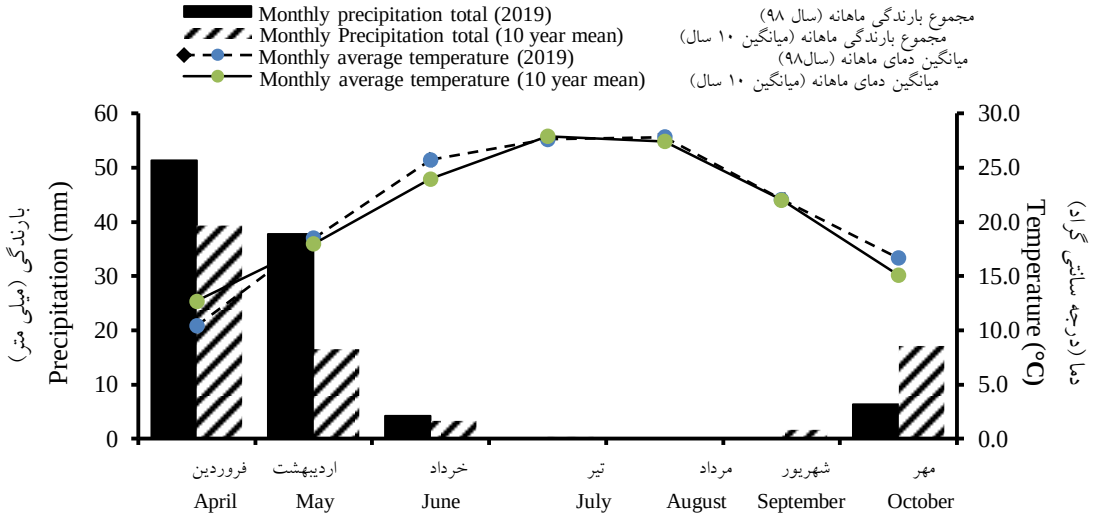
این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۲۰ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. آب و هوای منطقه نیمه خشک، سرد و معتدل با میانگین بارندگی سالیانه ۳۷۵ میلی‌متر (۷۳ درصد باران و ۲۷ درصد برف) در زمستان و اوایل بهار می‌باشد. فاکتور اول شامل پنج الگوی کشت (P_1: کشت خالص گلرنگ، P_2: کشت خالص نخود، P_3: کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود (۱:۱)، P_4: کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (۳:۲) و P_5:کشت، چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (۴:۲))، و فاکتور دوم شامل چهار نوع تیمار کودی (F_1: عدم کاربرد کود (شاهد)، F_2: قارچ مایکوریزا، F_3:کود شیمیایی توصیه شده و F_4: ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا) بودند. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک (جدول ۱) جهت تعیین

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت. همچنین، مشخصات آب و هوایی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشدی در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر).

Table 1- Physical and chemical properties of the soil used in the site of experiment (depth 0-30 cm).

بافت خاک Texture soil	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی Organic matter	هدایت‌الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
	درصد (%)						(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		
لومی رسی Silty loam	56	16.5	27.5	0.8	1.18	8.16	570.85	7.39	0.089



شکل ۱- مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه سال ۱۳۹۸ در حین اجرای آزمایش در مقایسه با میانگین ۱۰ ساله.

Figure 1- Monthly total rainfall and mean temperature in 2018 during the experiment in comparison with the 10-year (2008–2018) average values.

به‌منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، ابتدا در پاییز ۱۳۹۷ شخم نیمه عمیق توسط گاوآهن برگردان‌دار انجام و سپس عملیات دیسک و تسطیح صورت گرفت. کاشت گلرنگ و نخود در اوایل فروردین ماه ۱۳۹۸ به‌طور هم‌زمان و با دست در تراکم ٤٠ و ٥٠ بوته در متر مربع به‌ترتیب برای گلرنگ (رقم گلدشت) و نخود (رقم سارال) انجام گرفت. لازم به ذکر است که فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر، طول ردیف‌های کاشت ٤ متر، فاصله بین کرت‌های کشت ٥٠ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌های کشت گلرنگ و نخود به‌ترتیب ۲٥ و ۳۰ سانتی‌متر لحاظ شد. نخستین آبیاری بعد از اتمام کاشت و آبیاری‌های بعدی با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و نیاز گیاه انجام شد. حد بحرانی عناصر فسفر و پتاسیم برای گلرنگ به‌ترتیب ۱٥ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و برای نخود به‌ترتیب ١٤ و ۲۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (حاوی ٤٦ درصد

نیتروژن) و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل (حاوی ٤٦ درصد فسفر) مصرف شد. تمام کود فسفره به صورت نواری عمقی هم‌زمان با بذرکاری و کود اوره به صورت سرک در دو نوبت (زمان کشت و مرحله رزت) مورد استفاده قرار گرفت. سویه قارچ مایکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) مورد استفاده در این تحقیق از شرکت از کلینیک گیاهپزشکی اسدآباد همدان تهیه شد. موقع کاشت به مقدار ۸۰ گرم از خاک حاوی هیف‌های قارچ مایکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰-۷۰ اسپور در هر گرم خاک)، در هر ردیف کشت استفاده شد. برای تهیه زادمایه قارچی، تحت شرایط استریل، زادمایه قارچی داخل گلدان‌های ۲ کیلویی حاوی بستر ورمی‌کولایت و کوکوپیت (نسبت اختلاط حجمی ۱:۱) استریل اضافه شد و با گیاه ذرت و در شرایط گلخانه به مدت چهار ماه نگهداری شدند. در پایان این دوره، قسمت هوایی گیاه ذرت از سطح خاک قطع شده و محتویات داخل گلدان، شامل هیف‌ها، اسپور و ریشه‌های مایکوریزایی به‌عنوان زادمایه در آزمایش اصلی استفاده شد. همچنین، جهت شمارش اسپور از هر نمونه خاک ۵ سری ۲۰ گرمی جدا و اسپورها به روش کلیرونوموس و همکاران (۱۹۹۳) جداسازی شدند (۱۸). نمونه خاک در یک بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه و مخلوط فوق به‌صورت سوسپانسیون در آورده و پس از یک دقیقه به هم‌زدن در هم‌زن برقی با دور بالا، از الک‌هایی با قطر منافذ ۵۰۰ میکرومتر و سپس ٤٥ میکرومتری عبور داده شدند. محتویات سطح الک ٤٥ میکرومتری دوباره در یک لیتر آب مقطر سوسپانسیون و از سطح الک ٤٥ میکرومتری عبورداده و سرانجام محتویات سطح الک در ٦٠ -٤٠ میلی‌لیتر آب جمع‌آوری گردید. سوسپانسیون اسپوری به‌طور مساوی در دو لوله سانتریفوژ در داخل محلول ساکارز ٦٠ درصد شناور شدند و در ۷۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شدند. مایع رویی که حاوی اسپورها بود در روی یک کاغذ صافی جمع‌آوری و بر روی یک کاغذ شطرنجی در زیر بینوکولر با درشت‌نمایی ۳۰-۵۰ برابر شمارش گردید و میانگین تعداد اسپورهای مربوط به ۵ تکرار برای هر نمونه خاک محاسبه شد (۱۸). علاوه بر این، در زمان کاشت ابتدا بذرهای نخود با محلول قند و سپس با باکتری *Mesorhizobium cicero* با جمعیت تقریبی ۱۰۸ سلول باکتری در هر میلی‌لیتر (تهیه شده از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا، تهران) آغشته شدند. بر اساس توصیه شرکت سازنده، میزان مصرف مزوریزوبیوم، یک کیلوگرم در هکتار به ازای ۸۰-۷۰ کیلوگرم بذر نخود بود. در پایان فصل رشد برای اندازه‌گیری صفات زراعی، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه برای گلرنگ و برای نخود صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صد دانه اندازه‌گیری شدند. از هر کرت آزمایشی سطحی معادل یک متر مربع انتخاب و برداشت نهایی جهت تعیین عملکرد زیستی و عملکرد دانه با رعایت اثر حاشیه‌ای از هر طرف صورت گرفت. سپس شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک تعیین شد. جهت تعیین درصد روغن، نمونه‌ای دو گرمی از هر کرت انتخاب و بعد از آسیاب کردن، در کاغذ صافی بسته‌بندی و به‌عنوان وزن اولیه توزین گردید. سپس با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال پترولیوم اتر نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت مورد آزمایش قرار گرفتند. پس از اتمام آزمایش نمونه‌ها همراه با کاغذ صافی وزن گردید. تفاضل وزن اولیه نمونه و وزن ثانویه بر وزن اولیه نمونه درصد روغن نمونه را به دست

می‌آورد (۱۹). برای تعیین عملکرد روغن، عملکرد دانه در درصد روغن ضرب گردید. علاوه بر این، به‌منظور بررسی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، برخی از مهم‌ترین شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند.

رابطه ۱ (نسبت برابری زمین):

$$LER= (Y_{cs}/ Y_{cc}) + (Y_{sc}/ Y_{ss})$$

نسبت برابری زمین بر اساس سطح زیر کشت محاسبه می‌گردد و به‌وسیله آن مشخص می‌شود که برای به‌دست آوردن محصول حاصل از یک هکتار کشت مخلوط، چه مقدار زمین به‌صورت خالص مورد نیاز است تا همان مقدار محصول برداشت شود. نسبت برابری زمین از طریق رابطه فوق محاسبه شد (۲۰). در این رابطه Y_{cs} و Y_{sc} به‌ترتیب عملکرد نخود و گلرنگ در مخلوط و Y_{cc} و Y_{ss} به‌ترتیب عملکرد نخود و گلرنگ در کشت خالص می‌باشد.

رابطه ۲ (نسبت معادل کشت):

$$ATER= (Y_{cs}/ Y_{ss}\times t_c)+(Y_{sc}/ Y_{cc}\times t_s)/t$$

یکی از معایب نسبت برابری زمین این است که عامل زمان در نظر گرفته نمی‌شود. با توجه به این امر و در نظر گرفتن عامل زمان، شاخص نسبت معادل کشت و زمان (ATER) پیشنهاد شده است که با استفاده از رابطه فوق محاسبه شد (۲۰). در این رابطه t_c طول دوره رشد نخود، t_s طول دوره رشد گلرنگ و t طول دوره رشد در کشت مخلوط می‌باشد.

رابطه ۳ (شاخص رقابت):

$$CR_c = (LER_c/ LER_s)\times (Z_{sc}/ Z_{cs})$$
$$CR_s = (LER_s/ LER_c)\times (Z_{cs}/ Z_{sc})$$

با ارزیابی شاخص رقابت اگر چه میزان اضافه محصول نشان داده نمی‌شود، ولی با مشخص کردن شدت رقابت بین دو گونه در تیمارهای مختلف مخلوط، می‌توان در مورد سودمندی کشت مخلوط قضاوت کرد. این شاخص در حالت کلی شدت رقابت را به صورت کمی نشان می‌دهد. در این رابطه Z_{sc} و Z_{cs} به‌ترتیب نسبت گلرنگ و نخود کاشته شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط می‌باشد. شاخص رقابت با استفاده از رابطه بالا محاسبه شد (۲۱).

رابطه ٤ (شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط):

$$SPI = (Y_{ss}/ Y_{cc}) Y_{cs}+ Y_{sc}$$

رابطه ۵ (شاخص برتری مالی کشت مخلوط):

$$MAI = (Y_{cs}\times P_c+ Y_{sc}\times P_s)\times (LER-1/ LER)$$

جهت تعیین سودمندی اقتصادی از شاخص‌های (SPI) و (MAI) استفاده شد. در این روابط P_c و P_s به‌ترتیب قیمت نخود و گلرنگ بوده که ۲۰ و ۱۰ هزار تومان در نظر گرفته شد (۲۲).

در نهایت بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار آماری SAS و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جداول ۲ و ۳) حاکی از آن است که ارتفاع بوته نخود و گلرنگ تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای کشت، کود و ترکیب تیماری الگوهای کشت با کود قرار گرفتند. بیش‌ترین ارتفاع بوته گلرنگ (۷٤/۳ سانتی‌متر) در الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود با مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد (جدول ٤). همچنین، بیش‌ترین ارتفاع بوته نخود (۳۰/۸) در الگوی کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود با کاربرد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی حاصل شد (جدول ۵). کم‌ترین ارتفاع بوته گلرنگ (به‌طور میانگین ٤۵/۵ سانتی‌متر) در همه الگوهای کشت به تیمار بدون کاربرد کود تعلق داشت (جدول ٤). در حالی که کم‌ترین ارتفاع بوته نخود (۲۲/٦ سانتی‌متر) در الگوی کشت خالص بدون کاربرد کود

مشاهده شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد کنار هم قرار گرفتن گلرنگ و نخود موجب استفاده بهینه‌تر از نهاده‌های تولیدی، توسط گلرنگ شده است. به طوری که بخشی از نیتروژن تثبیت شده توسط نخود در خاک، به‌وسیله ریشه‌های گلرنگ جذب شده و باعث تحریک رشد رویشی، افزایش جذب تشعشعات خورشیدی، افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت بهبود ارتفاع در گلرنگ شده است (۲۳). همچنین، در الگوهای کشت به‌علت سایه اندازی و تلاش جهت کسب نور، ارتفاع بوته‌ها افزایش می‌یابد. در شرایط رقابتی، با کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور (R/FR) و همچنین، کاهش میزان تشعشعات فعال فتوسنتزی (PAR)، افزایش ارتفاع گیاهان را به همراه خواهد داشت (۲٤). از طرفی، کاهش دریافت نور به‌علت سایه‌اندازی، باعث عدم تجزیه هورمون اکسین شده، در نتیجه میزان اکسین افزایش و منجربه افزایش ارتفاع گیاهان خواهد شد. در این خصوص گونگ و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند در کشت مخلوط ارزن (*Panicum miliaceum* L.) با ماش (*Vigna radiate* L.) به‌دلیل جذب نور و منابع محیطی و اثر هورمون اکسین به‌خاطر کمبود نور، ارتفاع بوته‌ها افزایش پیدا کرده است (۲۵). همچنین، وفاداریگنجه و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیش‌ترین ارتفاع باقلا (*Vicia faba* L.) را در کشت مخلوط با بادرشبی (*Dracocephalum moldavica*) در الگوی کشت ۱:۱ مشاهده کردند (۲٦). علاوه بر این، ارتفاع گیاه ازجمله صفاتی است که به‌شدت تحت تاثیر کوددهی قرار می‌گیرد. بنابراین، افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد کود شیمیایی را می‌توان چنین توجیه نمود که با مصرف کود، دسترسی گیاه به عناصر غذایی کافی به‌خصوص نیتروژن فراهم شده که این امر از طریق تأثیر بر روی تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها در افزایش اجزای رشد رویشی بسیار مؤثر می‌باشد. به همین دلیل، بیش‌ترین میزان ارتفاع بوته با کاربرد کود شیمیایی حاصل شده است (۱۱). لازم به ذکر است در نخود بین تیمار کود شیمیایی و تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + مایکوریزا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، احتمال می‌رود قارچ مایکوریزا هم به واسطه ترشح پپتیداز و پروتئاز به درون خاک، باندهای نیتروژن ارگانیکی را شکسته و موجب افزایش جذب و کارایی اشکال گوناگون نیتروژن هم‌چون نیترات، اوره و آمونیاک شده باشد. بنابراین، مصرف قارچ مایکوریزا در تیمارهای تلفیقی می‌تواند بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را از منابع ارگانیک و غیرارگانیک فراهم و از این طریق در بهبود ارتفاع گیاه موثر باشد (۱٤).

تعداد شاخه فرعی: تعداد شاخه فرعی گلرنگ و نخود فقط تحت تأثیر جداگانه الگوهای مختلف کشت و کاربرد کود واقع شدند (جداول ۲ و ۳). بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی گلرنگ (٦/۹) با کاربرد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا حاصل شد (جدول ٦). همچنین، بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی نخود (۵/۹) با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نداشت (جدول ۸). علاوه بر این، در بین الگوهای کشت، بیشترین تعداد شاخه فرعی گلرنگ در الگوی کشت خالص بدون تفاوت معنی‌دار با الگوهای کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود و کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود به‌دست آمد (جدول ۷). در حالی که بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی نخود در کشت خالص نخود بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی ۱:۱ مشاهده شد (جدول ۹). افزایش سطح سبز فتوسنتز کننده موجب بیش‌تر شدن تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به مریستم‌های انتهایی

و جانبی می‌شود و در نتیجه، مجموعه این عوامل باعث افزایش تحریک مریستم انتهایی و جانبی و افزایش تولید شاخه‌های فرعی می‌گردد (۳۱). با توجه به این که ساختار پوشش گیاهی نقش قابل توجهی در استفاده موثر از تابش خورشید و در نتیجه افزایش عملکرد محصول دارد، تعداد شاخه‌های فرعی در کشت خالص به‌علت در اختیار داشتن نور و فضای کافی برای رشد جوانه‌های جانبی افزایش یافته است (۲۸). همچنین، در کشت مخلوط به‌دلیل فشار رقابتی و محدودیت تولید مواد فتوسنتزی رشد رویشی گیاه کاهش و در نهایت منجر به کاهش تعداد شاخه فرعی شده است. نتایج مشابهی توسط علی‌نقی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) در چند کشتی گلرنگ با پیاز (*Alium cepa*) و یونجه (*Meddicago sativa* L.) (۲۳) و در کشت مخلوط نخود با بالنگو (*Lallementia ibrerica M.B*) گزارش شد (۲۹). علاوه بر این، تعداد شاخه فرعی صفتی است که تحت تأثیر ژنتیک و شرایط محیطی قرار می‌گیرد و در اختیار داشتن میزان کافی از عناصر می‌تواند بر آن اثرگذار باشد. در تیمار کود شیمیایی مواد غذایی مورد نیاز گیاه بر اثر معدنی شدن کود فراهم می‌گردد که احتمال می‌رود به‌دلیل عدم توسعه ریشه‌ها و سرعت پایین معدنی شدن در مراحل ابتدایی رشد، دسترسی به عناصر غذایی با محدودیت مواجه گردد. اما در کاربرد تلفیقی کود زیستی و کود شیمیایی علاوه بر بهبود رشد اولیه گیاه، معدنی شدن کود نیز تسریع می‌شود. همچنین، کود زیستی تا مراحل پایانی رشد، عناصر غذایی را برای گیاه فراهم و باعث بهبود صفات رشدی گیاه می‌گردد (۳۰). علاوه‌بر این، قارچ مایکوریزا هم به‌واسطه تولید بیش‌تر هورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین می‌تواند در افزایش رشد طولی سلول‌ها به‌خصوص میانگره‌های ساقه موثر باشد و سبب بهبود صفات رشدی از جمله تولید شاخه‌های فرعی شوند (۳۱). همچنین، استفاده از قارچ مایکوریزا باعث بهبود خصوصیات خاک نظیر محتوای ماده آلی و افزایش دسترسی به عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی می‌گردد و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی این اثرات تشدید می‌شود که می‌تواند موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی شود (۱۵). هم راستا با این نتایج، عبدی و پیرزاد (۲۰۱۸) بیان کردند کاربرد تلفیقی کودشیمیایی + قارچ مایکوریزا باعث بهبود صفات رشدی نخود شد (۱۵).

تعداد گره: با توجه به تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر الگوهای مختلف کشت، کودهای مصرفی و اثر متقابل الگوی کشت با کود بر تعداد گره ریشه نخود معنی‌دار شد. بیش‌ترین تعداد گره ریشه نخود (۳۰/۶۵) در الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و با مصرف قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا در همان الگوی کشت، الگوی سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود با تیمارهای کاربرد قارچ مایکوریزا و کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا و همچنین، با الگوی یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود با مصرف قارچ مایکوریزا نداشت (جدول ۵). کم‌ترین تعداد گره (۱۶/۳۱) هم به الگوی کشت خالص بدون کاربرد کود مربوط بود (جدول ۵). در شرایط کمبود آب و مواد غذایی از میزان فتوسنتز گیاه کاسته می‌شود و در نتیجه با کاهش فعالیت تنفسی گره‌ها و کاهش انتقال نیتروژن تثبیت شده به خارج گره‌ها، بر تثبیت نیتروژن و همچنین تعداد ریزوبیوم‌های همزیست در ریشه گیاه نیز اثر منفی دارد (۳۲). ولی قارچ مایکوریزا از طریق جذب تدریجی عناصر غذایی و جذب آب هدایت برگی را افزایش و با تنظیم فشار تورژسانس و با حفظ باز بودن روزنه‌ها موجب بهبود کارایی تثبیت کربن دی اکسید می‌شوند (۳۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی گلرنگ.

Table 2- Variance analysis of quantitative and qualitative traits of safflower.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of Branch	تعداد طبق در بوته Number of head per plant	تعداد دانه در طبق Number of seed per head	وزن هزار دانه 1000- grain Weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield
		میانگین مربعات Mean Square									
تکرار Replication	2	5.02	0.06	1.10	23.27	22.39	7779.77	138704.68	0.656	7.10	4281.19
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	133.18**	6.24**	6.96*	136.25**	69.52**	137498.13**	649665.79*	6.22*	19.28**	7925.83**
کود Fertilizer (F)	3	1076.07**	9.25*	8.68**	327.80**	338.13**	258891.47**	2155626.91**	3.14*	13.17**	34637.96**
الگوی کشت× کود Planting pattern (P)× Fertilizer (F)	9	51.05*	0.54ns	1.07ns	19.37**	14.33*	17114.71*	111075.05ns	1.90*	5.80**	3417.74*
اشتباه آزمایش Error	30	22.88	1.50	1.30	6.22	6.50	8047.10	109463.58	0.982	1.96	1563.39
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.04	21.16	6.56	5.97	6.68	5.48	5.90	3.40	5.23	8.99

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

ns, *, ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات ارزیابی شده در نخود.

Table 3- Variance analysis some evaluated properties traits in chickpea.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Number of branch	تعداد غلاف در بوته Number of pods per Plant	تعداد دانه در بوته Number of Seed per plant	تعداد گره Number of nodule	وزن صدا دانه 100- grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.959	1.65	1.46	0.37	23.77	1.01	5588.2	195672.39	7.40
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	13.12**	0.99**	2.57**	6.96*	333.16**	22.59**	62374.45**	19067.18**	47.64*
کود Fertilizer (F)	3	18.13**	0.90*	7.52**	37.60**	68.72**	50.41**	26489.24**	708711.63*	5.84ns
الگوی کشت× کود Planting pattern (P)× Fertilizer (F)	9	6.28**	0.05ns	2.50**	9.70ns	14.85*	23.97**	4178.75*	99640.33ns	3.70ns
اشتباه آزمایش Error	30	1.70	0.16	0.47	1.42	6.59	0.96	1730.22	25716.84	8.66
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		4.91	7.26	4.30	6.70	11.25	2.37	6.45	6.10	11.93

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

ns, *, ** are non-significant and significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و سطوح کودی بر برخی صفات مورد ارزیابی گلرنگ.

Table 4- Mean comparison interaction of cropping pattern and different fertilizer treatments on some evaluated properties safflower.

الگوی کشت Planting pattern	کود Fertilizer	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height(cm)	وزن هزار دانه (گرم) 1000- grain weight (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index(%)
C1	F1	43.68^{g} ±1.89	30.40^{g}±1.20	29.32^{bcd}±0.62
	F2	47.49^{fg}±2.03	38.10^{de}±1.47	29.79^{abc}±0.77
	F3	58.55^{de}±1.20	37.71^{de}±1.45	30.57^{ab}±0.68
	F4	66.67^{abcd}±1.45	39.68^{bcd}±1.30	31.85^{a}±0.38
C2	F1	45.17^{g}±1.73	29.31^{g}±1.24	28.84^{bcde}±0.55
	F2	56.22^{ef}±1.86	34.66^{ef}±1.37	28.91^{bcde}±0.34
	F3	62.10^{cde}±1.88	40.35^{cd}±1.37	29.34^{bcd}±0.19
	F4	70.33^{abc}±1.20	38.25^{de}±1.45	30.49^{ab}±0. 9
C3	F1	46.29^{g}±1.73	31.30^{fg}±1.39	28.12^{cde}±0.12
	F2	61.13^{de}±1.66	37.22^{de}±1.76	29.76^{abc}±0.27
	F3	59.35^{de}±1.15	44.10^{ab}±1.51	27.89^{de}±0.65
	F4	62.90^{cde}±1.45	45.70^{a}±1.86	28.40^{cde}±0.48
C4	F1	47.16^{fg}±1.85	31.56f^{g}±1.17	27.48^{e}±0.45
	F2	64.33b^{cd}±1.67	42.73^{abc}±1.29	28.33^{cde}±1.02
	F3	74.35^{a}±1.98	43.78^{abc}±1.53	28.82b^{cde}±0.47
	F4	72.11^{ab}±1.76	46.19^{a}±1.76	30.23^{ab}±1.45
LSD (5%)		7.97	4.25	1.65

C1: کشت خالص گلرنگ، C2: کشت مخلوط یک ردیف گلرنگ و یک ردیف نخود (۱:۱) ، C3: کشت مخلوط سه ردیف گلرنگ و دو ردیف نخود (۳:۲) و C4: کشت مخلوط چهار ردیف گلرنگ و دو ردیف نخود (٤:۲). F1: عدم کاربرد کود، F2: کاربرد قارچ مایکوریزا، F3: کود شیمیایی و F4: مصرف تلفیقی 50 درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

C1: Monoculture of safflower, C2: 1 row intercropping of chickpea + 1 safflower (1:1), C3: 2 row chickpea+ 3 row safflower (3:2), C4: 2 row chickpea+ 4 row safflower (4:2). F1: control, F2: application of Arbuscular mycorrhizal fungus, F3: recommended chemical fertilizer and F4: 50% chemical fertilizers + mycorrhiza fungus (AM). Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و سطوح کودی بر برخی صفات مورد ارزیابی نخود.

Table 5- Mean comparison interaction of cropping pattern and different fertilizer treatments on some evaluated properties chickpea.

الگوی کشت Planting pattern	کود Fertilizer	ارتفاع بوته(سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته Number of pods per Plant	تعداد گره Number of nodule	وزن صد دانه (گرم) 100- grain weight (g)
C1	F1	22.65^{d}±1.50	16.94^{bc}±1.02	16.31g±0.94	37.14^{e}±1.15
	F2	26.40^{c}±1.39	17.32^{abc}±1.73	18.65fg±1.19	40.91^{dc}±1.27
	F3	26.86^{bc}±1.24	17.81^{ab}±1.15	17.98gf±1.15	42^{abc}±0.95
	F4	26.96^{c}±1.53	18.35^{a}±1.33	22.65de±1.23	42.43^{abc}±1.38
C2	F1	26^{C}±1.66	16.87^{bc}±1.08	21.98de±0.99	39.83^{d}±1.53
	F2	26.45^{c}±1.44	17.29^{abc}±1.32	28.31abc±0.77	41.33^{bcd}±1.18
	F3	26.82^{bc}±1.73	17.52^{abc}±1.44	21.98de±1.25	42.59^{abc}±1.37
	F4	27.55^{bc}±1.49	17.89^{ab}±0.97	24.98bcd±0.91	43.38^{a}±1.63
C3	F1	26.90^{bc}±1.76	15.32^{c}±1.39	20.31ef±0.84	41.53^{bc}±1.23
	F2	27^{bc}±1.65	16.92^{bc}±1.01	27.31abc±1.08	41.74^{abc}±1.00
	F3	30.86^{a}1.57	17.19^{abc}±1.36	22.66de±0.75	42.15^{abc}±1.21
	F4	28.72^{bc}±1.62	17.47^{abc}±1.21	30.31a±0.67	42.84^{ab}±1.04
C4	F1	27.10^{bc}±1.65	14.13^{d}±1.27	22.31de±1.20	41.65$_{bc}$±1.58
	F2	27.35^{bc}±1.15	16.69^{bc}±1.85	30.65a±0.83	41.95^{abc}±1.13
	F3	29.32^{ab}±1.73	17.15^{abc}±1.39	24.31cd±0.80	42.51^{ab}±1.40
	F4	28.84^{abc}±1.26	16.40^{abc}±1.15	28.65ab±0.96	42.73^{ab}±1.04
LSD (5%)		2.71	1.15	4.28	1.63

C1: کشت خالص نخود، C2: کشت مخلوط یک ردیف گلرنگ و یک ردیف نخود (۱:۱)، C3: کشت مخلوط سه ردیف گلرنگ و دو ردیف نخود (۳:۲) و C4: کشت مخلوط چهار ردیف گلرنگ و دو ردیف نخود (٤:۲). F1: عدم کاربرد کود، F2: کاربرد قارچ مایکوریزا، F3: کود شیمیایی و F4: مصرف تلفیقی 50 درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

C1: Monoculture of chickpea, C2: 1 row intercropping of chickpea + 1 safflower (1:1), C3: 2 row chickpea+ 3 row safflower (3:2), C4: 2 row chickpea+ 4 row safflower (4:2). F1: control, F2: application of Arbuscular mycorrhizal fungus, F3: recommended chemical fertilizer and F4: 50% chemical fertilizers + mycorrhiza fungus (AM). Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد بیولوژیک، طبق در بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در گلرنگ.

Table 6- Mean comparison of effect of different fertilizer treatments on biological yield, number of seed per head and number of branches in safflower.

تیمارهای کودی Fertilizer treatments	تعداد شاخه‌های فرعی Number of branches	تعداد طبق در بوته Number of seed per head	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($Kg\ ha^{-1}$)
عدم مصرف Control	$4.84^{c}\pm0.24$	$15.50^{b}\pm0.28$	$4991.25^{b}\pm121.46$
قارچ مایکوریزا Mycorrhiza fungus	$5.42^{bc}\pm0.21$	$15.55^{b}\pm0.35$	$5695.45^{a}\pm79.98$
کود شیمیایی Chemical fertilizers	$6.90^{ab}\pm0.31$	$16.49^{a}\pm0.30$	$5775.15^{a}\pm102.15$
کود شیمیایی+ مایکوریزا Mycorrhiza fungus + Chemical fertilizer	$5.98^{a}\pm0.29$	$17.25^{a}\pm0.33$	$5959.62^{a}\pm82.13$
LSD (5%)	1.02	0.88	275.85

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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ٧- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر عملکرد بیولوژیک، طبق در بوته و شاخه فرعی در گلرنگ.

Table 7- Mean comparison of effect of different planting patterns on biological yield, number of seed per head and number of branches in safflower.

الگوی کشت Planting pattern	تعداد شاخه‌های فرعی Number of branches	تعداد طبق در بوته Number of seed per head	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($Kg\ ha^{-1}$)
خالص گلرنگ MC	$6.47^{a}\pm0.36$	$17.18^{a}\pm0.35$	$5936.75^{a}\pm89.55$
1:1	$6.21^{a}\pm0.32$	$16.37^{ab}\pm0.38$	$5565.34^{b}\pm152.38$
3:2	$5.61^{ab}\pm0.21$	$15.56^{b}\pm0.35$	$5523.68^{b}\pm129.42$
4:2	$4.85^{b}\pm0.24$	$15.62^{b}\pm0.30$	$5394.86^{b}\pm148.63$
LSD (5%)	1.02	0.88	275.85

MC، ۱:۱، ۳:۲ و ٤:۲ به‌ترتیب کشت خالص، یک ردیف نخود+ یک ردیف گلرنگ، سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

Monoculture of Safflower, 1 row intercropping of chickpea + 1 Safflower, 2 row chickpea+ 3 row Safflower, and 2 row chickpea+ 4 row Safflower. Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ٨- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد بیولوژیک و شاخه فرعی در نخود.

Table 8- Mean comparison of effect of different fertilizer treatments on biological yield and branch in chickpea.

تیمارهای کودی Fertilizer treatments	تعداد شاخه‌های فرعی Number of branches	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) ($Kg\ ha^{-1}$)Biological yield
عدم مصرف Control	$5.28^{c}\pm0.25$	$2374.73^{c}\pm94.17$
قارچ مایکوریزا Mycorrhiza fungus	$5.42^{b}\pm0.24$	$2669.93^{b}\pm42.77$
کود شیمیایی Chemical fertilizers	$5.74^{ab}\pm0.22$	$2754.65^{ab}\pm47.75$
کود شیمیایی+ مایکوریزا Mycorrhiza fungus+ Chemical fertilizers	$5.94^{a}\pm0.17$	$2812.15^{a}\pm38.55$
LSD (5%)	0.34	133.7

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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نخود.

Table 9- Mean comparison of effect of different planting patterns on number of branches, biological yield and harvest index in chickpea.

الگوی کشت Planting pattern	تعداد شاخه‌های فرعی Number of branch	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield(Kg.ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
خالص نخود	$5.98^{a}\pm0.30$	$2765.43^{a}\pm49.27$	$26.92^{a}\pm0.54$
1:1	$5.69^{ab}\pm0.22$	$2604.58^{b}\pm123.34$	$25.49^{ab}\pm0.67$
3:2	$5.52^{bc}\pm0.21$	$2579.56^{b}\pm101.16$	$23.97^{bc}\pm0.40$
4:2	$5.29^{c}\pm0.25$	$2559.23^{b}\pm33.44$	$22.92^{c}\pm0.42$
LSD (5%)	0.34	133.7	2.45

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

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSD Test.

بنابراین با حفظ رطوبت و تامین عناصر غذایی از ابتدای رشد نخود، امکان بقا، فعالیت و همزیستی باکتری‌های ریزوبیومی را با نخود فراهم می‌کند. از طرفی با توجه به اینکه تشکیل گره نیاز شدیدی به فسفر دارد تلقیح با قارچ مایکوریزا از طریق فراهم کردن فسفر و همچنین جذب عناصر دیگری مانند کلسیم، مولیبدن، مس و روی بر تعداد و وزن گره‌ها موثر می‌باشد (۲۲، ۳٤). علاوه بر این، هیف‌های قارچ‌های میکوریز برای نفوذ به ریشه گیاهان آنزیم‌های پکتیناز و سلولاز ترشح می‌کنند که باعث سستی دیواره سلول‌های گیاهی می‌شود. این سستی دیواره نفوذ باکتری ریزوبیوم را تسهیل می‌کند که در نهایت می‌تواند موجب بهبود تعداد گره شود (۳۵). در پژوهشی محققان نشان دادند که تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش تعداد و وزن گره در عدس (*Lens culinaris* L.) گردید که این افزایش به تأمین عناصر میکرو و ماکرو نسبت داده شد (۳٦). علاوه بر این، هنگامی که بقولات در کنار سایر گونه‌ها به‌صورت مخلوط قرار می‌گیرند، به جهت اثرات مکملی و مساعدتی آن‌ها از طریق تبیث بیولوژیکی نیتروژن و در دسترس قرار دادن به گیاه مجاور، میزان بالاتری از نیتروژن تحریک شده و در نهایت فعالیت ریزوبیوم که در ریشه نخود گره‌سازی می‌کنند بیش‌تر شده و باعث افزایش تعداد گره فعال، سرعت و تشکیل گره‌ها می‌گردد (۳۲). در تایید این نتایج در کشت مخلوط باقلا با گندم، افزایش تعداد گره‌های ریزوبیومی در کشت مخلوط باقلا نسبت به کشت خالص آن گزارش شده است (۳۷). همچنین، اسدی و همکاران (۲۰۱۹) در کشت مخلوط بزرک و نخود عنوان نمودند که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان گره به ترتیب از کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کشت خالص به‌دست آمد (۳۲).

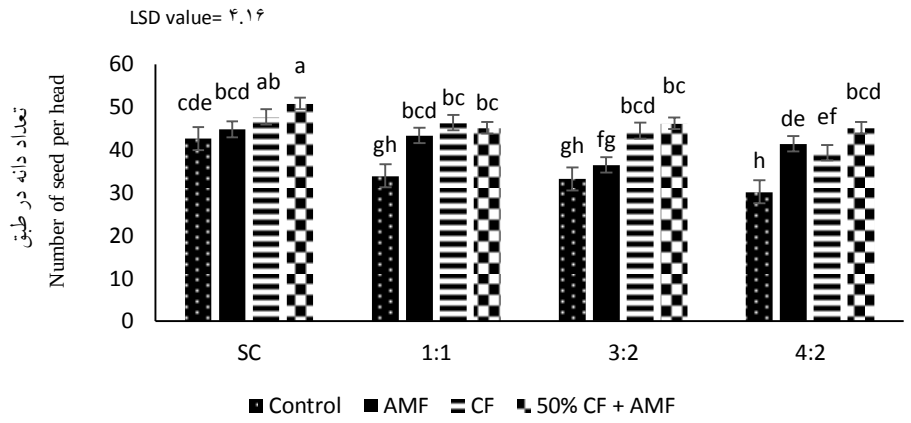
تعداد طبق و غلاف در بوته: نتایج حاصل (جدول ۲) حاکی از آن است که اثر الگوهای مختلف کشت و کاربرد کود بر تعداد طبق در بوته گلرنگ معنی‌دار گردید، اما برهم‌کنش الگوهای کشت و کاربرد کود بر این صفت معنی‌دار نشد. بیش‌ترین تعداد طبق در بوته گلرنگ (۱۷/۲) به کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با کود شیمیایی نداشت (جدول ٦). همچنین، بیش‌ترین تعداد طبق در بوته گلرنگ (۱۷/۱) در کشت خالص آن حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با الگوی یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود نداشت (جدول ۷). علاوه‌بر این، تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که تعداد غلاف در نخود تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کود و ترکیب تیماری الگوی کشت و کاربرد کود قرار گرفت. بیش‌ترین تعداد غلاف در نخود در الگوی کشت خالص + ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت هم به الگوی چهار ردیف

گلرنگ + دو ردیف نخود بدون کاربرد کود تعلق داشت (جدول ۵). در الگوهای کشت مخلوط، افزایش رقابت برون گونه‌ای بین بوته‌ها به‌ویژه در مرحله رشد رویشی و اوایل رشد زایشی که طرح اولیه اندام زایشی شکل می‌گیرد، اجازه رشد مطلوب به گیاه را نداده و تعداد گل‌های بارور در گیاه با کاهش مواجه خواهد شد که در نتیجه به کاهش تعداد غلاف در بوته منجر می‌شود (۳۸). ولی قارچ مایکوریزا پتانسیل آب برگ و هدایت روزنه‌ای در گیاه میزبان را افزایش و موجب می‌شود این گیاهان نسبت به گیاهان تلقیح نشده، فتوسنتز بیش‌تری انجام داده (۳۹) و انتقال بیش‌تر مواد فتوسنتزی به گل‌ها منجر به افزایش باروری و در نتیجه تشکیل غلاف بیش‌تر خواهد شد. از طرف دیگر، وجود نیتروژن یکی از عوامل مؤثر در تشکیل کلروفیل گیاه می‌باشد و چنانچه مقدار کافی از نیتروژن در اختیار گیاه قرار نگیرد، عمل تولید کلروفیل کاهش و یا مختل خواهد شد. در این شرایط با انتقال کم مواد غذایی به گل‌های در حال باروری، تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد (۲۷). بنابراین، کاربرد کود شیمیایی در کنار قارچ مایکوریزا با تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه می‌توانند در بهبود تولید غلاف و طبق در بوته نقش به‌سزایی داشته باشند. همچنین، علی‌رغم این که تیمار تلفیقی با تیمار کود شیمیایی کامل تفاوت معنی‌داری نداشت اما بیانگر اهمیت حذف یا جایگزینی کودهای شیمیایی برای بهبود شرایط زیست‌محیطی می‌باشد. هم‌سو با این نتایج، در بسیاری از پژوهش‌ها مشخص شده که کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی بر تمامی صفات فیزیولوژیک از جمله تعداد طبق در بوته به‌طور قابل توجهی موثر بوده است (۱). به‌طوری‌که مصرف تلفیقی قارچ مایکوریزا و کود شیمیایی در مقادیر توصیه شده از طریق گسترش بیش‌تر ریشه و تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه عامل بسیار مهمی برای بهبود اجزای عملکرد است که با فراهم نمودن عناصری نظیر فسفر، کلسیم، پتاسیم و به‌خصوص نیتروژن، موجب افزایش هرچه بیش‌تر سرعت رشد، عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد. در این خصوص سعیدی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد گلرنگ و باقلا بیش‌ترین طبق در بوته و دانه در طبق را از تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی گزارش کردند (۱۷).

تعداد دانه در طبق گلرنگ و تعداد دانه در بوته نخود: با توجه به تجزیه واریانس (جداول ۲ و ۳) اثر الگوهای مختلف کشت، کودهای مصرفی و اثر متقابل الگوی کشت با کود بر تعداد دانه در طبق گلرنگ و تعداد دانه در بوته نخود معنی‌دار شد. بیش‌ترین تعداد دانه در طبق (۵۰/۷) گلرنگ در الگوی کشت خالص و با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد کود شیمیایی در همان الگوی کشت نداشت. کم‌ترین تعداد دانه در طبق (۳۰/۱) هم به تیمار عدم مصرف کود در الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود مربوط بود (شکل ۲). علاوه بر این، بیش‌ترین تعداد دانه در بوته نخود (۲۲/۷) در الگوی کشت خالص با کاربرد کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد تلفیقی کودشیمیایی + قارچ مایکوریزا در همان الگوی کشت نداشت. کم‌ترین تعداد دانه در بوته نخود (۱۵/۹) هم به الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود بدون مصرف کود مربوط بود (شکل ۳). تعداد دانه در طبق ظرفیت مخزن‌های گیاهی را تعیین می‌کند، هرچه تعداد دانه‌ها بیش‌تر باشد گیاه مخزن‌های بیش‌تری را برای مواد پرورده تولیدی در اختیار داشته و هر دلیلی که این اجزا را افزایش دهد، می‌تواند موجب بهبود عملکرد شود. بنابراین، در الگوهای کشت مخلوط با مختل شدن فتوسنتز و بواسطه آن ناباروری گلچه‌ها، تعداد

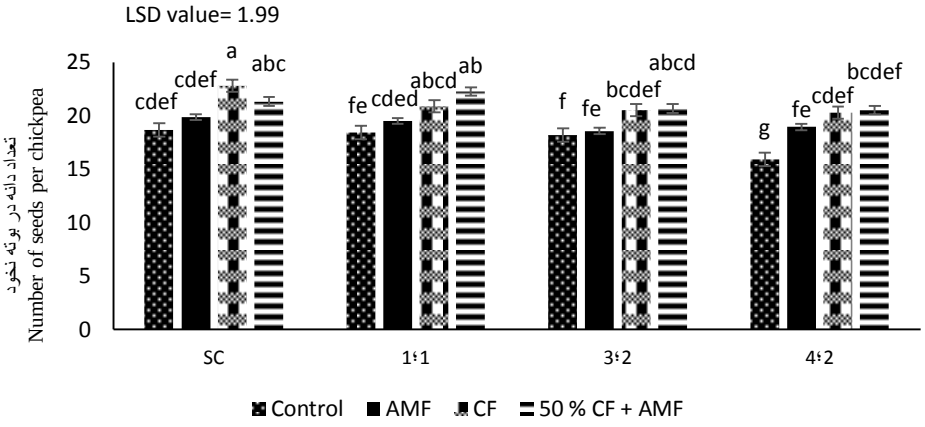
دانه با کاهش مواجه شده است. اما در کشت خالص به‌علت رشد رویشی بیش‌تر، تعداد شاخه فرعی بیش‌تری تولید شده که می‌تواند تعداد غوزه تشکیل شده را افزایش دهد و در نهایت مجموع تعداد دانه در هر بوته افزایش یابد (٤١). همچنین، در الگوی کشت خالص میزان تمایز گل آذین‌ها در طول مراحل رشد رویشی افزایش یافته، در نتیجه تعداد دانه‌ها در هر گل‌آذین بیش‌تر می‌شود (٤٢). در این رابطه داودیان و حمزه‌ئی (٢٠١٩) در ارزیابی کشت مخلوط کلزا و نخود گزارش کردند تعداد دانه در خورجین در الگوی کشت خالص کلزا به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از کشت مخلوط بود. آن‌ها کاهش تعداد دانه در الگوهای کشت مخلوط را به کاهش ظرفیت فتوسنتزی به دلیل سایه اندازی نسبت دادند (٤٣). همچنین، بهبود غلظت فسفر محلول، باعث افزایش میزان ذخیره فیتین بذر شده و فیتین نیز منبع اصلی ذخیره فسفر در اکثر بذرها و دانه‌ها بوده که ترکیب مهمی برای جوانه زدن و رشد دانه است که در نهایت اثر مهمی بر اندازه، وزن و تعداد بذر دارد (١١). بنابراین، قارچ مایکوریزا می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی مانند افزایش حلالیت فسفر نامحلول و توسعه ریسه در گستره وسیعی از خاک، باعث جذب بیش‌تر و موثرتر فسفر و سایر عناصر غذایی در گیاهان همزیست با قارچ گردد که این امر بر مرحله زایشی گیاه موثر بوده و می‌تواند باعث بهبود دانه‌بندی، دست‌یابی بیش‌تر به مواد پرورده و در نهایت موجب افزایش تعداد دانه در بوته شود (١٤). کاربرد کود شیمیایی هم از طریق افزایش تعداد سلول‌های بنیادی و افزایش مواد فتوسنتزی باعث بهبود تعداد دانه در طبق گلرنگ و تعداد دانه در بوته نخود می‌گردد (٤٤). زیرا با کاربرد کودهای شیمیایی به‌ویژه تأمین نیتروژن در مرحله زایشی که نیاز گیاه به آن زیاد است، باعث می‌شود که برگ‌ها دیرتر پیر شوند و مدت زمان بیش‌تری فتوسنتز کنند (١٠، ٤٥). افزایش فتوسنتز و انتقال آن به غلاف‌ها باعث پر شدن بهتر و رشد بیش‌تر غلاف و طبق شده و به این ترتیب با افزایش باروری و کاهش ریزش گل‌ها در طول دوره گلدهی، تعداد دانه در غلاف و طبق هم افزایش می‌یابد (٤٦). علی و همکاران (٢٠١٤) اظهار داشتند افزایش محتوی فسفر خاک از صفر تا ٦٠ کیلوگرم در هکتار به‌دلیل افزایش فسفر محلول، نقش مهمی در جذب عناصری از جمله پتاسیم و منیزیم دارد و باعث اختصاص بیش‌تر مواد غذایی و مواد فتوسنتزی به بذر و در نتیجه بزرگ‌تر شدن ابعاد و تعداد دانه می‌گردد (٤٤). به‌طور کلی، می‌توان چنین استنباط کرد که کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و کود شیمیایی باعث گسترش و توسعه ریشه، افزایش طول دوره رویشی گیاه و در نتیجه افزایش سطح فتوسنتزکننده شده که به تبع آن موجب افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌شود. در نهایت مواد فتوسنتزی بیش‌تری به دانه انتقال می‌یابد که به دنبال آن باعث اجزای عملکرد می‌گردد.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس (جداول ٢ و ٣) بیان‌گر این است که اثر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کودها و اثر متقابل الگوی کشت با کود بر وزن هزار دانه گلرنگ و وزن صد دانه نخود معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن هزار دانه (٤٦/٢ گرم) گلرنگ در الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و با کاربرد تلفیقی ٥٠ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا حاصل شد. کم‌ترین میزان وزن هزار دانه هم در الگوهای کشت خالص و الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود بدون مصرف کود مشاهده شد (جدول ٤). علاوه بر این، بیش‌ترین وزن صد دانه نخود (٤٣/٣) به الگوی یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود و با کاربرد تلفیقی ٥٠ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا تعلق داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر تعداد دانه در طبق گلرنگ. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲: سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲: چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources number of seed per head safflower. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea. The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر تعداد دانه در بوته نخود. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲: سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲: چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 3- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources number of seed per plant of chickpea. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea. The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.

کم‌ترین میزان وزن ۱۰۰ دانه نخود در الگوی کشت خالص بدون مصرف کود حاصل شد (جدول ۵). وزن دانه رابطه مستقیمی با توانایی گیاه در فراهمی مواد پرورده برای مخزن‌ها و شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه دارد. در کشت خالص به‌دلیل ازدیاد مخزن‌ها، سهم هر کدام از مخازن در دریافت مواد حاصل از فتوسنتز کم شده است. در نتیجه، افزایش تعداد دانه و کاهش فراورده‌های فتوسنتزی اختصاص یافته به مقصدهای فیزیولوژیک در کشت خالص گلرنگ و نخود سبب شده که وزن دانه‌ها نسبت به الگوهای کشت مخلوط با کاهش مواجه شود. از طرفی فتوسنتز اصلی‌ترین عاملی است که اجزای

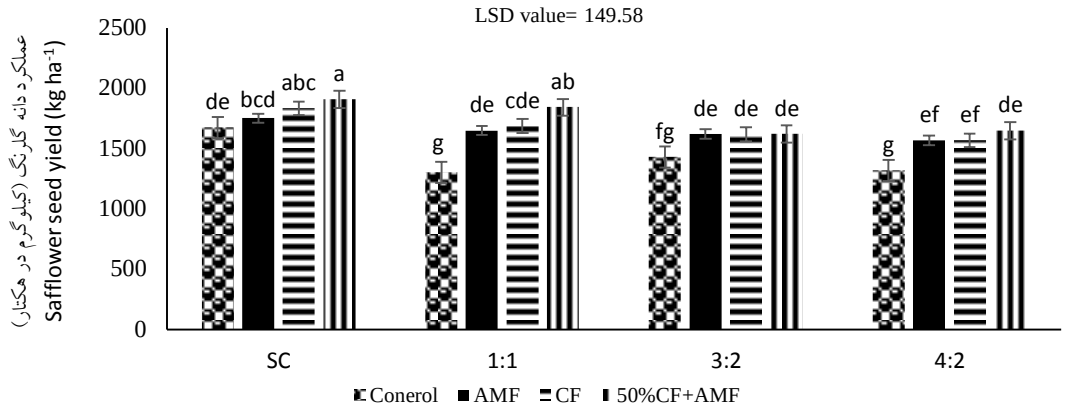
عملکرد و بهره‌وری محصول را تعیین می‌کند (۴۷). در این خصوص مشخص شده کشت مخلوط باعث تغییر عوامل محیطی، به‌ویژه نور شده (۲۵) و وضعیت تشعشعات دریافتی به گیاه و خاک را تنظیم می‌کند که مستقیماً با افزایش سطح برگ در ارتباط است، به‌طوری‌که امکان رهگیری بیش‌تر تشعشعات فعال فتوسنتزی را فراهم می‌کند. در نتیجه هدایت روزنه‌ای، تبادل CO_2 و H_2O بین برگ‌ها و محیط را تنظیم می‌کند. با توجه به اینکه افزایش هدایت روزنه‌ای مکانیسم سازشی است که گیاهان از طریق آن فتوسنتز برگ را افزایش می‌دهند، می‌تواند در طول دوره رشد باعث بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش جذب CO_2 شود که مجموع این عوامل باعث بهبود وزن هزار دانه در کشت مخلوط می‌گردد (۱۸، ۲۶). بنابراین، چنین به‌نظر می‌رسد که کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی یکی دیگر از عوامل مهم کاهش وزن هزار دانه در کشت خالص نخود و گلرنگ باشد. در تطابق با این نتایج، در کشت مخلوط کلزا با نخود، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه کلزا به‌ترتیب از کشت مخلوط و کشت خالص به‌دست آمد (۴۳). علاوه‌بر این، افزایش وزن هزار دانه بر اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی را می‌توان به افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع نسبت داد که موجب انتقال بیش‌تر مواد پرورده به دانه‌ها می‌شود. زیرا کود زیستی در کنار کود شیمیایی با اثرگذاری مثبت خود بر جذب عناصر، بهبود توزیع آب در گیاه، افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز و تولید هورمون‌های گیاهی مؤثر بر رشد گیاه موجب بهبود اجزای عملکرد از قبیل وزن هزار دانه می‌گردند (۳۰). همچنین، علت افزایش وزن دانه به‌واسطه کاربرد کود شیمیایی می‌تواند به‌دلیل افزایش تولید ماده خشک و کاهش محدودیت مبدأ در طول مرحله مریستمی آندوسپرم، افزایش دوام سطح برگ و طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه باشد (۴۸).

علاوه بر این، بخشی از افزایش وزن هزار دانه را نیز می‌توان به نقش مثبت قارچ مایکوریزا نسبت داد. زیرا قارچ‌های مایکوریزا می‌توانند از طریق انشعابات میسیلیومی به درون خاک و روزنه‌هایی که برای ریشه و تارهای کشنده گیاه در دسترس نیستند راه یابند و به این ترتیب از حجم بیش‌تری از پروفیل خاک استفاده کرده و باعث افزایش سطح جذب فسفر از منابع غیرمتحرک از طریق فعالیت آنزیم فسفاتاز و ترکیبات آلی حل‌کننده فسفات نامحلول می‌شوند (۳۱). از طرف دیگر، این قارچ‌ها می‌توانند از طریق هیف‌های خود NH^+_4 را به جای NO^-_3 جذب کنند. بنابراین، با افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی از جمله فسفر و نیتروژن، تولید آسیمیلات‌ها در گیاه افزایش پیدا کرده و در نتیجه باعث افزایش وزن بذر می‌شود (۱۴). بنابراین، چنین استنباط می‌شود که میزان عناصر غذایی در دسترس برای گیاه از طریق کودهای شیمیایی و کودهای زیستی دارای اثرات هم‌افزایی بوده و می‌تواند افزایش وزن هزار دانه را به دنبال داشته باشد که بیان‌گر یک نوع ارتباط مستدل فیزیولوژیکی می‌باشد (۱۶). در تطابق با این نتایج، عبدی و پیرزاد (۲۰۱۸) بیش‌ترین وزن صد دانه نخود را در تیمار تلفیقی قارچ مایکوریزا + کود شیمیایی گزارش کردند (۱۵).

عملکرد دانه: عملکرد دانه گلرنگ و نخود تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای کشت، کاربرد کود و ترکیب تیماری الگوهای کشت با کود قرار گرفتند (جداول ۲ و ۳). بیش‌ترین عملکرد دانه گلرنگ (۱۹۰۶/۶ کیلوگرم در هکتار) به الگوی کشت خالص با کاربرد تلفیقی کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا تعلق داشت که با الگوهای یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود + ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا و کشت خالص +کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین عملکرد دانه گلرنگ در همه الگوهای کشت مخلوط به تیمار

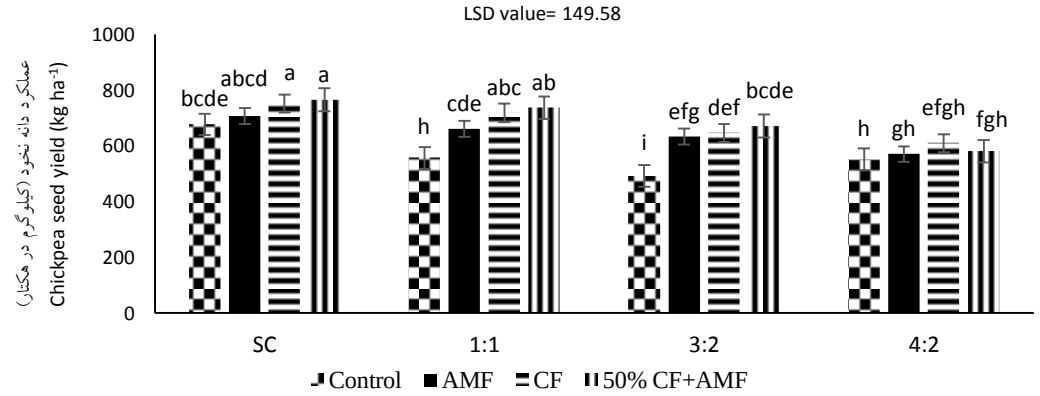
بدون کاربرد کود مربوط بود (شکل ٤). همچنین، بیش‌ترین عملکرد دانه نخود (٧٦٥ کیلوگرم در هکتار) در الگوی کشت خالص و در تیمارهای کاربرد تلفیقی ٥٠ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا و کاربرد انفرادی کود شیمیایی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد جداگانه قارچ مایکوریزا در کشت خالص نداشتند. علاوه‌بر این، تفاوت این تیمارها با الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود و با کاربرد تلفیقی و جداگانه کود شیمیایی معنی‌دار نبود. همچنین، کم‌ترین عملکرد دانه به الگوی کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (٤٩١/٥ کیلوگرم در هکتار) با عدم مصرف کود تعلق داشت (شکل ٥). به‌نظر می‌رسد در کشت خالص نخود و گلرنگ به‌دلیل عدم وجود رقابت بین‌گونه‌ای تمامی منابع موجود در دسترس گیاه قرار گرفته که در این حالت هر بوته برای آشیان‌های اکولوژیکی یکسان رقابت نکرده و تمامی منابع موجود در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. بنابراین، در این شرایط هر بوته از منابع در دسترس بیش‌ترین بهره‌برداری را کرده که این موضوع می‌تواند یکی از عوامل افزایش عملکرد گیاهان در کشت خالص باشد. همچنین، احتمال می‌رود که رشد زیاد اندام هوایی گلرنگ و نخود در الگوهای مختلف کشت مخلوط، موجب کاهش عملکرد دانه در این الگوها نسبت به کشت خالص شده که این نتیجه با نتایج راعی و همکاران (٢٠٢٠) مطابقت دارد (٤٩). صفات زایشی و عملکرد دانه در گیاه همبستگی زیادی با هم دارند، به‌طوری که صفات زایشی از جمله تعداد طبق و دانه در طبق تعیین کننده میزان عملکرد دانه می‌باشند (٢٣). در تحقیق حاضر نیز با توجه به اینکه بیش‌ترین تعداد طبق و دانه در طبق گلرنگ و بیش‌ترین تعداد دانه در بوته و غلاف در بوته نخود در کشت خالص این گیاهان به‌دست آمد و عملکرد دانه نیز برآیندی از صفات مذکور است، بالا بودن عملکرد دانه در کشت خالص گلرنگ و نخود قابل توجیه است. علاوه بر این، یکی از عوامل کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط، کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن کاهش دسترسی گیاهان برای جذب آب، مواد غذایی و نور می‌باشد (٥٠). همچنین، دوره رشد در کشت مخلوط به‌دلیل سایه اندازی کوتاه‌تر می‌شود. بنابراین، از لحاظ فتوسنتز، سایه‌اندازی طولانی‌مدت بر روی سنتز کلروفیل تأثیر می‌گذارد (٥١). در نتیجه میزان شاخص کلروفیل در کشت مخلوط کم‌تر شده، به‌طوری که کلروپلاست‌ها عمدتاً در بافت‌ها محصور می‌گردند و ورود CO_2 به کلروپلاست از طریق فضای بین سلولی محدود می‌شود. بنابراین، این عوامل می‌توانند به طور قابل توجهی اجزای عملکرد کشت مخلوط از قبیل تعداد دانه و... را تحت تاثیر قرار داده و متعاقب آن منجربه کاهش عملکرد دانه خواهد شد (٤٧). نتایج مشابهی مبنی بر بالا بودن عملکرد دانه در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط در سیب‌زمینی (*solanum tuberosum* L.)، حبوبات (١) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (٥٢) گزارش شده است. به‌طورکلی، هرچند نتایج بیان‌گر کاهش عملکرد دانه گلرنگ و نخود در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص بود. ولی، کاربرد ٥٠ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا در الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود به‌ترتیب با تولید ١٨٤٠ و ٧٣٦/٤٥ کیلوگرم در هکتار گلرنگ و نخود سبب افزایش نسبت برابری زمین (LER) و بهبود تولید در واحد سطح شد. خصوصیات فتوسنتزی گیاه ارتباط نزدیکی با نیتروژن دارند، زیرا بر پروتئین‌های موجود در تیلاکوئیدها و چرخه کالوین اثرگذار می‌باشند. بنابراین، کاربرد کود شیمیایی باعث تبدیل کارآمد CO_2 به کربوهیدرات شده که در نهایت موجب

افزایش تجمع ماده خشک و عملکرد دانه می‌گردد (۳۷). از طرف دیگر، مصرف کود شیمیایی سبب افزایش شاخص سطح برگ و دوام آن پس از گلدهی شده، که در نهایت با کاهش تلفات نور و افزایش کارایی مصرف نور، می‌تواند ظرفیت جذب و فتوسنتز گیاه را بهبود بخشد و منجر به افزایش عملکرد دانه گردد (۲۵). قارچ مایکوریزا هم با تبدیل فسفر غیرقابل جذب به فرم قابل جذب، افزایش تثبیت نیتروژن و تبدیل آن به فرم NH_4^+ سبب افزایش کلروفیل فتوسنتزی و بهبود فعالیت آنزیم‌هایی هم‌چون ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاهان میزبان شده که می‌تواند عملکرد را افزایش دهد (۵۳ و ۱۲).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر عملکرد دانه گلرنگ. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲: سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲: چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 4- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources of seed yield safflower. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea. The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.



شکل ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر عملکرد دانه نخود. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲: سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲: چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 5- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources of seed yield chickpea. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea. The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.

بنابراین، کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا سبب تامین عناصر مورد نیاز گیاه نظیر نیتروژن و فسفر شده و با توجه به نقش فسفر و نیتروژن در ذخیره و انتقال انرژی، فعالیت برخی آنزیم‌ها، ساخت ساکارز و نشاسته، فتوسنتز، انتقال کربوهیدرات‌ها، تنفس سلولی، افزایش قطر و طول ریشه و سطح تماس ریشه با خاک، افزایش عملکرد دانه گلرنگ و نخود را در تیمار تلفیقی کود شمیایی + قارچ مایکوریزا به همراه داشته است (۱۷، ۳۷).

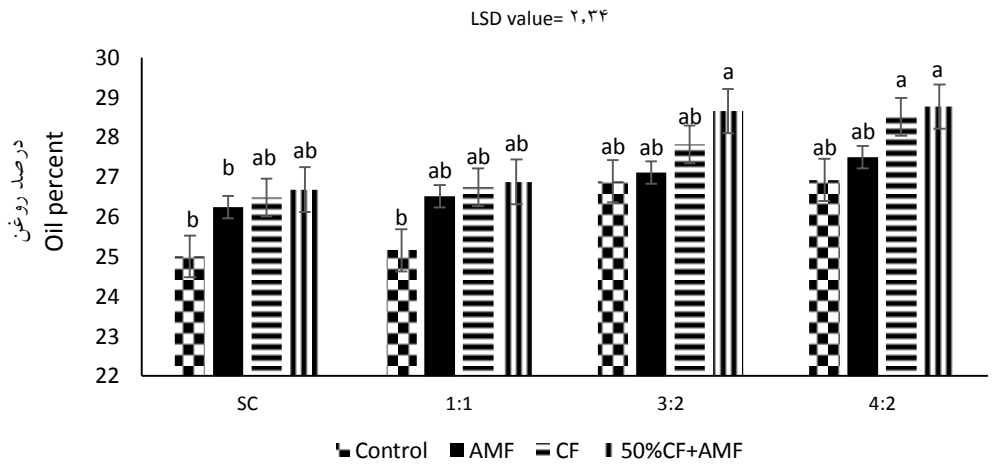
عملکرد بیولوژیک: تجزیه واریانس (جداول ۲ و ۳) نشان داد که عملکرد بیولوژیک گلرنگ و نخود فقط تحت تأثیر جداگانه الگوهای مختلف کشت و کاربرد کود واقع شدند. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک گلرنگ در هر سه تیمار کودی بدون تفاوت معنی‌دار حاصل شد که نسبت به تیمار عدم مصرف ۱۶/۴۰ درصد افزایش یافت (جدول ٦). در گیاه نخود بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا و کاربرد جداگانه کود شیمیایی حاصل شد (جدول ۸). علاوه بر این، در بین الگوهای کشت، عملکرد بیولوژیک گلرنگ و نخود در الگوهای کشت مخلوط به‌ترتیب ۷/۴۷ و ٦/٦٦ درصد نسبت به کشت‌های خالص کاهش یافت (جداول ۷ و ۹). تولید بالاتر در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط می‌تواند به‌علت محیط همگن تحت تاثیر کشت خالص باشد (۵۲). همچنین، کاهش عملکرد بیولوژیک در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به افزایش رقابت برون گونه‌ای برای کسب منابع مورد نیاز رشد از قبیل آب، عناصر غذایی و نور نسبت داده شده است (٥٤). در تطابق با این نتایج محفوظ و میگور (۲۰۱٤) در کشت مخلوط کلزا- نخود (۵۵)، ژو و همکاران (۲۰۱۹) در کشت مخلوط سویا- ذرت (٥٦) و کوچکی و همکاران (۲۰۲۰) در چندکشتی آفتابگردان- لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.)-کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) (۵۷)، بالاترین میزان عملکرد زیستی را در کشت خالص مشاهده کردند. در تیمار تلفیقی کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا جذب بیش‌تر عناصر غذایی سبب افزایش رشد و نمو و کلروفیل برگ شده که فرآورده فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. بنابراین، با افزایش طول دوره رشد و افزایش تورژسانس سلول‌های مریستمی، رشد رویشی بوته‌ها افزایش و در نهایت موجب بهبود عملکرد بیولوژیک می‌گردد (۵۸، ٤٦). به‌طورکلی، در تیمار تلفیقی کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا، وجود کود شیمیایی نیتروژنی در مراحل اولیه رشد باعث افزایش رشد رویشی و در مراحل بعدی آزادسازی نیتروژن و دیگر عناصر غذایی از قارچ مایکوریزا نیز موجب بهبود رشد زایشی گیاه می‌گردد (۵۹). در نتیجه در تیماری که عناصر غذایی مورد نیاز در طول رشد به‌صورت مطلوبی فراهم شده به دلیل افزایش رشد رویشی و زایشی، عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد. در این خصوص مرادقلی و همکاران (۲۰۲۰) بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک گندم را در تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی گزارش کردند (۳۰).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) بیان‌گر این است که شاخص برداشت گلرنگ تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کود و ترکیب تیماری الگوی کشت و کاربرد کود قرار گرفت. بیش‌ترین شاخص برداشت گلرنگ (۳۱/۸ درصد) در الگوی کشت خالص و با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کاربرد انفرادی کود شیمیایی و قارچ مایکوریزا در همان الگوی کشت خالص نداشت. همچنین، تفاوت این تیمارها با الگوهای یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود + کاربرد تلفیقی، سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود + قارچ مایکوریزا و چهار

ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود + کاربرد تلفیقی معنی‌دار نبود (جدول ٤). شاخص برداشت نخود فقط تحت تاثیر الگوهای مختلف کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). الگوی کشت خالص و یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود در رتبه اول و الگوهای سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود و چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۹). به‌نظر می‌رسد که علت کاهش شاخص برداشت در کشت مخلوط، به‌دلیل افزایش رقابت بین گیاه اصلی و گیاه همراه در مراحل پایانی رشد و نمو، بر سر جذب آب، مواد غذایی و نور خورشید بوده که موجب شده که گیاهان در دوره پایانی رشد، نتوانند به اندازه کافی و مناسب مواد فتوسنتزی را به دانه‌ها منتقل کنند، لذا نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی با کاهش مواجه شده است (۲۳). همچنین، تفاوت در شاخص برداشت می‌تواند به‌دلیل میزان بیوماس در شروع پر شدن دانه، میزان رشد گیاه در طول پر شدن دانه و انتقال مجدد آسیمیلات‌های ذخیره شده پیش از گرده افشانی در طی مراحل رویشی باشد. به‌طوری که فشار رقابت می‌تواند در مرحله گرده افشانی موجب کاستن تعداد دانه‌ها شده و پس از گرده افشانی نیز به‌علت کاهش آسیمیلات، تجمع بیوماس در طول رشد دانه کم‌تر خواهد شد که در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد (۳۹). علاوه بر این، کاربرد تلفیقی کودها باعث انطباق بیش‌تر عناصر غذایی در دسترس با نیازهای گیاه شده که به تبع آن بهبود شاخص برداشت را به همراه دارد (۹). ریسه قارچ مایکوریزا قادر است بیش از ۱۰ سانتی‌متر بیش‌تر از سطح ریشه و با تراکم بیش از ۱۰ متر از ریسه در هر گرم خاک گسترش یافته، به‌طوری که دسترسی به مناطقی را که ریشه‌های تغذیه کننده گیاه قادر به جذب از آن نیستند فراهم کرده و موجب می‌شود منطقه دسترسی به موادغذایی ریزوسفری افزایش یابد (۵۹) که در نهایت می‌تواند با جذب بیش‌تر در بهبود شاخص برداشت موثر واقع شود.

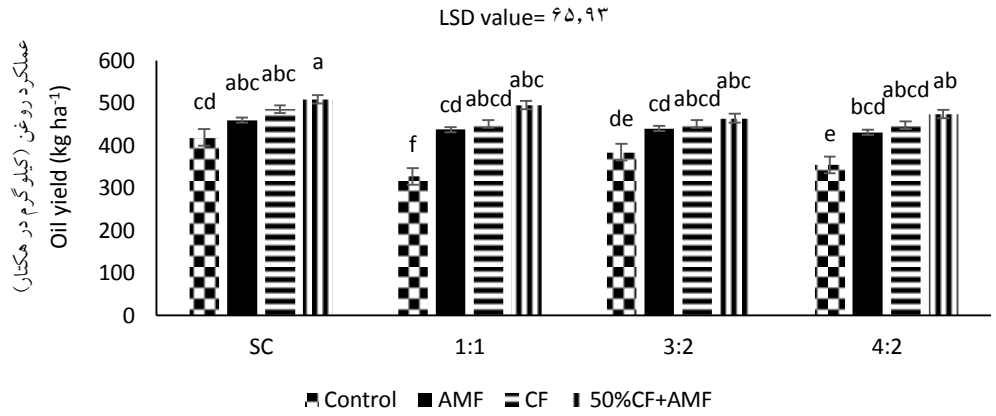
درصد و عملکرد روغن گلرنگ: تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت، کاربرد کود و ترکیب تیماری الگوهای کشت با کود بر درصد و عملکرد روغن گلرنگ معنی‌دار بود. بالاترین درصد روغن گلرنگ (۲۸/۷ درصد) در الگوی کشت چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا به‌دست آمد. کم‌ترین درصد روغن هم به الگوهای کشت خالص بدون مصرف کود تعلق داشت (شکل ٦). علاوه‌بر این، بیش‌ترین عملکرد روغن گلرنگ (۵۰۸/۷ کیلوگرم) با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا در الگوی کشت خالص حاصل شد (شکل ۷). نتایج بیان‌گر وابستگی بیش‌تر تولید روغن دانه به عملکرد دانه گلرنگ بود و نشان داد که حداکثر عملکرد روغن با افزایش حداکثری درصد روغن دانه حاصل نگردید. زیرا عملکرد روغن تابعی از عملکرد دانه و درصد روغن می‌باشد و تغییرات عملکرد روغن مشابه تغییرات عملکرد دانه بوده و همبستگی زیادی با آن دارد. بنابراین، چون بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار کشت خالص گلرنگ با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا به‌دست آمد، از این‌رو، بالا بودن عملکرد روغن در این تیمار دور از انتظار نیست. پژوهش‌گران دیگری نشان دادند که عملکرد روغن گلرنگ به عملکرد دانه بستگی داشت (۸). همچنین، از آنجا که بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۸۹) در الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود به‌دست آمد و با توجه به وابستگی بیش‌تر عملکرد روغن به عملکرد دانه می‌توان چنین استنباط کرد که کشت مخلوط سبب افزایش تولید در واحد سطح و افزایش بازدهی و سودمندی محصول می‌گردد. با این توصیف، کشت

مخلوط یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود پس از کشت خالص گلرنگ در واکنش به کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا بیش‌ترین عملکرد دانه را نشان داد. در این خصوص رضایی چیانه و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) و لوبیا حداکثر و حداقل عملکرد روغن را به‌ترتیب از الگوی کشت خالص و مخلوط گزارش کردند (۵۲). علاوه براین، با عنایت به اینکه هر عاملی که موجب افزایش فتوسنتز شود، می‌تواند باعث افزایش درصد روغن گردد (٤٦)، در کشت مخلوط جذب نور بیش‌تر به‌واسطه کاهش تخریب کلروفیل و انتقال مجدد فسفر باعث تأخیر در پیری برگ‌ها می‌شود (٦١). بنابراین، با ماندگاری بیش‌تر برگ‌ها، میزان فتوسنتز و در نتیجه درصد روغن افزایش می‌یابد. در این خصوص صلاحی و همکاران (۲۰۱۹) در کشت مخلوط کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.)- شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) بیان کردند در کشت مخلوط (۱:۱) به‌دلیل اثرات مکملی و تثبیت نیتروژن توسط گیاه شنبلیله و همچنین، استفاده موثر و کارآمد از عناصر غذایی خاک، رشد و نمو و فعالیت‌های متابولیسمی بیش‌تر شده و متعاقب آن اسیدهای چرب و درصد روغن افزایش می‌یابد (٦٢). در تطابق با این نتایج، رضایی چیانه و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط رازیانه- لوبیا بیش‌ترین درصد روغن لوبیا را از نسبت ۳:۲ گزارش کردند که نسبت به کشت خالص ۱۵/۷ درصد افزایش یافت (۵۲). علاوه بر این، از آنجا که فراهمی فسفر می‌تواند باعث افزایش بیوسنتز اسیدهای چرب گردد (٦٣)، بنابراین، انرژی مورد نیاز فرآیندهای گیاهی به صورت مولکول‌های ATPتامین می‌شود که به دلیل نقش فسفر در این مولکول‌ها، فراهمی فسفر سبب تولید بیش‌تر مولکول‌های پرانرژی می‌شود. قارچ‌های مایکوریزا با هیدرولیز فسفر از ترکیب‌های غیرآلی، به‌علت اسیدی کردن خاک و تراوش آنزیم‌های فسفاتاز منجر به افزایش غلظت فسفر می‌شوند (۲۰، ۱۲) که متعاقب آن افزایش عملکرد روغن حاصل خواهد شد.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر درصد روغن گلرنگ. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲: سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲: چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 6- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources of oil percent safflower. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea. The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل الگوی کشت و منابع کودی مختلف بر عملکرد روغن گلرنگ. SC: کشت خالص، ۱:۱: یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود، ۳:۲ : سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود، ٤:۲ : چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 7- Means comparison of interaction effect cropping pattern and different fertilizer resources of oil yield safflower. SC: Sole cropping, 1:1: Planting pattern of 1 row of safflower + 1 row of chickpea, 3:2: Planting pattern of 3 row of safflower + 2 row of chickpea, 4:2: Planting pattern of 4 row of safflower + 2 row of chickpea The means having least one common letter are not significant differences at 5% probability level using LSD Test.

در این رابطه، اولادعسکری و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی اثر تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی بر کلزا (۳٤)، مارو و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی کاربرد قارچ مایکوریزا بر کمیت و کیفیت سویا (۱۲)، اثر مثبت کود زیستی و قارچ مایکوریزا را بر درصد و عملکرد روغن گزارش کردند. صلاحی و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند بیش‌ترین درصد روغن کتان با کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* و کم‌ترین درصد روغن هم از عدم کاربرد قارچ حاصل شد (٦۲).

شاخص‌های ارزیابی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین (LER): این شاخص بیان‌گر مقدار زمین مورد نیاز در زراعت تک کشتی (بر حسب هکتار) برای تولید محصولی معادل زراعت مخلوط در یک هکتار است. نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارها بالاتر از یک شد (۱۷). به‌طوری‌که بیش‌ترین LER از الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا (۱/۸۹) به‌دست آمد و کم‌ترین آن به الگوی کشت سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود بدون کاربرد کود (۱/۵۱) تعلق داشت (جدول ۱۰). با توجه به اینکه هر دو گونه در تیمار یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود با کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا از عملکرد بیش‌تری برخوردار بودند به همین دلیل، نسبت برابری زمین بالاتری به‌دست آمد. بنابراین، هر چند عملکرد دانه در کشت مخلوط گلرنگ و نخود کاهش یافت ولی نسبت برابری زمین بیش‌تر از یک بود. این بدان معنی است که ۸۹ درصد سطح زمین بیش‌تری در کشت خالص نیاز است تا عملکرد مشابه کشت مخلوط حاصل شود (٦۱). در واقع، سودمندی استفاده از زمین در الگوی کشت یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا ۸۹ درصد بیش‌تر از کشت خالص شد. به عبارت دیگر، این تیمار می‌تواند برای ایجاد پایداری و ثبات تولید در افزایش درآمد اقتصادی و بهره‌وری

استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر باشد. به‌طور کلی، نسبت برابری زمین بالاتر از یک در این آزمایش بیان‌گر بیش‌تر بودن اثر مساعدتی نسبت به رقابت بین گونه‌ای است که به تبع آن کارایی استفاده از زمین نیز بیش‌تر شده است (۲۱). افزایش این شاخص به بیش‌تر از یک می‌تواند به دلیل جذب بیش‌تر تشعشعات و راندمان مصرف بالاتر آن، استفاده کارآمد از منابع محیطی به‌دلیل اختلافات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، بهبود سیستم تثبیت و جذب نیتروژن، افزایش توان رقابتی در کنترل علف‌های هرز و تفکیک آشیان اکولوژیک در الگوهای کشت مخلوط گلرنگ و نخود باشد (۲٤). سعیدی و همکاران (۲۰۱۸) در کشت مخلوط گلرنگ و باقلا بیان کردند میزان نسبت برابری زمین در همه کشت‌های مخلوط بالاتر از یک بود و در تیمار تلفیقی کود زیستی به‌علاوه کود شیمیایی بالاترین میزان LER به‌دست آمد. آن‌ها بیان کردند دلیل این امر می‌تواند بهره برداری بهینه از منابع، تثبیت بیش‌تر نیتروژن در خاک توسط لگوم و بهبود شرایط محیطی برای جزء دیگر مخلوط و بهبود کارایی مصرف نور باشد (۱۷). همچنین، راعی و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند نسبت برابری زمین در کلیه تیمارهای مختلف کودی و کشت مخلوط لوبیا چیتی و خردل سیاه بالاتر از یک بود و بالاترین آن به تیمار کود زیستی + شیمیایی و کشت مخلوط (تراکم مطلوب دو گیاه) تعلق داشت (٤۹).

جدول ۱۰- مقادیر شاخص‌های نسبت برابری زمین، نسبت معادل سطح زیر کشت و نسبت رقابت در تیمارهای آزمایشی.

Table 10- Values of LER, ATER and CR indices at experimental treatments.

الگوی کشت Planting pattern	کود Fertilizer	نسبت برابری زمین نخود LER_c	نسبت برابری زمین گلرنگ LER_s	نسبت برابری کل LER_T	نسبت معادل سطح زیر کشت ATER	نسبت رقابت گلرنگ CRs	نسبت رقابت نخود CR_c
C1	F1	0.77	0.79	1.56	1.30	1.02	0.98
	F2	0.90	0.94	1.84	1.54	1.05	0.95
	F3	0.90	0.92	1.82	1.52	1.02	0.98
	F4	0.92	0.97	1.89	1.58	1.04	0.96
C2	F1	0.66	0.85	1.51	1.29	0.86	1.17
	F2	0.86	0.93	1.78	1.50	0.72	1.39
	F3	0.86	0.88	1.74	1.46	0.68	1.46
	F4	0.88	0.85	1.72	1.43	0.65	1.55
C3	F1	0.77	0.76	1.53	1.27	0.50	1.98
	F2	0.77	0.90	1.67	1.41	0.60	1.68
	F3	0.81	0.86	1.66	1.39	0.54	1.84
	F4	0.76	0.91	1.66	1.41	0.62	1.62

C1: کشت مخلوط یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود (۱:۱)، C2: کشت مخلوط سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (۳:۲) و C3: کشت مخلوط چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (٤:۲). F1: عدم کاربرد کود، F2: کاربرد قارچ مایکوریزا، F3: کود شیمیایی و F4: مصرف تلفیقی 50 درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا.

C1: 1 row intercropping of chickpea + 1 safflower (1:1), C2: 2 row chickpea + 3 row safflower (3:2), C3: 2 row chickpea + 4 row safflower (4:2). F1: control, F2: application of arbuscular mycorrhizal fungus, F3: recommended chemical fertilizer and F4: 50% chemical fertilizers + mycorrhiza fungus (AM).

نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان (ATER): نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان بیان‌گر کارایی تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی می‌باشد. اگر نسبت معادل سطح زیر کشت بالاتر از یک باشد نشان دهنده بازدهی بالا در استفاده از زمان و زمین است (٦۱). با توجه به جدول ۱۰ مقدار ATER در کلیه تیمارها بالاتر از یک به‌دست آمد. بیش‌ترین (۱/۵۸) نسبت معادل سطح زیر کشت و زمان به الگوی کشت ۱:۱ با

کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا تعلق داشت و کم‌ترین آن به الگوی ۳:۲ بدون مصرف کود مربوط بود. بالاتر بودن شاخص ATER در کشت مخلوط به افزایش کارایی مصرف نور و جذب بیش‌تر تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش رشد علف‌های هرز و کاهش رقابت بین دو گونه نسبت داده شده است (۵). سینگ و همکاران (۲۰۱۳) در کشت مخلوط شمعدانی و سیر گزارش کردند که میزان ATER در کلیه الگوهای کشت مخلوط بزرگ‌تر از یک به‌دست آمد (۲۱).

شاخص رقابت (CR): شاخص رقابت گرچه میزان اضافه محصول را در کشت مخلوط نشان نمی‌دهد، ولی با اشاره به شدت رقابت بین دو گونه در کشت‌های مخلوط می‌توان نسبت به سودمندی آن‌ها قضاوت کرد. بنابراین، 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 (۵، ٤٦). بر اساس جدول ۱۰، در تمامی تیمارهای کودی، فقط در الگوی ۱:۱، نسبت رقابت گلرنگ بیش‌تر از نخود و بالاتر از یک بود. در بقیه تیمارها نسبت رقابت گلرنگ کم‌تر از یک و با علامت مثبت بود (جدول ۱۰) که نشان‌دهنده این است که گلرنگ دارای اثر متقابل مثبت بوده و در نتیجه می‌تواند به آسانی با سایر گیاهان مخلوط گردد (۱). پایین بودن نسبت رقابت نشان دهنده مزیت مثبت برای یک گیاه بوده که با بهره‌برداری مکمل از منابع رشد، بهبود عملکرد کشت مخلوط با بهره‌وری بالاتر را موجب می‌گردد (٢٤). همچنین، اگر نسبت رقابت گونه‌ای بیش‌تر از یک باشد مفهوم آن این است که آن گونه در کشت مخلوط از غالبیت برخوردار است. بیش‌تر از یک بودن نسبت رقابت نخود در الگوهای کشت ۳:۲ و ٤:۲ حاکی از غالب بودن این گیاه در کشت مخلوط با گلرنگ در الگوهای کشت مذکور می‌باشد (۱).

جدول ۱۱- مقادیر شاخص‌های ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط در تیمارهای آزمایش.

Table 12- Values of economics evaluation indices of intercropping at experimental treatments.

الگوی کشت	کود	شاخص بهره‌وری سیستم	شاخص برتری مالی کشت مخلوط
Planting pattern	Fertilizer	SPI	MAI
C1	F1	1121.89	8740975.64
	F2	1353.87	13532059.74
	F3	1368.5	13690560.16
	F4	1444.92	15308831.42
C2	F1	1086.01	8035132.24
	F2	1313.61	12663721.91
	F3	1310.11	12403986.11
	F4	1318.98	12420968.03
C3	F1	1099.44	8242817.24
	F2	1230.16	10863447.25
	F3	1251.26	11112957.75
	F4	1272.58	11515117.46

C1: کشت مخلوط یک ردیف گلرنگ + یک ردیف نخود (۱:۱)، C2: کشت مخلوط سه ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (۳:۲) و C3: کشت مخلوط چهار ردیف گلرنگ + دو ردیف نخود (٤:۲). F1: عدم کاربرد کود، F2: کاربرد قارچ مایکوریزا، F3: کود شیمیایی و F4: مصرف تلفیقی 50 درصد کود شیمیایی+ قارچ مایکوریزا.

C1: 1 row intercropping of chickpea+ 1 safflower (1:1), C2: 2 row chickpea+ 3 row safflower (3:2), C3: 2 row chickpea+ 4 row safflower (4:2). F1: control, F2: application of arbuscular mycorrhizal fungus, F3: recommended chemical fertilizer and F4: 50% chemical fertilizers + mycorrhiza fungus (AM).

بهره‌وری سیستم (SPI) و شاخص مالی مخلوط (MAI): شاخص‌های اقتصادی نشان‌دهنده بهره‌وری و کارایی سیستم کشت مخلوط می‌باشد و بالاتر بودن آن افزایش کارایی سیستم مخلوط را مشخص می‌سازد. با توجه به جدول ۱۱، بیش‌ترین میزان بهروه‌وری سیستم (SPI) و شاخص مالی مخلوط (MAI)، به الگوی کشت ۱:۱ با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + قارچ مایکوریزا تعلق داشت.

مثبت بودن مقادیر این شاخص‌ها گویای سودمندی و مزیت اقتصادی کشت مخلوط گلرنگ با نخود و استفاده بهتر از منابع در دسترس توسط این دو گیاه در مقایسه با کشت خالص آن‌ها می‌باشد (۱، ۲٤). از طرف دیگر، بالا بودن شاخص نسبت برابری زمین در کشت مخلوط گلرنگ و نخود باعث افزایش مقادیر SPI و MAI شده و در نتیجه ثبات عملکرد بیش‌تری هم خواهند داشت (٦۱، ۱). هم راستا با این نتایج، سیدی و همکاران (۲۰۲۰) در کشت مخلوط آفتابگردان با لگوم سودمندی کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی آن گزارش کردند (۵).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد با وجود اینکه بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی، تعداد طبق و تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گلرنگ و نخود در کشت خالص به‌دست آمد اما شاخص‌های نسبت برابری زمین، نسبت معادل سطح زیرکشت، شاخص برتری مالی کشت مخلوط و شاخص بهره‌وری سیستم، سودمندی کشت مخلوط را نشان دادند. علاوه بر این، با کاربرد تلفیقی قارچ *Rhizophagus intraradices*+ ۵۰ درصد کود شیمیایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت هر دو گیاه گلرنگ و نخود و همچنین، درصد و عملکرد روغن گلرنگ افزایش یافت. بنابراین، با کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و کود شیمیایی در کشت مخلوط گلرنگ و نخود می‌توان تا ۵۰ درصد مصرف کود شیمیایی را کاهش داد، بدون اینکه شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه گیاهان کاهش معنی‌داری پیدا کنند.

منابع

1. Gitari, H.I., Nyawade, S.O., Kamau, S., Karanja, N.N., Gachene, C.K., Raza, M.A., Maitra, S. and Schulte-Geldermann, E. 2020. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. Field Crops Res. 258: 107957.
2. Tan, Y., Hu, F., Chai, Q., Li, G., Coulter, J.A., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z. and Yin, W. 2020. Expanding row ratio with lowered nitrogen fertilization improves system productivity of maize/pea strip intercropping. Eur. J. Agron. 113: 125986.
3. Mupangwa, W., Nyagumbo, I., Liben, F., Chipindu, L., Craufurd, P. and Mkuhlani, S. 2021. Maize yields from rotation and intercropping systems with different legumes under conservation agriculture in contrasting agro – ecologies. Agric. Ecosyst. Environ. 306: 107170.
4. Ma, L., Li, Y., Wu, P., Zhao, X., Gao, X. and Chen, X. 2020. Recovery growth and water use of intercropped maize following wheat harvest in wheat/maize relay strip intercropping. Field Crops Res. 256: 107924.
5. Seyedi, S.M. and Hamzei, J. 2020. Evaluation of advantageous of sunflower-grain legume intercropping. J. Crop Prod. 13: 1. 85-98. (In Persian)
6. Mencaroni, M., Dal Ferro, N., Furlanetto, J., Longo, M., Lazzaro, B., Sartori, L., Grant, B., Smith, W.N. and Morari, F. 2020. Identifying N fertilizer management strategies to reduce ammonia volatilization: Towards a site-specific approach. J. Environ. Manag. 277: 111445.
7. Gao, Y., He, N., Yu, G., Chen, W. and Wang, Q. 2014. Long-term effects of different land use types on C, N, and P stoichiometry and storage in subtropical

ecosystems: A case study in china. Ecol. Eng. 67: 171-181.
8. Hamidi, H. and Marashi, S. 2018. Effect of different mycorrhizal fungi and phosphorus fertilizer on growth traits and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. of Plant prod Sci. 8: 1. 13-22. (In Persian)
9. Ahmadpour-Abnvi, S., Ramroudi, M., Galavi, M. and Shamsaddin-Saied, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation conditions. J. Agric. Sci. Sustain Prod. 29: 1. 269-284. (In Persian).
10. Kour, D., Rana, K.L., Yadav, A.N., Yadav, N., Kumar, M., Kumar, V., Vyas, P., Dhaliwal, H.S. and Saxena, A.K. 2020. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. Biocatal Agric. Biotechnol. 23: 101487.
11. Nisi, N., Shokohfar, A. and Payandeh, K. 2021. Effect of bio phosphate fertilizer and triple super phosphate application on yield, yield components, phosphorus and cadmium concentration of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. J. Crop Ecophysiol. 14: 56. 551-570. (In Persian)
12. Marro, N., Cofre, N., Grilli, G., Alvarez, C., Labuckas, D., Maestri, D. and urcelay, C. 2020. Soybean yield, protein content and oil quality in response to interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and native microbial populations from mono-and rotation-cropped soils. Appl. Soil Ecol. 152: 103575.
13. Emmanuel, O.C. and Babalola, O.O. 2020. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria. Microbiol Res. 126569.
14. Varma, A., Prasad, R. and Tuteja, N. 2018. Mycorrhiza nutrient uptake, biocontorol, ecorestoration: Springer.
15. Abdi, S. and Pirzad, A. 2018. Study of Interaction between mycorrhizal fungi and chemical phosphorous fertilizer on yield, yield components and protein of chickpea (*Cicer arietinum* L.). J. Agric. Sci. Sustain Prod. 28: 3. 243-256. (In Persian)
16. Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R. 2021. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). Field Crops Res. 262: 108035.
17. Saeidi, M., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A. and Pasban Eslam, B. 2018. Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. J. Agric. Sci Sustain Prod. 28: 4. 247-260. (In Persian)
18. Klironomos, J.N., Mouroglis, P., Kendrick, B. and Widden, P. 1993. A Comparison of spatial heterogenecity of VAM fungi in two maple-forest soil. Can. J. Bot. 71: 1472-1480.
19. Pearson, O. 1993. The cell wall structure and the industrial utilization of the oil para rubber seed in paint manufacture. Unpublished Ph.D. Thesis Department of Biochemistry, University of Nigeria, Nsukka. 82 p.
20. Zhang, G., Yang, Z. and Dong, S. 2011. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. Field Crops Res. 124: 66-73.
21. Singh, M., Singh, U.B., Ram, M., Yadav, A. and Chanotiya, C.S. 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. Ind. Crops Prod. 46: 234-237.
22. Farhadian Asgarabadi, K. and Eisvand, H.R. 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rain-fed conditions. J. Crop Prod. 10: 2. 61-73. (In Persian)
23. Alinaghipour, M., Mirzakhani, M. and Nozad Namin, K. 2019. The effect of simultaneous cropping on agronomic characteristics of spring safflower cultivars (*Cartamus tinctorius* L.) in Aran and Bidgol region. J. Crop Improv. 20: 4. 755-767. (In Persian)
24. 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 Res. 155: 245-253.

25. Gong, X., Dang, K., Liu, L., Zhao, G., Lv, S., Tian, L., Feng, Y., Jin, F., Zhao, Y. and Feng, B. 2021. Intercropping combined with nitrogen input promotes proso millet (*Panicum miliaceum* L.) growth and resource use efficiency to increase grain yield on the loess plateau of china. Agric. Water. 243: 106434.
26. Vafadar-Yengeje, L., Amini, R. and Dabbagh mohammdi Nasab, A. 2017. Yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) in intercropping with moldavian balm (*Dracocephalum moldavica*) under organic and chemical fertilizers. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 27: 4. 121-136. (In Persian)
27. Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, G. and Raei, Y. 2020. Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 30: 3. 359-378. (In Persian)
28. Rahmati, E., khalesro, S. and Heidari, G. 2020. Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). J. Agroecol. 11: 4. 1261-1273. (In Persian)
29. Shokrani, F., Jalilian, J., Pirzad, A. and Rezaei-Chiyaneh, E. 2018. Effect of phosphate solubilizing bacteria inoculation on yield's characteristics of dragon's head (*Lallemantia iberica*) and chickpea (*Cicer aritinum* L.) in monoculture and intercropping conditions. Ir. J. Dryland Agron. 6: 2. 209-228. (In Persian)
30. Moradgholi, A., Mobasser, H., Ganjali, H., Fanai, H. and Mehraban, A. 2020. The effect of interaction of chemical and biological fertilizers in different moisture regimes on the morphophysiological and grain yield of wheat. Env. Stresses Crop Sci. 13: 3. 871-887. (In Persian)
31. Baum, C., El, Tohamy, W. and Gruda, N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. Sci. Hortic. 187: 131-141.
32. Asadi, S., Rezaei-chiyaneh, E. and Amirnia, R. 2019. Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercroppung under rainfed conditions. Ir. J. Crop. Sci. 21: 1. 16-30. (In Persian)
33. Laranjeira, S., Fernandes-Silva, A., Reis, S., Torcato, C., Raimundo, F., Ferreira, L., Carnide, V. and Marques, G. 2021. Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions. Appl. Soil Ecol. 164: 103927.
34. Farhadian Asgarabadi, K. and Eisvand, H.R. 2017. Effects of mycorrhiza and superabsorbent on root morphological characteristics and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rain-fed conditions. J. Crop Prod. 10: 2. 61-73. (In Persian)
35. Shabani Zenoozagh, V., Aliasgharzad, N., Majidi, J., Baradaran, B. and Aghebati-Maleki, L. 2019. The effects of nitrogen fertilizer application on co-symbiosis of Rhizobium and Rhizophagus irregularis in clover (*Trifolium repens* L). J. Agric. Sci. Sustain Prod. 29: 2. 19-38. (In Persian)
36. Seyed sharifi, R. and seyed sharifi, R., 2020. Effects of starter nitrogen, methanol and bio fertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed lentil. J. Crops Improv. 22: 3. 445-460. (In Persian)
37. Liu, Y., Yin, X., Xiao, J., Tang, L. and Zheng, Y. 2019. Interactive influences of intercropping by nitrogen on flavonoid exudation and nodulation in faba bean. Sci. Rep. 9: 1. 1-11.
38. Nasiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mondani, F., Amirmoradi, S.H. 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. J. Clean. Prod. 106: 343-350. (In Persian)
39. Berger, F. and Gutjahr, C. 2021. Factors affecting plant responsiveness to

arbuscular mycorrhiza. Curr. Opin. Plant Biol. 59: 101994.
40. Abdel-Hafiz, M. and Hassan, A. 2019. Morph physiological traits of safflower as affected by plant densities and nitrogen fertilization. J. Prod. Dev. 24: 1. 1-14.
41. Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., Preiti, G. and Pristeri, A. 2016. Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in mediterranean environment. Field Crops Res. 196: 379-388.
42. Neugschwandtner, R. and Kaul, P.H. 2014. Sowing ratio and N fertilization affect yield and yield components ofoat and pea in intercrops. Field Crops Res. 155: 159-163.
43. Davoodian, R. and Hamzei, J. 2019. Evaluation of advantage and yield quality in rapeseed (*Brassica napus* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping under nitrogen fertilizer. J. Agric. Sci. Sustain. Prod. 29: 4. 19-36. (In Persian)
44. Ali, A.B., Altayeb, O.A., Alhadi. M. and Shuang-En, Y. 2014. Effect of different levels nitrogen and phosphorus fertilization on yield and chemical composition hybrid sunflower grown under irrigated condition. J. Agric. Environ. Sci. 1: 7. 1-7.
45. Sadati Valojai, S.T., Niknejad, Y., Fallah, H. and Barati Tari, D. 2020. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium nano-fertilizers on growth and seed of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. J. Crop Ecophysiol. 1: 57. 37-56. (In Persian)
46. Davies, M.J., Atkinson, C.J., Burns, C., Woolley, J.G., Hipps, N.A., Arroo, R.R., Dungey, N., Robinson, T., Brown, P. and Flockart, I. 2009. Enhancement of artemisinin concentration and yield in response to optimization of nitrogen and potassium supply to artemisia annua. Ann. Bot. 104: 2. 315-323.
47. Li, Y., Ma, L., Wu, P., Zhao, X., Chen, X. and Gao, X. 2020. Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) / maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. Field Crops Res. 248: 107656.
48. Seyed Sharifi, R., Lotfollah, F. and Kamari, H. 2016. Evaluation of effects of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Psedomunas* inoculation and spraying of nitrogen on fertilizer use efficiency and growth of Triticale. J. Soil Manag Sustain Prod. 5: 115-132. (In Persian)
49. Raei, Y., Sayyadi Ahmadabad, M., Ghassemi-Golezani, K. and Ghassemi, S. 2020. The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and black mustard (*Brasassica nigra* L.) intercropping. J. Agric. Sci. Sustain Prod. 30: 3. 21-40. (In Persian)
50. Jiao, N., Wang, J., Ma, C., Zhang, C., Guo, D., Zhang, F. and Jensen, E.S. 2021. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. J. Crop. In Press, Corrected Proof.
51. Liu, X., Rahman, T., Song, C., Su, B., Yang, F., Yong, T., Wu, Y., Zhang, C. and Yang, W. 2017. Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems. Field Crops Res. 200: 38-46.
52. Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Machiani, M.A., Javanmard, A., Maggi, F. and Morshedloo, M.R. 2020. Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. Sci. Hortic. 261: 108951.
53. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tufenkçi, S., Oguz, F. and Akkopru, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Field Crops Res. 122: 1. 14-24.
54. Chapagain, T. and Riseman, A. 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Field Crops Res. 166: 18-25.
55. Mahfouz, H. and Migawer, E.A. 2014. Effect of intercropping, weed control treatment and their interaction on yield

and its attributes of chickpea and canola. Egypt. J. Basic Appl. Sci. 19: 4. 84-101.

56. Zhou, T., Wang, L., Yang, H., Gao, Y., Liu, W. and Yang, W. 2019. Ameliorated light conditions increase the P uptake capability of soybean in a relay-strip intercropping system by altering root morphology and physiology in the areas with low solar radiation. Sci. Total Environ. 688: 1069-1080.
57. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hooshmand, M. and Khorramdel, S. 2020. Effect of different arrangements of intercropping for sunflower (*Helianthus annus* L.), common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) on yield and yield components. Ir. J. Field Crop Res. 18: 3. 251-266. (In Persian)
58. Raei, Y., Shariati, J. and Weisany, W. 2015. Effect of biological fertilizers on seed oil, yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) at different irrigation levels. J. Agric. Sci Sustain. Prod. 25: 1. 65-84. (In Persian)
59. Igiehon, N.O., Babalola, O.O., Cheseto, X. and Torto, B. 2021. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on yield, size distribution and fatty acid of soybean seeds grown under drought stress. Microbiol Res. 242: 126640.
60. Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A. and Rahimi, A. 2017. Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. Ir. J. Field Crop Res. 15: 1. 168-184. (In Persian)
61. 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. Turk J. Agric For. 39: 135-143.
62. 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. J. Agric. Sci Sustain Prod. 29: 4. 1-17. (In Persian)
63. Mirzashahi, K., Moayeri, M. and Nourgholipour, F. 2020. Yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to phosphorus application and its efficiency indices. Ir. J. Field Crop Res. 18: 4. 477-488. (In Persian)