Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 2, Summer 2022, p. 251-274

The Effects of Different Tillage Systems and Fertilizer Resources on the Growth, Yield Component, and Economic Efficiency of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Rainfed Conditions

A. Javanmard[1*], M. Nouri[2], A. Ostadi[3], J. Rebati[4], and M. Nouraein[1]

Received: 26-10-2020
Revised: 04-04-2021
Accepted: 12-04-2021
Available Online: 14-09-2022

How to cite this article:
Javanmard, A., Nouri, M., Ostadi, A., Rebati, J., and Nouraein, M., and Shabahang J., 2022 The effects of different tillage systems and fertilizer resources on the growth, yield component, and economic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. Journal of Agroecology 14(2):251-274.
DOI: 10.22067/agry.2021.20326.0

Introduction

Conventional tillage can reduce infiltration and hydraulic conductivity by disrupting macrospore networks and increasing bulk density, porosity, water use efficiency, and soil organic matter. Conservation tillage is one of the practices of crop residue management on the soil surface. Reduced tillage is one of the conservation systems that amount remain crop residues on the soil surface. Reduced tillage has some benefits, including higher soil organic matter, soil moisture maintenance by reducing evaporation, better penetration of water, and controlling water and soil erosion. Excessive use of chemical fertilizers caused serious environmental issues globally, such as reduction of plant diversity, instability of economic yield, increased pest, and disease damages, and intensification of soil erosion. These increasing concerns regarding the negative impacts of these systems on the environment and human health suggest that more effort is needed to develop sustainable agricultural systems. The application of vermicompost and biofertilizers is regarded as one of the promising approaches to increasing crop productivity. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is mainly cultivated as a rainfed crop, and water stress often affects both productivity and yield stability. The objective of this experiment was to evaluate the impact of different tillage systems and the application of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, yield, and economic efficiency production of *Cicer arietinum* L.

Materials and Methods

A field experiment was carried out as a split plot based on a randomized complete block design (RCBD) with 12 treatments and three replications at Firuzabad, Kermanshah, Iran, in 2019. The main factor was different tillage systems, including conventional tillage (moldboard plowing+ disking, tillage depth 25–30 cm- CT), reduced tillage (chisel plowing- tillage depth 15 cm- RT), and no-tillage (NT), and the sub factor was four different fertilization treatments (C: control, AMF: arbuscular mycorrhizal fungi (*Funneliformis mosseae*), VC: vermicompost (at 1.5 t/ha), AMF+ VC: arbuscular mycorrhizal fungi+ vermicompost). In AM fungi treatments, 80 g of the soil containing mycorrhizal fungi hyphae and the remains of the root and spores (1000 g spore.10^{-1} g soil) was added to the soil during planting times. Also, vermicompost (1.5 t ha^{-1}) was applied to the soil before planting.

1- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
2- M.Sc. Student of Agrotechnology – Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
3- Ph.D. Student of Agrotechnology – Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran.
* Corresponding author: email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

Results and Discussion

The Results demonstrated that the highest seed yield (116 $g.m^{-2}$) and protein yield (24.2 $g.m^{-2}$) was achieved in reduced tillage with the application of AMF+ VC. Also, reduced tillage increased the seed yield and protein yield by 19.6 and 17.1 %, respectively, when compared with CT. Different tillage systems and applications of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi significantly impacted the number of pods per plant, plant height, number of lateral branches per plant, number of main branches per plant, and biological yield. The highest mentioned traits were obtained in reduced tillage and with the integrative application of AMF+ VC. Moreover, the application of AMF+ VC increased the number of pods per plant, plant height, and biological yield by 37.2, 35.2 and 19.7%, respectively, in comparison to control. The highest pod total weight (155.8 $g.m^{-2}$), harvest index (40.5%), and seed protein content (21.2%) were obtained through integrative application of AMF+ VC, and the lowest these traits were reached in control. Based on the economic values, the best treatment**s** were RT+ C, CT+ C, AMF+ RT, and AMF+ CT, respectively, with the highest net income and Marginal rate of return.

Conclusions

Overall, the results of this experiment showed that there was a significant difference between tillage systems. The highest number of pods per plant, plant height, number of lateral branches per plant, number of main branches per plant, biological yield, total pod weight, seed yield, and protein yield were achieved in reduced tillage that increased by 26.4, 16.8, 27.4, 28.6, 10.9 19.6 and 17.1 %, respectively when compared with conventional tillage. Also, integrative application of AMF+ VC increased harvest index, 100 seed weight, biological yield, seed yield, and seed protein content by 16.7, 21.1, 19.7, 40.1, and 21.8%, respectively, when compared with control. The highest values of the seed yield and protein yield were obtained in reduced tillage with the integrative application of AMF+ VC. In contrast, based on the economic values, the maximum marginal rate of return was achieved in reduced tillage without fertilizer, conventional tillage without fertilizer, reduced tillage+ AMF, and conventional tillage+ AMF, respectively.

Keywords: Bio-fertilizer, Seed protein, Seed yield, Reduced tillage, Sustainable agriculture**.**

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی بر صفات رشدی، عملکرد و بازده اقتصادی نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم

عبدالله جوانمرد [1*]، مسلم نوری[2]، علی استادی[3]، جواد رباطی[4] و مجتبی نورآئین[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۲۳

جوانمرد، ع.، نوری، م.، استادی، ع.، رباطی، ج.، و نورآئین، م.، ۱۴۰۱. اثر سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی بر صفات رشدی، عملکرد و بازده اقتصادی نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۲): ۲۷۴-۲۵۱.

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی بر صفات رشدی، عملکرد و بازده اقتصادی نخود، آزمایشی در منطقه سرفیروزآباد کرمانشاه در سال ۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی سیستم‌های مختلف خاکورزی شامل: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار به‌عمق ۳۰ سانتی‌متر+ دیسک‌زنی به‌عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر)، شخم کاهشی (شخم چیزل به‌عمق ۱۵ سانتی‌متر) و بدون شخم و عامل فرعی تیمارهای مختلف کودی شامل: عدم مصرف کود (شاهد)، قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*)، ورمی‌کمپوست (۱/۵ تن در هکتار) و کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + ورمی‌کمپوست بود. صفات مورد مطالعه شامل وزن خشک علف‌های هرز، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و جانبی در بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن کل غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین بودند. نتایج نشان داد، اثر سیستم‌های خاکورزی بر وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین وزن خشک علف‌های هرز به‌ترتیب در سیستم خاکورزی بدون شخم (۵۹/۴ گرم در مترمربع) و مرسوم (۳۰/۷ گرم در مترمربع) به‌دست آمد. همچنین اثر سیستم‌های خاکورزی و کود بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و جانبی، تعداد غلاف در بوته و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها بر این صفات معنی‌دار نشد. بیشترین میزان صفات مذکور در سیستم شخم کاهشی و با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا به‌دست آمد. همچنین وزن کل غلاف، شاخص برداشت و درصد پروتئین فقط تحت تأثیر معنی‌دار اثر کود قرار گرفتند. بیشترین میزان وزن کل غلاف (۱۵۵/۸ گرم در مترمربع)، شاخص برداشت (۴۰/۵ درصد) و درصد پروتئین (۲۱/۲ درصد) با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا به‌دست آمد. اثر متقابل خاکورزی × کود اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه و عملکرد پروتئین داشت. بیشترین عملکرد دانه (۱۱۶ گرم در مترمربع) و عملکرد پروتئین دانه (۲۴/۲ گرم در مترمربع) در شخم کاهشی و با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا به‌دست آمد. شخم کاهشی، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین را به‌ترتیب ۱۹/۶ و ۱۷/۱ در صد نسبت به شخم مرسوم افزایش داد. همچنین کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه داشت، به‌طوری‌که شاخص برداشت، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته را به‌ترتیب ۱۶/۷، ۲۱/۱، ۱۹/۷ و ۳۵/۲ در صد نسبت به عدم مصرف کود افزایش داد. در نهایت، با توجه به این که به ترتیب تیمارهای شخم چیزل و شخم مرسوم بدون مصرف کود، شخم چیزل و شخم مرسوم با مصرف میکوریزا از نرخ بازده اقتصادی بالاتری برخوردار بودند، لذا می‌توان در کشت نخود دیم و در منطقه سرفیروزآباد کرمانشاه از این تیمارها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، شخم کاهشی، عملکرد دانه، کشاورزی پایدار، کود زیستی

۱- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۳- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: a.javanmard@maragheh.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20326.0

مقدمه

تولید مطلوب در کشت دیم به‌طور مستقیم به میزان بارندگی و ذخیره رطوبت در خاک بستگی دارد. سیستم‌های خاکورزی به‌طور مستقیم بر ذخیره رطوبتی خاک و خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارند. بنابراین، انتخاب سیستم مناسب خاکورزی عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در مناطق دیم ایران می‌باشد، بنابراین کشاورزان با حفظ بقایای گیاهی و انجام خاکورزی مناسب، علاوه‌بر کنترل فرسایش و حفظ رطوبت خاک می‌توانند به عملکرد مطلوبی هم برسند (Hemmat & Eskandari, 2004). شخم مرسوم، از طریق تخریب خلل و فرج درشت، کاهش تخلخل، افزایش تراکم توده خاک و ذخیره کمتر مواد آلی خاک، نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک را کاهش می‌دهد. بنابراین، برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌توان خاکورزی حفاظتی را جایگزین خاکورزی مرسوم کرد تا با کاهش تراکم خاک نفوذپذیری خاک افزایش پیدا کند (Bagnall et al., 2020; Triplett & Dick, 2008). خاکورزی حفاظتی یکی از روش‌های مدیریت بقایای گیاهی روی سطح خاک می‌باشد. این سیستم پاسخی به مدیریت پایدار زمین، حفاظت از محیط زیست، سازگاری و کاهش اثر تغییرات آب و هوایی می‌باشد. در این روش کمترین دستکاری در خاک شده که حفظ پوشش دائمی خاک و تنوع‌بخشی به گونه‌های گیاهی را باعث می‌شود. همچنین، این نوع خاکورزی تنوع زیستی و فرآیندهای بیولوژیکی سطح و زیر زمین را افزایش داده که منجر به افزایش بهره‌وری استفاده از آب، مواد غذایی و بهبود تولید پایدار محصولات کشاورزی می شود (FAO, 2017). شخم کاهشی یکی از سیستم‌های خاکورزی حفاظتی می‌با شد که در آن مقداری از بقایای محصول روی سطح خاک باقی می‌ماند (Issaka et al., 2019). مزایای شخم کاهشی نسبت به شخم مرسوم همیشه مشهود نیست. زیرا اثرات سیستم‌های خاکورزی حفاظتی تا حدودی زیادی به خصوصیات اقلیمی، خاکی، توپوگرافی، سیستم زراعی و عملیات مدیریتی بستگی دارد و باید به‌صورت موردی مطالعه گردد (Giller et al., 2009; Kasper et al., 2009). در تحقیقی با برر سی روش‌های مختلف خاکورزی در گندم (*Triticum aestivum* L.)، افزایش میزان کربن آلی خاک در سیستم های خاکورزی حداقل و بدون خاکورزی نسبت به خاکورزی مرسوم گزارش شده است (Rahimzadeh & Navid, 2011). در پژوهشی دیگر، با بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم مشاهده شد که عملکرد دانه در کشت با گاوآهن قلمی به‌دلیل افزایش رطوبت خاک و بهبود خواص فیزیکی خاک در مقایسه با سایر روش‌های خاکورزی (شخم با گاوآهن برگردان‌دار) دارای بیشترین مقدار بود، همچنین استفاده از گاوآهن قلمی منجر به افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله گردید (Mohammadi et al., 2009). عملکرد در خاکورزی حفاظتی می‌تواند برابر یا حتی بهتر از خاکورزی متداول باشد (Schillinger et al., 2010). در پژوهشی با برر سی روش‌های مختلف خاکورزی روی نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب در سیستم شخم کاهش یافته (شخم چیزل) و بدون شخم به‌دست آمد (Khanpaye & Jalilian, 2014). همچنین، نتایج پژوهشی نشان داد که عملکرد وش، طول شاخه رویا، تعداد شاخه رویا و زایا، ارتفاع بوته و تعداد قوزه پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) در سیستم‌های خاکورزی حفاظتی (چیزل و دیسک) بیشتر از خاکورزی مرسوم و بدون شخم بود (Ghaderi-Far et al., 2011). در پژوهشی، خاکورزی کاهشی در مقایسه با خاکورزی مرسوم به‌ترتیب منجر به افزایش نه و چهار درصدی عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود گردید (Chaghazardi et al., 2016). در مطالعه‌ای که به‌منظور دستیابی به روش خاکورزی مناسب برای زراعت نخود دیم انجام شد، مشخص گردید که استفاده از خاکورزی مناسب (گاوآهن قلمی در پاییز + خاک همزن و یا هرس بشقابی قبل از کا شت) توانست عملکرد دانه را در مقایسه با روش سنتی ۴۵ در صد افزایش دهد (Rahimzadeh et al., 2009). همچنین در برر سی اثر سیستم‌های مختلف خاکورزی و حفظ بقایا بر خصوصیات کمّی، کیفی و شاخص‌های رشدی نخود، مشاهده شد که تیمارهای مختلف خاکورزی و بقایا تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیولوژیک ندا شتند، امّا با کاهش شدت خاکورزی، عملکرد دانه و بیولوژیک با یک روند صعودی افزایش یافتند و بیشترین میزان عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمار یک تن کود دامی در سیستم عدم خاکورزی به‌دست آمد (Garshasbi Tahneh, 2018).

با توجه به محدودیت سطح زیرکشت و کمبود منابع آبی در جهان،

متأسفانه مصرف کودهای شیمیایی در طی انقلاب سبز و بعد از آن به‌عنوان تنها راهکار افزایش تولید در واحد سطح در نظر گرفته شده است. به‌طوری‌که تخمین زده شده که حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد نیتروژن، ۸۰ تا ۹۰ درصد فسفر و ۵۰ تا ۹۰ درصد پتاسیم مصرفی در محیط تلف شده و در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرند (Solanki et al., 2015). بنابراین، با توجه به کارآیی پایین کودهای شیمیایی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد آن‌ها و به‌منظور اطمینان از پایداری اکوسیستم‌های زراعی، ضروری است استفاده از کودهای آلی و زیستی با کارآیی بالا توسعه پیدا کنند.

ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی است که در نتیجه فعالیت گونه‌ای از کرم‌های خاکی روی ضایعات شهری، صنعتی و کشاورزی تولید می‌شوند. ورمی‌کمپوست غنی از مواد شبه هورمونی و ویتامین‌ها بوده و عصاره آن به‌عنوان یک آفت‌کش قوی زیستی مطرح است که باعث افزایش جامعه میکروبی خاک، کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های محیطی و نگهداری عناصر غذایی برای دوره‌ای طولانی بدون اثرات منفی بر محیط می‌گردد. ورمی‌کمپوست از خلل فرج زیاد، ظرفیت بالای تهویه، زهکشی مناسب و ظرفیت نگهداری آب بالایی برخوردار است (Padmavathiamma et al., 2008). در مطالعه‌ای پس از بررسی توأم ورمی‌کمپوست و سوپرجاذب بر عملکرد کمّی و کیفی لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت شرایط تنش خشکی گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۲۰۷/۳ گرم در مترمربع از تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به‌دست آمد (Davodi et al., 2020). در پژوهشی دیگر، کاربرد ۲/۵ درصد وزنی ورمی‌کمپوست میانگین وزن تر و خشک آفتابگردان (*Helianthus annuss* L.) را افزایش داد (Heyderianpour et al., 2014). در مطالعه‌ای با بررسی اثر کودهای ورمی‌کمپوست، نیتروژن و فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم نخود تحت خشکی، کاربرد ورمی‌کمپوست به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۲/۷، ۳۶/۷، ۲۵/۴ و ۸/۸ درصدی تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نسبت به شاهد گردید (Kahrizy & Sepehri, 2018). در پژوهش دیگری هم روی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)، کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش ۴۲، ۵۱/۳، ۲۷/۳ و ۶۱/۵ درصدی وزن خشک، ارتفاع بوته، تعداد برگ و وزن خشک ریشه نسبت به شاهد گردید (Valdez-Perez et al., 2011).

قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار هم یکی از عوامل بیولوژیک خاک‌های زراعی می‌باشند که به‌دلیل 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 (Willmann et al., 2013). قارچ میکوریزا مقاومت گیاه در برابر تعدادی از تنش های زیستی و غیرزیستی از قبیل خشکی، کمبود مواد غذایی و شوری را بهبود می بخشد. استفاده از قارچ میکوریزا به‌طور قابل توجهی استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای معدنی را محدود کرده که با استراتژی‌های کشاورزی پایدار مطابقت دارد (Lenoir et al,. 2016). در پژوهشی با کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*)، کودهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و گرانوله گوگردی در گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که کاربرد قارچ میکوریزا چه به‌صورت مجزا و چه به‌صورت تلفیقی با سایر کودها منجر به افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید (Rezvani Moghaddam et al., 2016). همچنین کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) روی نخود به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۱/۲۶ و ۱۳/۱۹ درصدی عملکرد و پروتئین دانه نسبت شاهد گردید (Nakhzari Moghaddam & Gholami, 2017). در پژوهشی با کاربرد باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium Legominosarrum* Biovar *Phaseoli*) و قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) روی لوبیای قرمز تحت تنش کم آبی مشاهده شد که قارچ میکوریزا به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۶، ۲/۹ و ۳۳/۳ درصدی تعداد غلاف در بوته، وزن صد و عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید (Abbasi Seyahjani et al., 2019). علاوه براین، کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا (*Rhizophagus irregularis* BEG140) و باکتری ریزوبیوم (*Mesorhizobium mediterraneum*) منجر به افزایش ۲۲ درصدی پروتئین خام دانه نخود نسبت به شاهد گردید (Oliveira et al., 2017).

حبوبات یکی از مهم‌ترین منابع گیاهی غنی از پروتئین و دومین منبع مهم غذایی انسان به‌شمار رفته و نقش بسیار مهمی همراه با غلات در تغذیه انسان دارند. در بین حبوبات، نخود به‌دلیل قابلیت رشد در شرایط نامناسب از نظر حاصلخیزی و رطوبت به جزء مهمی از نظام‌های زراعی در شبه قاره هند، غرب آسیا و شمال آفریقا تبدیل شده است. نخود گیاهی است که عمدتاً به‌صورت دیم کشت می‌شود و

تنش آبی اغلب روی بهره‌وری و ثبات عملکرد آن تأثیرگذار است. سطح زیر کشت این گیاه در سال ۱۳۹۷ در کشور ۵۵۳ هزار هکتار برآورد شده که معادل ۳/۹ درصد از کل سطح زیرکشت گیاهان زراعی و حدود ۷۹/۶۲ درصد از کل سطح برداشت حبوبات است و در این میان، سهم اراضی دیم نخود ۹۸ درصد و میزان عملکرد نخود در شرایط دیم کشور ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (Sabaghpour et al., 2019). خصوصیاتی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی باعث شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفا کند.

با توجه به این که نظام‌های خاکورزی حفاظتی در حال گسترش می‌باشند و از آن جایی که ارزیابی اقتصادی این سیستم‌ها و ترویج سیستم‌های حفاظتی، نیاز به ارزیابی‌های جامعی دارد، لذا این سوال مطرح است که کدام سیستم برای دستیابی به عملکرد مطلوب مؤثر می‌باشد. از طرفی، به‌دلیل کم بودن کارایی جذب کودهای شیمیایی و تأثیرات منفی درازمدت آن‌ها و نیاز جامعه به مواد غذایی سالم و عاری از مواد شیمیایی، یافتن راهکارهایی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار مد نظر می‌باشد. بدین منظور، آزمایشی با هدف ارزیابی اقتصادی، عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم در سیستم‌های مختلف خاکورزی و با کاربرد منابع مختلف کودی در منطقه سرفیروزآباد کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در منطقه سرفیروزآباد استان کرمانشاه با مختصات عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی سیستم‌های مختلف خاکورزی شامل: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار به‌عمق ۳۰ سانتی‌متر + دیسک‌زنی به‌عمق ۲۰-۱۵ سانتی‌متر)، شخم کاهشی (شخم چیزل به‌عمق ۱۵ سانتی‌متر) و بدون شخم و عامل فرعی تیمارهای مختلف کودی شامل: عدم مصرف کود (شاهد)، قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*)، ورمی‌کمپوست (۱/۵ تن در هکتار) و کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا + ورمی‌کمپوست بود. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Results of physical and chemical analysis of the experiment soil

بافت Texture	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی Organic C (%)	پتاسیم تبادلی Exchangeable K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)
لومی رسی clay loam	1.7	10	1.81	14.7	1. 08	390	8	0.108

در تیمار خاکورزی مرسوم عمق شخم با گاوآهن برگردان‌دار ۳۰ سانتی‌متر بود و از دیسک سبک به‌عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. در تیمار بدون خاکورزی، در زمینی که قبل از کاشت هیچ‌گونه عملیات خاکورزی صورت نگرفته بود، کشت به صورت دستی انجام شد. در تیمار شخم کاهشی از شخم چیزل به‌عمق ۱۵ سانتی‌متر استفاده گردید. بذر نخود مورد استفاده رقم محلی کرمانشاه بود که با فواصل بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع درکرت هایی به ابعاد ۲/۵×۴ و در تاریخ پنجم فروردین ماه ۱۳۹۸ کشت گردید. در زمان کاشت ابتدا بذرها را با محلول قند و سپس با باکتری *Mesorhizobium ciceri* با جمعیت تقریبی 10^8 سلول باکتری در هر میلی‌لیتر (تهیه شده از شرکت فن‌آوری زیستی مهر آسیا، تهران) آغشته شدند. طبق توصیه شرکت سازنده، میزان مصرف *مزوریزوبیوم*، یک کیلوگرم در هکتار به‌ازای ۷۰ تا ۸۰ کیلوگرم بذر نخود بود. یک ماه قبل از کاشت و براساس نوع تیمار، ورمی‌کمپوست به‌میزان ۱/۵ تن در هکتار با خاک مخلوط گردید. قارچ میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) مورد استفاده در این تحقیق از شرکت زیست فن‌آور پیشتاز واریان کرج تهیه شد. قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت به‌مقدار ۸۰ گرم در هر ردیف کاشت استفاده شد. ورمی‌کمپوست

به کار رفته در این آزمایش نیز از شـــرکت تولیدی گل و گیاه پیام کرمانشـاه که با اسـتفاده از کود دامی، برگ چغندر و دیگر مواد آلی و گونه‌ای کرم خاکی به‌نام *Eisenia foetida* به‌دست آمده بود، تهیه گردید. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست استفاده شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of the vermicompost fertilizer used

نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (µmhos.cm^{-1})	کربن آلی Organic C (%)	مس Cu (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	آهن Fe (mg.kg^{-1})	مولیبدن Mo (mg.kg^{-1})
1.22	0.50	0.34	6.5	1.64	16.4	78.5	107	6875	180

در هر کرت قبل از وجین، با نمونه‌برداری از دو نقطه به‌مســـاحت یک مترمربع به‌صورت تصادفی، وزن خشک علف‌های هرز تعیین شد و تا زمان برداشـــت، علف‌های هرز هر کرت (براســـاس زمان وجین) به‌صـورت دسـتی وجین شـد. در مرحله رسـیدگی، ۱۰ بوته به‌صـورت تصادفی از ردیف‌های میانی کرت‌های آزمایشی انتخاب و کف‌بر شدند و صـفات ارتفاع بوته، تعداد شـاخه جانبی، تعداد شـاخه اصـلی، تعداد غلاف در بو ته، وزن کل غلاف و وزن ۱۰۰ دا نه مورد ارز یابی قرار گرفتند. برای تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در هر کرت، بعد از حذف اثرات حا شیه، بردا شت از خطوط و سط در مساحتی معادل دو مترمربع صورت گرفت. علاوه‌براین، شاخص بردا شت طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Jensen et al., 2020):

معادله ۱ = شاخص برداشت (درصد)

۱۰۰ × (عملکرد بیولوژیک/ عملکرد دانه)

همچنین میزان نیتروژن دانه نخود به‌روش کجلدال[1] اندازه‌گیری، و درصـد و عملکرد پروتئین نیز با اسـتفاده از معادله‌های زیر محاسـبه گردید (Nelson & Sommers, 1972):

معادله ۲ درصد پروتئین خام[2] (درصد) = درصد نیتروژن × ۵/۷

معادله ۳ عملکرد پروتئین =عملکرد دانه × درصد پروتئین

همچنین به‌منظور انجام بررسـی اقتصـادی نتایج آزمایش از روش بودجه‌بندی جزئی و تحلیل نهایی ا ستفاده شد (CIMMYT, 1988). در این روش، ابتدا هزینه‌ها و درآمدهای تیمارهای مختلف محاســـبه شد. سپس منافع خالص، از تفا ضل کل ارزش عملکرد و هزینه‌هایی که تیمارها در آن با هم اختلاف دارند، به‌دســـت آمد. در مرحله ســـوم، کل تیمارها براســـاس هزینه‌ها از کم به زیاد مرتب، ســـپس معادله ۱ برای همه تیمارها محاسبه شد:

معادله ۴ $$MGB_{ba} = \frac{GB_a - GB_b}{C_b - C_a}$$

در این معادله، a و b: تیمارهایی هســـتند که باید با هم مقایســـه شوند، GB[3]: منافع ناخالص تیمار ا ست که از حا صل ضرب تولید در هکتار و قیمت محصول محاسبه می‌شوند، C_b و C_a: هزینه تیمارهای a و b و MGB_{ba}[4]: منافع ناخالص نهایی تیمار b نسبت به a و بیانگر افزایش درآمد کل به‌ازای یک واحد افزایش در هزینه اســـت. بنابراین، اگر میزان منافع ناخالص نهایی کمتر از یک شود، تیمار b رد می‌شود. پس از حذف تیمارهای مردود شـــده از جدول، انجام مقایســـات و محاســـبات مجدداً با تیمارهای باقی‌مانده انجام می‌شـــود. این کار تا بزرگ‌تر از یک شـــدن منافع خالص کلیه تیمارهای باقی‌مانده ادامه می‌یابد تا با اســـتفاده از معیار نرخ بازده، انتخاب نهایی صـــورت گیرد. جهت محاســـبه نرخ بازده نهایی ابتدا منافع خالص نهایی[5] طبق معادله ۵ محاسبه می‌شود:

معادله ۵ $$MNB_{ba} = NB_b - NB_a$$

در این معادله، MNB_{ba}: بیانگر منافع خالص نهایی تیمار b نسبت به a بوده و ن شان‌دهنده افزایش منافع خالص نا شی از اجرای تیمار b به‌جای تیمار a اســـت. نرخ بازده نهایی[6] یک تیمار که بیانگر درصـــد منافع خالص یک تیمار در قبال مازاد هزینه اجرای آن نسـبت به تیمار دیگر است (بازده خالص سرمایه‌گذاری)، نیز از معادله ۶ محاسبه شد:

معادله ۶ $$MRR_b = \frac{MNB_a}{C_b - C_a} \times 100$$

1- Kjeldhal method
2- Crude protein (CP)
3- Gross benefit (GB)
4- Marginal gross of benefit (MGB)
5- Marginal net of benefit (MNB)
6- Marginal rate of return (MRR)

پس از جمع‌آوری داده ها و بعد از اطمینان از نرمال بودن آن ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. جهت انجام مقایسه میانگین ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) استفاده شده و نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

وزن خشک علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سیستم‌های خاکورزی بر وزن خشک علف‌های هرز در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار بود، ولی اثر کود و اثر متقابل کود و سیستم‌های خاکورزی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین وزن خشک علف‌های هرز به سیستم خاکورزی بدون شخم (۵۹/۴ گرم در مترمربع) مربوط بود. علاوه‌براین، کمترین میزان صفت ذکر شده در شخم مرسوم (۳۰/۷ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (جدول ۴). سیستم خاکورزی بدون شخم در مقایسه با سیستم خاکورزی حداقل و مرسوم به‌ترتیب منجر به افزایش ۳۲/۸ و ۹۳/۴ درصدی وزن خشک علف‌های هرز شد (جدول ۴). بر اساس نتایج این آزمایش، ارتفاع گیاه نخود در سیستم‌های خاکورزی کاهشی و مرسوم نسبت به سیستم بدون شخم بیشتر بود و این موضوع موجب کاهش وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مورد اشاره شد (جدول ۴). در سیستم بدون شخم به‌دلیل ارتفاع کمتر گیاه نخود، توانایی رقابتی علف های هرز بیشتر بوده که این امر می‌تواند تهدیدی برای تولید این محصول باشد (Armengot et al., 2016). در مطالعه دیگر، با بررسی روش‌های مختلف خاکورزی و ساختار هجوم علف‌های هرز روی گندم زمستانه گزارش شد که بیشترین و کمترین میزان وزن خشک علف‌های هرز به‌ترتیب در سیستم شخم کاهشی و شخم مرسوم به‌دست آمد (Woźniak, 2018).

در پژوهشی جوانه‌زنی، هجوم و زیست‌توده علف هرز در سیستم بدون شخم دارای بقایای گیاهی سال قبل نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم دارای بقایای گیاهی سال قبل بیشتر شد (Pekrun & Claupein, 2006). نتایج پژوهش حاضر با نتایج حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2016) و پاناسیویچ و همکاران (Panasiewicz et al., 2020) هم‌خوانی دارد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سیستم‌های خاکورزی و مصرف کود بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و کود بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته (۴۳/۸ سانتی‌متر) در سیستم شخم کاهشی (شخم چیزل) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سیستم شخم مرسوم نداشت. همچنین کمترین ارتفاع بوته (۳۷/۵ سانتی‌متر) مربوط به سیستم بدون شخم بود (جدول ۴). سیستم خاکورزی کاهشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۶/۸ و ۷۷/۳ درصدی ارتفاع بوته نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم و بدون شخم گردید (جدول ۴). دلیل کم بودن ارتفاع در تیمار بدون شخم را می‌توان به گرم شدن دیرهنگام خاک در ابتدای فصل به‌دلیل وجود بقایا و به دنبال آن کوتاه‌تر شدن دوره رشد گیاهان موجود در تیمار بدون خاکورزی نسبت داد (López et al., 2000). نتایج پژوهش حاضر با نتایج خوان‌پایه و جلیلیان (Khanpaye & Jalilian, 2014) هم‌خوانی دارد. بیشترین میزان ارتفاع بوته با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم مصرف کود ۳۵/۲ درصد افزایش یافت (جدول ۵). کود ورمی‌کمپوست دارای اسید هیومیک، اسید فولیک و دیگر اسیدهای آلی است که توسط ریزجانداران تولید شده و موجب تحریک رشد گیاه می شود (Hosseinzadeh et al., 2017). دلیل افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا احتمالاً به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر و آمونیوم نسبت داده می‌شود که در نهایت، منجر به بهبود صفات رشدی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخه و برگ می شود (Baum et al., 2015). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق تولید هورمون به‌ویژه اکسین باعث افزایش رشد و متعاقب آن ارتفاع گیاه نخود شد (Amiri et al., 2017). در پژوهشی کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش ارتفاع بوته و تعداد دانه در بلال ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) شد (Mobasser et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر با بررسی تأثیر قارچ میکوریزا و کود زیستی فسفات بارور ۲ روی لوبیا قرمز تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که قارچ میکوریزا به‌ترتیب منجر به افزایش ۹/۷، ۱۱/۱ و ۳۲/۱ درصدی ارتفاع بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (Tanhaei et al., 2018).

تعداد شاخه جانبی و اصلی در بوته

اثر سیستم‌های خاکورزی و مصرف کود بر تعداد شاخه جانبی و

اصلی نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و کود بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین تعداد شاخه جانبی (۲۳/۷ شاخه جانبی در بوته) و اصلی (۳/۶ شاخه اصلی در بوته) در سیستم شخم کاهشی (شخم چیزل) و کمترین میزان آن‌ها در سیستم بدون شخم به‌دست آمد (جدول ۴). سیستم خاکورزی کاهشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۷/۴ و ۲۸/۶ درصدی تعداد شاخه جانبی و اصلی نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در سیستم‌های شخم کاهشی به‌دلیل تراکم پایین علف‌های هرز و عقب افتادن زمان سبز شدن علف‌های هرز در اثر یک دوره حذف آن‌ها (وجین)، گیاه زراعی فرصت نمو و توسعه شاخه‌های جانبی و اصلی را می‌یابد (Sardar et al., 2015). نتایج پژوهش حاضر با نتایج هودیانی و همکاران (Hodiani et al., 2016) هم‌خوانی دارد. بیشترین تعداد شاخه جانبی و اصلی با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم مصرف به‌ترتیب ۵۱ و ۳۲ درصد افزایش یافتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا احتمالاً منجر به تولید مواد تحریک‌کننده رشد، افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند جیبرلین (تأثیر در رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میانگره‌های ساقه)، اکسین و سیتوکینین (تأثیر در تقسیم سلولی)، افزایش فعالیت ریزجانداران در خاک و افزایش فعالیت سلولی در نقاط رشدی شده است (Gutierrez-Manero et al., 2001; Anwar et al., 2005). در پژوهشی با کاربرد قارچ میکوریزا و کود زیستی بیوفسفر گزارش کردند که کاربرد قارچ *Glomus interradices* تعداد شاخه جانبی را در زیره سیاه (*Cuminum cyminum* L.) افزایش داد (Haghir Ebrahimabadi et al., 2018). در پژوهشی دیگر، کاربرد کود ورمی‌کمپوست منجر به افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاه نخود شد (Hosseinzadeh et al., 2017)

تعداد غلاف در بوته

اثر سیستم‌های خاکورزی در سطح احتمال پنج درصد و اثر کود در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غلاف در بوته نخود معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و کود بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته (۴۴/۵ غلاف در بوته) در سیستم شخم کاهشی (شخم چیزل) به‌دست آمد (جدول ۴). سیستم خاکورزی کاهشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۸/۷ و ۵۵/۶ درصدی تعداد غلاف در بوته نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم و بدون شخم گردید (جدول ۴). تعداد غلاف در بوته به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد نخود محسوب می‌شود و تغییرات آن با عملکرد دانه همبستگی بالایی دارد. استفاده از سیستم خاکورزی حفاظتی علاوه‌بر حفظ رطوبت در مناطق نیمه خشک، از فرسایش آبی و بادی نیز جلوگیری کرده و به‌واسطه حفظ رطوبت در خاک، عملکرد نیز افزایش می‌یابد (Triplett & Dick, 2008). نتایج پژوهشی که به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی بر عملکرد ارقام پاییزه نخود انجام شد، نشان داد در خاکورزی حداقل، اجزای عملکرد نظیر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و وزن هزاردانه به بالاترین مقدار خود در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم و بدون خاکورزی رسید (Kiani et al., 2017). بیشترین تعداد غلاف در بوته با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم مصرف کود ۳۷/۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا با بهبود عرضه عناصر غذایی، زمینه رشد بیشتر اندام‌های فتوسنتزکننده را باعث می‌گردد و موجب انتقال بیشتر مواد غذایی به بخش‌های زایشی گیاه در مرحله پر شدن دانه می‌شود (Momeni Fili et al., 2014; Mohammadi et al., 2014). نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست تعداد غلاف در بوته نخود را ۵۶/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Hosseinzadeh et al., 2017). در پژوهشی دیگر، کاربرد قارچ میکوریزا موجب افزایش تعداد غلاف در بوته نخود گردید (Akhtar & Siddiqui, 2008). در مطالعه‌ای دیگر که به‌منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی روی سویا (*Glycine max* L.) تحت شرایط تنش کم آبی انجام شد، مشخص گردید که کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۴/۴ و ۴۰ درصدی تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (Jahangiri Nia et al., 2016).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد پروتئین نخود تحت سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی

Table 3– ANOVA analysis (mean of squares) of some morphological and physiological traits, yield, yield components, protein content and protein yield of *Cicer arietinum* L. under different tillage systems and fertilizer resources

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches per plant	تعداد شاخه اصلی در بوته Number of main branches per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	وزن کل غلاف Pods total weight	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
تکرار Replication	2	140.3	0.9	40.3	0.7	336.9	39947.03	96.8	764.8	267.8	119.8	4.8	19.8
خاکورزی Tillage (T)	2	2485.2 **	1139.2 **	337.9 **	6.3 **	765.7 *	18471.7 ns	488.4 *	5115.9 *	24343.5 *	67.5 ns	0.5 ns	189.2 *
خطای a Error a	4	67.2	59.7	15.1	0.1	43.6	2838.9	39.2	368.2	2651.8	80.9	1.6	11.4
کود Fertilizer (F)	3	30.4 ns	215.3 **	94.2 **	1.1 **	237.1 **	1708.2 **	81.1 **	1012.7 **	1917.6 **	62.9 **	23.3 **	88.02 **
کود×خاکورزی T*F	6	3.3 ns	5.2 ns	1.7 ns	0.05 ns	4.3 ns	180.8 ns	2.03 ns	161.4 **	105.4 ns	27.5 ns	0.1 ns	8.1 **
خطای b Error b	18	11.03	6.4	2.8	0.03	6.1	78.9	1.3	14.9	205.1	11.2	0.4	1.2
ضریب تغییرات CV (%)		7.4	7.2	9.1	6.3	6.9	6.5	3.3	5.5	7.6	6.3	3.2	8.03

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

*, ** and ns: Significant at 5 and 1% levels of probability and non-significant.

جدول ٤- مقایسه میانگین وزن خشک علف‌های هرز، برخی صفات مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد و عملکرد پروتئین نخود تحت سیستم‌های مختلف خاکورزی

Table 4- Mean comparisons of weeds dry weight, some morphological traits, yield, yield components and protein yield of *Cicer arietinum* L. under different tillage systems

تیمارها Treatments	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight ($g.m^{-2}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches per plant	تعداد شاخه اصلی در بوته Number of main branches per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد پروتئین Protein yield ($g.m^{-2}$)
خاکورزی مرسوم Conventional tillage (CT)	30.7	37.5	18.6	2.8	35.2	28.1	73.8	203	14.6
خاکورزی حداقل Minimum tillage (MT)	44.7	43.8	23.7	3.6	44.5	36.8	88.3	225.2	17.1
بدون خاکورزی No tillage (NT)	59.4	24.7	13.1	2.2	28.6	40.5	47.6	138.5	9.3
LSD (0.05)	9.3	8.8	4.4	0.4	7.5	7.1	21.8	58.4	3.8

مقایسه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است و میانگین‌ها دو به دو با شاهد مقایسه می‌شوند. تفاوت‌هایی که بیشتر از مقدار LSD ذکر شده باشند معنی‌دار هستند.

The comparison was based on the LSD test at the probability level of 0.05% and the means compared two by two with the control. Differences that greater than the mentioned LSD value are significant.

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک، عملکرد، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد پروتئین نخود تحت منابع مختلف کودی

Table 5- Means comparison of some morphological traits, yield, yield components, content and protein yield of *Cicer arietinum* L. under different fertilizer resources

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches per plant	تعداد شاخه اصلی در بوته Number of main branches per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	وزن کل غلاف Pod total weight ($g.m^{-2}$)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	درصد پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield ($g.m^{-2}$)
شاهد Control	30.9	14.9	2.5	30.96	123	32.1	60.6	172.8	34.7	17.4	10.4
میکوریزا Mycorrhiza	36.4	19.3	3.02	37.6	137.3	36.1	69.2	193.1	36.1	19.3	13.3
ورمی‌کمپوست Vermicompost	32.2	17.1	2.7	33.1	132.4	33.4	64.9	182.8	35.3	20.1	13
میکوریزا+ ورمی‌کمپوست Mycorrhiza+ Vermicompost	41.8	22.5	3.3	42.5	155.8	38.9	84.9	206.9	40.5	21.2	17.9
LSD (0.05)	2.5	1.7	0.2	2.5	8.8	1.1	3.8	14.2	2.3	0.6	1.1

مقایسه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است و میانگین‌ها دو به دو با شاهد مقایسه می‌شوند. تفاوت‌هایی که بیشتر از مقدار LSD ذکر شده باشند معنی‌دار هستند.

The comparison was based on the LSD test at the probability level of 0.05% and the means compared two by two with the control. Differences that greater than the mentioned LSD value are significant.

وزن کل غلاف

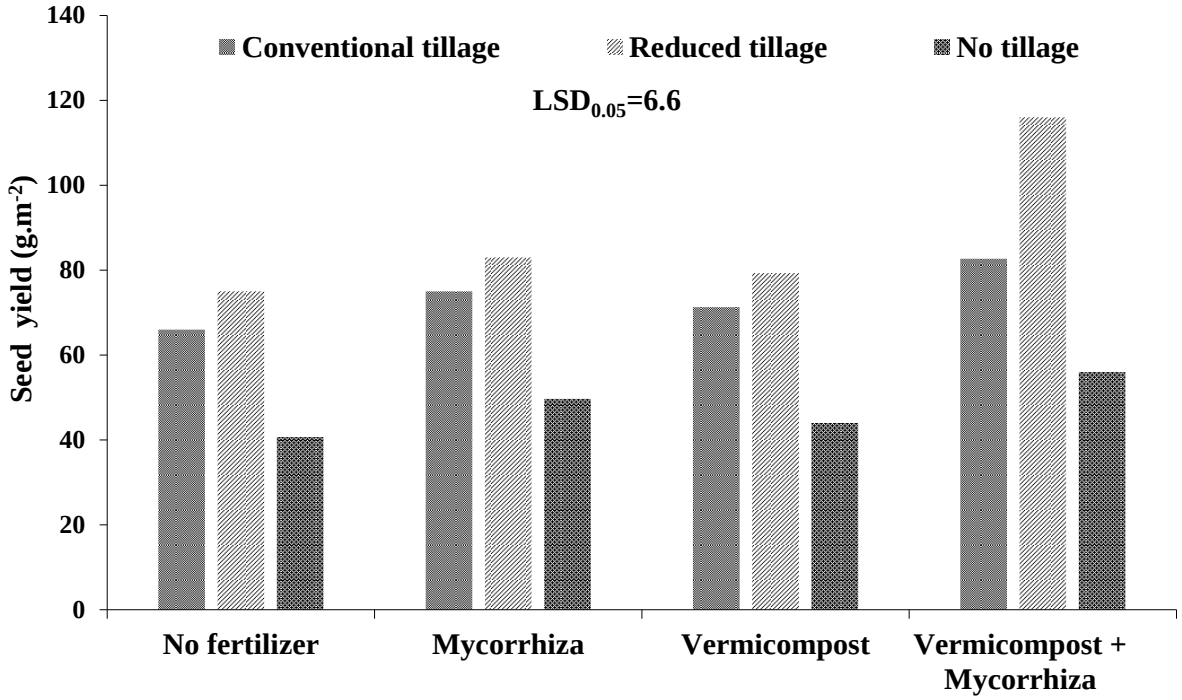
نتایج تجزیه واریانس نشـان داد که اثر کود بر وزن کل غلاف در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار بود، ولی اثر خاکورزی و اثر متقابل سیسـتم‌های خاکورزی و کود بر این صـفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشـــترین وزن کل غلاف (۱۵۵/۸ گرم در مترمربع) با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم مصرف کود ۲۶/۷ درصـــد افزایش یـافـت (جـدول ۵). کـاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوسـت و قارچ میکوریزا ممکن اسـت سـرعت رشـد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال مواد بین ریشه و ساقه اثر گذاشته، به‌طوری‌که از طریق آزادسـازی تدریجی عناصـر غذایی و انتقال آن‌ها (Varma et al., 2018; Marinari et al., 2000)، افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی از جمله وزن کل غلاف را موجب می شود. در پژوهشـــی، کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش وزن غلاف در گیاه نخود شد (Sohrabi et al., 2019). همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش وزن خشک غلاف در گیاه نخود گردید (Eskandari & Astarayi, 2007).

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر خاکورزی در سطح احتمال پنج درصد و کود در سطح احتمال یک درصد بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها بر این صـفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشـترین وزن ۱۰۰ دانه در سـیسـتم بدون شـخم (۴۰/۵ گرم) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با شخم کاهشی نداشت و کمترین وزن ۱۰۰ دانه به تیمار شـخم مرسـوم (۲۸/۱ گرم) متعلق بود (جدول ۴). سیستم خاکورزی بدون شخم به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۰/۱ و ۴۴/۱ در صدی وزن ۱۰۰ دانه نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم و کاهشی شد (جدول ۴). دلیل بیشتر بودن وزن ۱۰۰ دانه در سیستم بدون شـخم احتمالاً به کمتر بودن تعداد دانه در بوته و کاهش رقابت بر سـر پر شـدن دانه‌ها می‌باشـد (Kiani et al., 2017). همچنین اجرای خاکورزی حفاظتی با افزایش بیشـتر محتوای ماده آلی خاک در مقایسه با سایر روش‌های خاکورزی، از طریق فراهمی عناصر غذایی موجب بهبود رشد ریشه و فتوسنتز شده که این امر با بهبود سهم تخصـیص این مواد به مخزن، در نهایت افزایش وزن ۱۰۰ دانه را به دنبال داشـته اسـت (Felegari et al., 2018). نتایج پژوهش نتایج حاضـر با نتایج کیانی و همکاران (Kiani et al., 2017) هم‌خوانی دارد. بیشترین میزان وزن ۱۰۰ دانه با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا به‌دسـت آمد که نسـبت به عدم مصـرف کود ۲۱/۱ درصـد افزایش یافت. (جدول ۵). وزن دانه تا حدود زیادی به شرایط تقسیمات سـلول‌های ذخیره‌ای بذر در مرحله بعد از گرده افشـانی و همچنین توانایی گیاه جهت پرکردن سلول‌های مذکور با فتوآسیمیلات‌ها مرتبط می‌باشـد (Hay & Porter, 2006). به نظر می‌رسـد کاربرد تلفیقی کودهـا از طریق تـأمین میزان مطلوب فتوآسـیمیلات‌هـا در حین شکل‌گیری سلول‌های ذخیره‌ای در بذر و همچنین در مرحله پر شدن دانه، زمینه تولید دانه‌های بزرگ‌تر و سـنگین‌تر را فراهم می‌نماید (Moucheshi et al., 2012; Silva et al., 2017). نتایج پژوهش حاضر با نتایج مبصّر و همکاران (Mobasser et al., 2012) و صادقی و صبوری (Sadeghi & Sabori, 2016) هم‌خوانی دارد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشـان داد، اثر خاکورزی در سـطح احتمال پنج درصـد و اثر کود و اثر متقابل خاکورزی و کود در سـطح احتمال یک درصـد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشـترین عملکرد دانه (۱۱۶ گرم در مترمربع) در سیستم شخم کاهشی (شخم چیزل) و با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوسـت و قارچ میکوریزا و کمترین میزان عملکرد دانه در سیستم خاکورزی بدون شخم و به همراه عدم مصرف کود (۴۰/۷ گرم در مترمربع) به‌دسـت آمد که تفاوت معنی‌داری با سیستم خاکورزی بدون شخم با کاربرد ورمی‌کمپوست نداشت (شکل ۱). کاهش عملکرد گیاه، حاصل رقابت بین‌بوته‌ای و درون‌بوته‌ای برای کسـب منابع رشـد همانند نور، مواد غذایی و خاک اسـت. لذا وجود علف‌های هرز بیشتر در تیمار بدون خاکورزی را می‌توان از علل کمبود تعداد دانه در این تیمار خاکورزی و در نهایت، عملکرد کمتر آن بیان کرد (Kiani et al., 2017). نتایج پژوهش حاضر با نتایج خوان‌پایه و جلیلیان (Khanpaye & Jalilian, 2014) هم‌خوانی دارد. عملکرد دانه تابع اجزاء عملکرد گیاه می‌باشـد، ازاین‌رو، افزایش اجزای عملکرد دانه (جداول ۴ و ۵) نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد گیاه داشت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه نخود. مقایسه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است و میانگین‌ها دو به دو با شاهد مقایسه می‌شوند. تفاوت‌هایی که بیشتر از مقدار LSD ذکر شده باشند معنی‌دار هستند.

Fig. 1- Means comparison of interaction effect of tillage systems and different fertilizer resources on seed yield of *Cicer arietinum* L. The comparison was based on the LSD test at the probability level of 0.05% and the means compared two by two with the control. Differences that greater than the mentioned LSD value are significant.

از آن جایی که بیشترین میزان ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد شاخه جانبی، عملکرد بیولوژیک و وزن کل غلاف با کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا حاصل شد، بنابراین دلیل افزایش عملکرد دانه در تیمار تلفیقی قابل توجیه است. ورمی‌کمپوست با افزایش فعالیت‌های آنزیمی خاک و نیز تولید CO_2 فعالیت میکروبی خاک را افزایش و موجب آزادسازی تدریجی عناصر غذایی می‌گردد (Marinari et al., 2000). علاوه‌براین، قارچ میکوریزا با تولید و ترشح فسفاتاز به داخل خاک باعث می‌شود تا فسفات نامحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول تبدیل و برای ریشه قابل جذب گردد (Varma et al., 2018). همچنین، قارچ میکوریزا می‌تواند بخش اندکی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین کند. نیتروژن محدود شده در مواد آلی معمولاً در ترکیب پپتیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد وجود دارد که قارچ میکوریزا با ترشح پپتیداز[1] و پروتئاز[2] به داخل خاک، باندهای نیتروژن ارگانیکی را شکسته، سپس مونومرهای نیتروژن‌دار را جذب می‌کند (Behie et al., 2012). بنابراین، افزایش عملکرد دانه در تیمار تلفیقی کودها به جذب مؤثرتر عناصر غذایی و انتقال به بخش‌های زایشی گیاه در مرحله پر شدن دانه نسبت داده می‌شود که در نهایت، با افزایش میزان انتقال دوباره عناصر غذایی، وزن دانه در بوته و به تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش می یابد. در پژوهشی کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه در گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) شد (Darzi et al., 2008). کاربرد دو گونه قارچی *Glomus mossaeae* و *Glomus intraradices* باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کنجد شد (Gholinezhad & Darvishzadeh, 2015). در مطالعه‌ای دیگر با کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*)، ورمی‌کمپوست و باکتری حل‌کننده فسفات روی نخود گزارش کردند که بیشترین

1- Peptidases

2- Proteases

عملکرد دانه با کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و ورمی‌کمپوست (۱۲ تن در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۷۴/۱ درصد افزایش یافت (Pezeshkpour et al., 2014).

عملکرد بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر سیستم‌های خاکورزی در سطح احتمال پنج درصد و اثر کود در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در شخم کاهشی (۲۲۵/۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با شخم مرسوم نداشت. کمترین آن نیز در سیستم بدون شخم (۱۳۸/۵ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (جدول ۴). سیستم خاکورزی کاهشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۰/۹ و ۶۲/۶ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم و بدون شخم گردید (جدول ۴). عملیات خاکورزی با تأثیر بر فعالیت‌های بیولوژیکی، دسترسی به منابع غذایی و همچنین از راه تأثیر بر مقاومت مکانیکی خاک و انتشار عناصر غذایی بر رشد و تولید گیاه اثر می‌گذارد. سیستم‌های خاکورزی حفاظتی به‌دلیل حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش حاصلخیزی خاک شده، در نتیجه عملکرد اقتصادی نسبت به روش خاکورزی مرسوم افزایش می‌یابد، امّا در سیستم عدم خاکورزی به‌دلیل فراوانی بیشتر علف‌های هرز، بستر مناسبی برای رشد بذر فراهم نمی‌گردد، بنابراین این سیستم پاسخگوی نیازهای گیاه نخواهد بود (Mikanova et al., 2009). بهبود وضعیت استقرار نخود در خاکورزی کاهشی و افزایش معنی‌دار اجزای عملکرد در این تیمار نسبت به خاکورزی مرسوم منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و افزایش عملکرد بیولوژیک نخود در تیمار خاکورزی کاهشی گردید، امّا سیستم عدم شخم به‌دلیل فشردگی خاک و ضعیف بودن کلی نخود، به‌دلیل کاهش فتو سنتز و رشد رویشی منجر به کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه (Barzegar et al., 2003) و کاهش ۳۸/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک نخود نسبت به شخم چیزل شد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج فعله‌گری و همکاران (Felegari et al., 2018) هم‌خوانی دارد. بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا (۲۰۶/۹ گرم در مترمربع) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد میکوریزا نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست با افزایش میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه و آزادی سازی تدریجی آن‌ها و از طرفی، قارچ میکوریزا هم به‌دلیل افزایش سطح ریشه‌ها از طریق نفوذ میسیلیوم قارچ در خاک و در نتیجه دسترسی گیاه به حجم بیشتری از خاک سبب جذب بیشتر آب و مواد غذایی آزاد شده در خاک می‌شود که در نتیجه، فتوسنتز افزایش و زیست‌توده بیشتری تولید خواهد شد (Smith & Smith, 2011; Saeidnejad & Rezvani Moghaddam, 2011). نتایج پژوهش حاضر با نتایج خان و زایدی (Khan & Zaidi, 2007) و درزی و همکاران (Darzi et al., 2008) هم‌خوانی دارد.

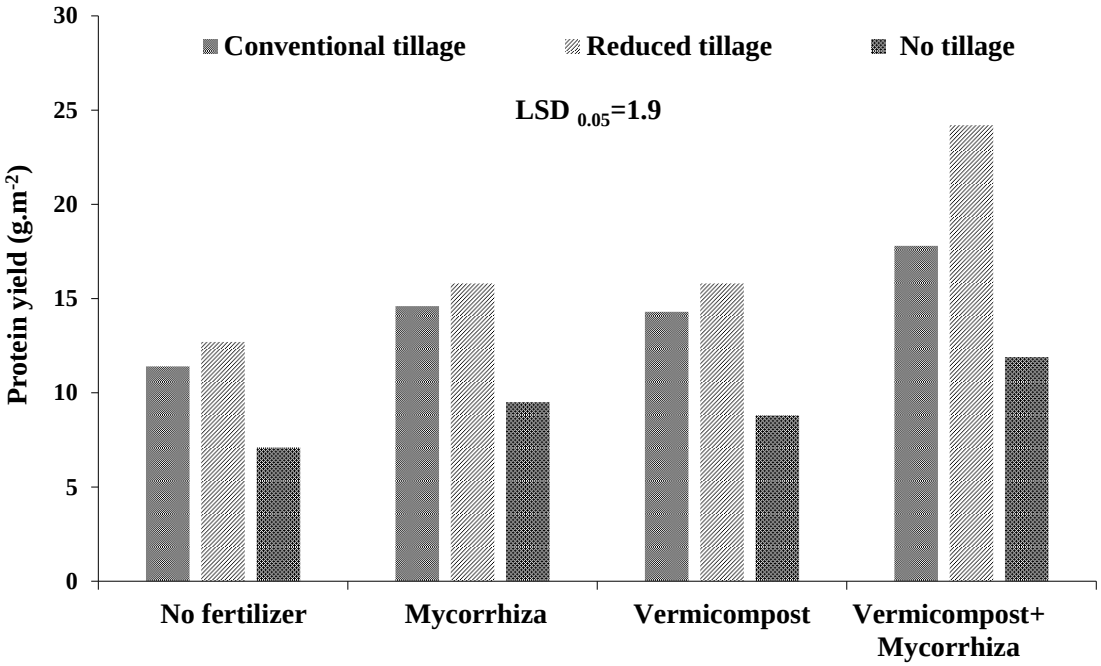
شاخص برداشت

اثر مصرف کود بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر خاکورزی و اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و کود بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و میکوریزا (۴۰/۵ درصد) به‌دست آمد و کمترین میزان صفت مذکور در عدم مصرف کود (۳۴/۷ درصد) به‌دست آمد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). شاخص برداشت بیانگر چگونگی تخصیص مواد فتو سنتزی به اندام اقتصادی گیاه (دانه) نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در گیاه است. این ویژگی نشان می‌دهد که گیاهان با توانایی تولید عملکرد بیولوژیک بالا چه میزان از این عملکرد را به دانه‌ها اختصاص می‌دهد. از آن جایی که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات آن به تغییرات عملکرد دانه بستگی دارد. بهبود تسهیم ماده خشک به ساختارهای زایشی و دانه، از جمله صفاتی است که می‌تواند باعث بهبود عملکرد دانه شود (Alizadeh et al., 2007). با توجه به این که شاخص برداشت رابطه مستقیمی با عملکرد دانه دارد، از این رو علت بالا بودن شاخص برداشت با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه نسبت داده می شود (جدول ۵). همچنین افزایش شاخص برداشت با کاربرد تلفیقی کودهای ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا به اثر افزایشی آن‌ها بر رشد رویشی و زایشی در نتیجه در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب بیشتر عناصر در طول دوره رشدی گیاه مربوط می شود (Varma et al., 2018; Hosseinzadeh et al., 2017). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) شد (Rezvani Moghaddam et al., 2015).

همچنین در پژوهشی، کاربرد کود زیستی ورمی‌کمپوست منجربه افزایش شاخص برداشت سویا گردید (Momeni Fili et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*) به‌ترتیب منجر به افزایش ۲۸/۷، ۶۷/۱ و ۷ درصدی وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم نسبت به شاهد گردید (Gholamalizadeh Ahangar et al., 2014).

درصد و عملکرد پروتئین دانه

نتایج نشان داد، اثر سیستم‌های خاکورزی بر عملکرد پروتئین دانه در سطح پنج درصد، اثر کود بر درصد و عملکرد پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل خاکورزی و کود بر عملکرد پروتئین دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد پروتئین دانه (۲۱/۲ درصد) با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا به‌دست آمد که نسبت به عدم مصرف کود ۲۱/۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵). همچنین سیستم خاکورزی کاهشی به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۷/۱ و ۸۳/۹ درصدی عملکرد پروتئین نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم و بدون شخم گردید (جدول ۴). بیشترین عملکرد پروتئین (۲۴/۲ گرم در مترمربع) در سیستم شخم کاهشی (شخم چیزل) و با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا و کمترین میزان عملکرد دانه در سیستم خاکورزی بدون شخم و به همراه عدم مصرف کود (۷/۱ گرم در مترمربع) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سیستم خاکورزی بدون شخم به همراه کاربرد ورمی‌کمپوست نداشت (شکل ۲). عوامل محیطی و خصوصیات ژنتیکی گیاه می‌تواند بر میزان پروتئین دانه تأثیرگذار باشد (Moradi Telavat & Siyadat, 2013). کاهش قابلیت تحرک نیتروژن در سیستم بدون خاکورزی نسبت به سیستم خاکورزی کاهشی و مرسوم نیز ممکن است دلیلی بر کاهش درصد و عملکرد پروتئین در سیستم بدون خاکورزی باشد (Sepide Dam & Ramroudi, 2016). پروتئین دانه رابطه مستقیمی با نیتروژن دارد، به نظر می‌رسد شخم حفاظتی با ذخیره بیشتر رطوبت، شستشوی کمتر عناصر، افزایش ماده آلی و عناصر ماکرو خاک منبع غذایی مناسبی را برای ریزجانداران خاک به‌ویژه ریزوبیوم فراهم می‌کند، در نتیجه افزایش فعالیت این موجودات باعث افزایش تعداد گره‌های فعال و در نتیجه، انتقال بیشتر نیتروژن به دانه خواهد شد (Issaka et al., 2019; Panasiewicz et al., 2020). در مطالعه‌ای با بررسی روش‌های مختلف خاکورزی روی لوپن (*Lupinus angustifolius*) مشاهده گردید که درصد پروتئین دانه تحت تأثیر معنی‌دار سیستم‌های مختلف خاکورزی قرار نگرفت. ولی عملکرد پروتئین بین سیستم‌های مختلف خاکورزی معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین عملکرد پروتئین به‌ترتیب در خاکورزی مرسوم، کاهشی و بدون شخم به‌دست آمد (Panasiewicz et al., 2020). در پژوهشی دیگری نیز با بررسی سیستم‌های مختلف خاکورزی در کشت مخلوط تأخیری چای ترش (*Hibiscus Subdariffa* L.) با سویا گزارش کردند که بیشترین در صد پروتئین در سیستم خاکورزی حداقل به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سیستم‌های خاکورزی مرسوم و عدم شخم نداشت (Sabeghynejad et al., 2019). در پژوهشی دیگری هم بیشترین درصد پروتئین گندم در سیستم خاکورزی مرسوم بدون تفاوت معنی‌داری با سیستم خاکورزی کاهشی حاصل شد (Fernandez et al., 2019). عملکرد پروتئین حاصل ضرب عملکرد دانه و در صد پروتئین دانه می‌باشد، از این‌رو می‌توان بیان کرد علت بالا بودن عملکرد پروتئین با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی، بالا بودن عملکرد و درصد پروتئین دانه است. به نظر می‌رسد کاربرد قارچ میکوریزا از طریق افزایش سطح ریشه و فراهمی بیشتر فسفر رشد گیاه را در شرایط تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه، باعث پایداری بیشتر دیواره سلولی و بالا رفتن میزان پروتئین دانه می‌شود و این امر باعث افزایش آسیمیلات‌های تولیدی می‌شود. همچنین قارچ میکوریزا از طریق افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی باعث بهبود جذب عناصر غذایی از جمله جذب نیتروژن شده که این امر در تشکیل ترکیبات پایدار ساختاری به‌ویژه پروتئین‌ها و آنزیم‌ها نقش ایفا می‌کند (Habibzadeh et al., 2013; Varma et al., 2018). علاوه‌براین، ورمی‌کمپوست با تعدیل pH خاک، بهبود ساختمان، بافت خاک و ظرفیت نگهداری آب روی جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیم‌های خاک تأثیر می‌گذارد که می‌توانند بیوسنتز این ترکیبات را تحت تأثیر قرار دهند (Zahedifard & Sharafzadeh, 2014). نتایج پژوهش حاضر با نتایج پزشکپور و همکاران (Pezeshkpour et al., 2014)، برتا و همکاران (Berta et al., 2014) و جهانگیری‌نیا و همکاران (Jahangiri Nia et al., 2016) هم‌خوانی دارد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سیستم‌های خاکورزی و منابع مختلف کودی بر عملکرد پروتئین نخود. مقایسه براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد است و میانگین‌ها دو به دو با شاهد مقایسه می‌شوند. تفاوت‌هایی که بیشتر از مقدار LSD ذکر شده باشند معنی‌دار هستند.

Figure 2- Means comparison of interaction effect of tillage systems and different fertilizer resources on protein yield of *Cicer arietinum* L. The comparison was based on the LSD test at the probability level of 0.05% and the means compared two by two with the control. Differences that greater than the mentioned LSD value are significant.

تحلیل اقتصادی تیمارهای مورد مطالعه

به‌منظور ارزیابی اقتصادی تیمارهای مورد مطالعه، کلیه هزینه‌ها و درآمدهای مشترک و غیر مشترک محاسبه شدند. مبانی محاسباتی بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۹۸ در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. این جداول بیانگر هزینه‌های کاشت، داشت، برداشت و درآمدهای مشترک و غیر مشترک و منافع خالص نهایی تیمارهای مورد مطالعه می‌باشد. در جدول ۸ نیز تیمارها براساس افزایش هزینه‌ها مرتب شده‌اند. این جدول به‌منظور حذف تیمارهایی است که به‌صورت نسبی غیر اقتصادی هستند. بر این اساس، تیمارهایی که درآمد نهایی کمتر از یک دارند، در واقع تیمارهایی هستند که نسبت به تیمار قبل از خود هزینه بیشتر و درآمد کمتری داشته‌اند و از این‌رو، به‌صورت نسبی غیراقتصادی بوده و از فهرست مقایسه‌ها حذف شدند. نتیجه نهایی تیمارهای باقی‌مانده در جدول ۹ ارائه شده است. در جدول ۹ نرخ بازدهی نهایی هزینه‌های انجام شده در تیمارهای اقتصادی باقیمانده، محاسبه شد تا تیمارهای برتر انتخاب شود.

بر این اساس، از نقطه نظر اقتصادی برترین تیمارهای اقتصادی به‌ترتیب شخم چیزل بدون مصرف کود، شخم مرسوم بدون مصرف کود، شخم چیزل با مصرف میکوریزا و شخم مرسوم با مصرف میکوریزا بودند که از درآمد خالص بالاتر و نرخ بازده اقتصادی بیشتری برخوردار بودند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که از نظر ارزش اقتصادی استفاده از سیستم خاکورزی کاهشی (شخم چیزل) مناسب‌تر از سیستم‌های خاکورزی مرسوم و بدون شخم بود. با توجه به کاربرد کمتر انرژی در سیستم‌های خاکورزی حفاظتی در مقایسه با سیستم‌های خاکورزی مرسوم و با توجه به نتایج به‌دست آمده از لحاظ بازده اقتصادی، برتری اقتصادی این سیستم‌ها چند برابر می‌شود. در بررسی نیازهای انرژی سیستم‌های مختلف خاکورزی در هندوستان مشخص شد که سیستم خاکورزی کاهشی ۳۴/۳ درصد انرژی کمتری نسبت به سیستم خاکورزی مرسوم مصرف می‌کند و میزان صرفه‌جویی انرژی ۲/۵ بیشتر است (Sharma et al., 2011).

جدول ٦- هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت نخود در تیمارهای مورد مطالعه (بر حسب ریال)

Table 6- Costs of planting, holding and harvesting of chickpeas in the studied treatments (in terms of rials)

تیمارها Treatments	شخم برگردان‌دار moldboard plowing	دیسک‌زنی Disking	کشت محصول Crop cultivation	شخم چیزل chisel plowing	بذر مصرفی Consumed seed	وجین علف هرز weeding	هزینه برداشت Harvest cost	هزینه حمل محصول Crop transportation cost	هزینه خرمن‌کوب Thresher cost	ورمی کمپوست Vermicompost	قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungi	هزینه کل Total cost
شخم مرسوم+ عدم مصرف کود CT+ No fertilizer	1200000	500000	700000	0	9645000	1500000	5000000	275400.8	393440	0	0	19213841
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست CT+ Vermicompost	1200000	500000	700000	0	9645000	1678360.3	5637450.4	310520	443600	37500000	0	57614931
شخم مرسوم+ قارچ میکوریزا CT+ Mycorrhiza	1200000	500000	700000	0	9645000	1649120.3	5316860.3	292860.13	418370.3	0	770000	20492211
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	1200000	500000	700000	0	9645000	1628650.5	6101390.6	336070.47	480100.7	37500000	770000	58861212
شخم چیزل+ عدم مصرف کود CP+ No fertilizer	0	0	700000	500000	9645000	2245610.4	5654220.9	311440.4	444920	0	0	19501192
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست CP+ Vermicompost	0	0	700000	500000	9645000	2333330.3	6106640.9	336360.4	480520	37500000	0	57601852
شخم چیزل+ قارچ میکوریزا CP+ Mycorrhiza	0	0	700000	500000	9645000	2356720.5	5781480.3	318450.3	454930.3	0	770000	20526581
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CP+ Vermicompost+ Mycorrhiza	0	0	700000	500000	9645000	2467830.6	8002740.5	440800.4	629720	37500000	770000	60656092
بدون شخم + عدم مصرف کود NT+ No fertilizer	0	0	1000000	0	9645000	2923970.7	3290290.4	181230.47	258900.7	0	0	17299392
بدون شخم + ورمی‌کمپوست NT+ Vermicompost	0	0	1000000	0	9645000	3152040.7	3892160.5	214380.67	306260.7	37500000	0	55709843
بدون شخم + قارچ میکوریزا NT+ Mycorrhiza	0	0	1000000	0	9645000	3210520.6	3458210.5	190480.4	272120	0	770000	18546332
بدون شخم + ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا NT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	0	0	1000000	0	9645000	3228070	3927410	216320.8	309040	37500000	770000	56595841

CT: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار+ دیسک)، CP: شخم چیزل (شخم کاهشی) و NT: بدون شخم. هزینه‌های برآورده شده در این پژوهش بر اساس سال زراعی ۱۳۹۸ می باشد.

CT: conventional tillage (moldboard plowing+ disking), CP: chisel plowing (reduced tillage) and NT: no tillage. The estimated costs in this experiment are based on the crop year of 2018.

جدول ۷- درآمد، مجموع درآمد و سود خالص حاصل از عملکرد دانه و کاه نخود در تیمارهای مورد مطالعه (قیمت بر حسب ریال)

Table 7- income, total income and net of benefit from seed and straw yield of chickpea in the studied treatments (price in terms of rials)

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد کاه Straw yield ($kg.ha^{-1}$)	قیمت هر کیلوگرم نخود Price per kg of chickpea	قیمت کاه Straw price	درآمد خالص از دانه Net income from seed	درآمد خالص از کاه Net income from straw	مجموع درآمد Total income	مجموع عملکرد دانه و کاه Total seed and straw yield	نسبت عملکرد Yield ratio	وزن علف هرز Weeds weight ($kg.ha^{-1}$)	نسبت وزن خشک علف هرز Weed dry weight ratio	منافع خالص نهایی Marginal net of benefit
شخم مرسوم+ عدم مصرف کود CT+ No fertilizer	660	323.6	96450	500	63657000	161800	63818800	983.6	1	285	1	44604959
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست CT+ Vermicompost	750	359	96450	500	72337500	179500	72625400	1109	1.13	318.9	1.12	15010469
شخم مرسوم+ قارچ میکوریزا CT+ Mycorrhiza	713.3	332.6	96450	500	68801000	166300	69075040	1045.9	1.06	313.3	1.10	48582829
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	826.67	373.6	96450	500	79732000	186800	80028130	1200.3	1.22	309.4	1.09	21166918
شخم چیزل+ عدم مصرف کود CP+ No fertilizer	750	362.3	96450	500	72337500	181150	72627090	1112.3	1.13	426.7	1.50	53125898
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست CP+ Vermicompost	830	371.3	96450	500	80053500	185650	80348480	1201.3	1.22	443.3	1.56	22746628
شخم چیزل+ قارچ میکوریزا CP+ Mycorrhiza	793.3	344	96450	500	76517000	172000	76797670	1137.3	1.16	447.8	1.57	56271089
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CP+ Vermicompost+ Mycorrhiza	1160	414.3	96450	500	111882000	207150	112202260	1574.3	1.60	468.9	1.65	51546168
بدون شخم + عدم مصرف کود NT+ No fertilizer	406.67	240.6	96450	500	39223000	120300	39446960	647.3	0.66	555.6	1.95	22147568
بدون شخم + ورمی‌کمپوست NT+ Vermicompost	496.67	269	96450	500	47903500	134500	48142880	765.7	0.78	598.9	2.10	-7566963
بدون شخم + قارچ میکوریزا NT+ Mycorrhiza	440	240.3	96450	500	42438000	120150	42662140	680.3	0.69	610	2.14	24115808
بدون شخم + ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا NT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	560	212.6	96450	500	54012000	106300	54223190	772.6	0.79	613.3	2.15	-2372651

CT: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار+ دیسک)، CP: شخم چیزل (شخم کاهشی) و NT: بدون شخم.

CT: conventional tillage (moldboard plowing+ disking), CP: chisel plowing (reduced tillage) and NT: no tillage.

جدول ۸- هزینه کل، درآمد ناخالص و سود ناخالص نهایی در تیمارهای مورد مطالعه (قیمت بر حسب ریال)

Table 8- Total cost, gross income and final gross profit in the studied treatments (price in terms of rials)

تیمارها Treatments	هزینه کل Total cost	درآمد ناخالص (مجموع درآمد) Gross income of treatments (total income)	منافع ناخالص نهایی Marginal gross of benefit
بدون شخم + عدم مصرف کود NT+ No fertilizer	17299392	39446960	-
بدون شخم + قارچ میکوریزا NT+ Mycorrhiza	18546332	42662140	2.58
شخم مرسوم+ عدم مصرف کود CT+ No fertilizer	19213841	63818800	12.73
شخم چیزل+ عدم مصرف کود CP+ No fertilizer	19501192	72627090	15.07
شخم مرسوم+ قارچ میکوریزا CT+ Mycorrhiza	20492211	69075040	9.28
شخم چیزل+ قارچ میکوریزا CP+ Mycorrhiza	20526581	76797670	11.57
بدون شخم + ورمی‌کمپوست NT+ Vermicompost	55709843	48142880	0.23
بدون شخم + ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا NT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	56595841	54223190	0.38
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست CP+ Vermicompost	57601852	80348480	1.01
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست CT+ Vermicompost	57614931	72625400	0.82
شخم مرسوم+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CT+ Vermicompost+ Mycorrhiza	58861212	80028130	0.98
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CP+ Vermicompost+ Mycorrhiza	60656092	112202260	1.68

CT: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار+ دیسک‌زنی)، CP: شخم چیزل (شخم کاهشی) و NT: بدون شخم

CT: conventional tillage (moldboard plowing+ disking), CP: chisel plowing (reduced tillage) and NT: no tillage

جدول ۹- هزینه‌ها، سود خالص نهایی و نرخ بازدهی اقتصادی در تیمارهای انتخاب شده (برحسب تومان)

Table 9- Costs, marginal net of benefit and economic rate of return in selected treatments (in terms of toman)

تیمارهای انتخاب شده Selected treatments	هزینه کل Total costs	منافع خالص نهایی Marginal net of benefit	نرخ بازدهی نهایی Marginal rate of return (%)
بدون شخم + عدم مصرف کود NT+ No fertilizer	1729939	2214757	-
بدون شخم + قارچ میکوریزا NT+ Mycorrhiza	1854633	2411581	157.8
شخم مرسوم+ عدم مصرف کود CT+ No fertilizer	1921384	4460496	1173.1
شخم چیزل+ عدم مصرف کود CP+ No fertilizer	1950119	5312590	1407
شخم مرسوم+ قارچ میکوریزا CT+ Mycorrhiza	2049221	4858283	828
شخم چیزل+ قارچ میکوریزا CP+ Mycorrhiza	2052658	5627109	1057.4
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست CP+ Vermicompost	5760185	2274663	1.5
شخم چیزل+ ورمی‌کمپوست+ قارچ میکوریزا CP+ Vermicompost+ Mycorrhiza	6065609	5154617	67.8

CT: شخم مرسوم (شخم برگردان‌دار+ دیسک)، CP: شخم چیزل (شخم کاهشی) و NT: بدون شخم

CT: conventional tillage (moldboard plowing+ disking), CP: chisel plowing (reduced tillage) and NT: no tillage

لذا با توجه به افزایش هزینه سوخت و توجه به لزوم صرفه‌جویی در کاربرد آن، سیستم‌های خاکورزی حفاظتی می‌تواند گزینه مناسبی باشند، هرچند سودمندی‌های استفاده از این روش‌ها محدود به بحث انرژی نیست. همچنین با بررسی روش‌های مختلف خاکورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود و ویژگی‌های فیزیکی خاک در شرایط دیم کرمانشاه مشخص شد که بیشترین ارزش اقتصادی محصول به‌ترتیب مربوط به شخم کاهشی، شخم مرسوم و بدون شخم بود (Chaghazardi et al., 2016). علاوه‌براین، در پژوهشی با کاربرد روش های مختلف خاکورزی گزارش کردند که تیمارهای شخم حفاظتی علاوه‌بر کاهش معنی‌دار فرسایش خاک، در مقایسه با سیستم متداول کشاورزی از مزیت نسبی بالاتر و درآمد بیشتری برخوردار بودند (Pimentel et al., 1995). همچنین در پژوهشی دیگر با بررسی اثر روش های مختلف خاکورزی و میزان بقایای گیاهی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بازده اقتصادی گندم گزارش کردند که از نظر اقتصادی، تیمار خاکورزی متداول با حذف بقایا برترین بود و تیمار کم خاکورزی با حفظ ۳۰ درصد بقایا در رتبه دوم قرار گرفت و در مقایسه با دیگر تیمارهای خاکورزی و حفظ بقایا از درآمد خالص بالاتر و نرخ بازدهی اقتصادی بیشتری برخوردار بودند (Komeili et al., 2016).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بین سیستم‌های مختلف خاکورزی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به‌طوری‌که، بیشترین تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و جانبی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین در سیستم شخم کاهشی به‌دست آمد که نسبت به شخم مرسوم به‌ترتیب ۲۶/۴، ۱۶/۸، ۲۷/۴، ۲۸/۶، ۱۰/۹، ۱۹/۶ و ۱۷/۱ درصد افزایش داشتند. همچنین کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست + قارچ میکوریزا منجر به افزایش ۱۶/۷، ۲۱/۱، ۱۹/۷، ۴۰/۱ و ۲۱/۸ درصدی شاخص برداشت، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و در صد پروتئین نسبت به عدم مصرف کود گردید. علی رغم این که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد پروتئین نخود در شخم کاهشی و با کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا به‌دست آمد، ولی از لحاظ اقتصادی، بیشترین نرخ بازده اقتصادی نهایی به‌ترتیب در تیمارهای شخم کاهشی (چیزل) بدون مصرف کود، شخم مرسوم بدون مصرف کود، شخم چیزل با مصرف میکوریزا و شخم مرسوم با مصرف میکوریزا مشاهده شد. در نهایت، با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان در کشت نخود دیم به‌ترتیب از تیمارهای شخم چیزل و شخم مرسوم بدون مصرف کود، شخم چیزل و شخم مرسوم با مصرف میکوریزا که دارای نرخ بازده اقتصادی بالاتری بودند، در منطقه سرفیروزآباد کرمانشاه استفاده نمود.

References

Abbasi Seyahjani, E.M.S., Yarnia, M., Farahvash, F., Khorshidi Benam, M.B., and Asadi Rahmani, H., 2019. Effect of *razobium phazeoli* bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on yield andyield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water tension deficit. Crop Physiologhy Journal 1(40): 19-34. (In Persian with English Summary)

Akhtar, M.S., and Siddiqui, Z.A., 2008. *Glomus intraradices*, *Pseudomonas alcaligenes* and *Bacillus pumilus* as effective biocontrol agents for the root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of General Plant Pathology 74: 53-60.

Alizadeh, O., Majidi, I., Nadian, H.A., Nour-Mohammadi, G., and Amerian, M., 2007. Effect of water stress and nitrogen rates on yield and components of maize (*Zea mays* L.). Journal of Agricultural Science, Islamic Azad University 13(2): 427-434. (In Persian with English Summary)

Amiri, H., Ismaili, A., and Hosseinzadeh, S.R., 2017. Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Karaj). Compost Science and Utilization 25(3): 152-165.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(13-14): 1737-1746.

Armengot, L., Blanco-Moreno, J.M., Bàrberi, P., Bocci, G., Carlesi, S., Aendekerk, R., Berner, A., Celette, F., Grosse, M., Huiting, H., Kranzler, A., Luik, A., Mäder, P., Peigné, J., Stoll, A., Delfosse, P., Sukkel, W., Surböck, A.,

Westaway, S., and Sans, F.X., 2016. Tillage as a driver of change in weed communities: A functional perspective. Agriculture, Ecosystems & Environment 222: 276-285.

Bagnall, D.K., Jones, E.J., Balke, S., Morgan, C.L., and McBratney, A.B., 2020. An *in situ* method for quantifying tillage effects on soil structure using multistripe laser triangulation. Geoderma 380: 1-9.

Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., Khadish, A., Hashemi, A.M., and Herbert, S.J., 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. Soil and Tillage Research 71(1): 49-57.

Baum, C., El-Tohamy, W., and Gruda, N., 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. Scientia Horticulturae 187: 131-141.

Behie, S., Zelisko, P., and Bidochka, M., 2012. Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. Science 336(1): 1576-1577.

Berta, G., Copetta, A., Gamalero, E., Bona, E., Cesaro, P., Scarafoni, A., and D'Agostino, G., 2014. Maize development and grain quality are differentially affected by mycorrhizal fungi and a growth-promoting Pseudomonad in the field. Mycorrhiza 24(3): 161-170.

Chaghazardi, H.R., Jahansouz, M.R., Ahmadi, A., and Gorji, M., 2016. Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rainfed conditions in western Iran. Soil and Tillage Research 162: 26-33.

CIMMYT. 1988. An economics training manual: From agronomic data to farmer recommendations. Completely revised edition. Mexico, D.F.: CIMMYT. 79 pp.

Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F., 2008. Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Crop Sciences 10(1):88-109. (In Persian with English Summary)

Davodi, S., Mojaddam, M., and Payandeh, K., 2020. Investigating the effect of combination vermicompost and quantitative and qualitative yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under droughtsuperabsorbent on stress conditions. Environmental Stresses in Crop Science 13(3): 889-901. (In Persian with English Summary)

Eskandari, M., and Astarayi, A., 2007. Effect of different organic materials on plant growth characteristics and total biomass and grain weight of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 19-27. (In Persian with English Summary)

Felegari, S.H., Hamzei, J., and Nael, M., 2018. Effect of different tillage practices and canola cover crop on yield, yield components of sunflower and soil quality indicators in dastjerd region (Hamedan). Iranian Journal of Field Crops Research 16(3): 599-614. (In Persian with English Summary)

Fernandez, M.R., Zentner, R.P., Schellenberg, M.P., Leeson, J.Y., Aladenola, O., McConkey, B.G., and St. Luce, M., 2019. Grain yield and quality of organic crops grown under reduced tillage and diversified sequences. Agronomy Journal 111(2): 793-804.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2017. Conservation Agriculture at Web site http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/ (verified 1 September 2017).

Garshasbi Tahneh, M., 2018. Effects of different tillage systems and application of plant residues on growth and yield indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran. (In Persian with English Summary)

Ghaderi-Far, F., Ghajari, A., Sadegh-Nejad, H., and Gharanjiki, A., 2011. Effects of tillage systems on yield of cotton following canola in Gorgan. Iranian Journal of Field Crops Research 9(3): 416-421. (In Persian with English Summary)

Gholamalizadeh Ahangar, A., Kermanizadeh, B., Sabbagh, S.K., and Sirousmehr, A., 2014. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and organic fertilizers application on yield components of two wheat. Journal of Water and Soil 28(4): 795-803. (In Persian with English Summary)

Gholinezhad, E., and Darvishzadeh, R., 2015. Effect of mycorrhizal fungi on yield and yield components of Sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces under different irrigation levels. Agricultural Science and Sustainable Production 25(3): 119-135. (In Persian with English Summary)

Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M., and Tittonell, P., 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. Field Crops Research 114(1): 23-34.

Gutiérrez-Mañero, F.J., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouachi, J.R., Tadeo, F., and Talon, M., 2001. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. Physiologia Plantarum 111(2): 206-211.

Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardashti, M.R., Jalilian, J., and Eini, O., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. Agronomy Journal 105(1): 79-84.

Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh, A., and Ghorbanpour, M., 2018. Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essntial oil constituents in *Cuminum cyminum* L. Journal of Medicinal Plants 2(66): 74-90. (In Persian with English Summary)

Hay, R.K., and Porter, J.R., 2006. The Physiology of Crop Yield. Blackwell Publishing. Oxford, England.

Hemmat, A., and Eskandari, I., 2004. Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat–chickpea rotation in the northwest region of Iran. Soil and Tillage Research 78(1): 69-81.

Heyderianpour, M.B., Sameni, A.M., Sheikhi, J., Karimian, N., and Zarei, M., 2014. Effect of vermicompost and nitrogen on growth, concentration, and uptake of nutrients in sunflower. Journal of Water and Soil Science 18(67): 217-227. (In Persian)

Hodiani, M.A., Dahmardeh, M., Khammari, I., and Asgharipour, M.R., 2016. Evaluation of tillage systems on agronomical aspects in roselle-green gram intercropping using replacement method. Iranian Journal of Filed Crop Science 47(2): 265-277. (In Persian with English Summary)

Hosseini, S.Z., Firouzi, S., Aminpanah, H., and Sadeghnejhad, H.R., 2016. Effect of tillage system on yield and weed populations of soybean (*Glycin max* L.). Anais da Academia Brasileira de Ciências 88(1): 377-384.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A., 2017. Effect of vermicompost levels on morphologic traits and nutrient concentration of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under drought stress. Environmental stresses in Crop Science 10(4): 531-545. (In Persian with English Summary)

Issaka, F., Zhang, Z., Zhao, Z.Q., Asenso, E., Li, J.H., Li, Y.T., and Wang, J.J., 2019. Sustainable conservation tillage improves soil nutrients and reduces nitrogen and phosphorous losses in maize Farmland in Southern China. Sustainability 11(8): 1-13.

Jahangiri Nia, E., Siyadat, S.A., Koochakzadeh, A., Moradi Telavat, M., and Sayyah Far, M., 2016. Effect of the usage of vermicompost and mycorrhizal fertilizer on quantity and quality yield of soybean in water deficit stress condition. Journal of Crops Improvement 18(2): 319-331.

Jensen, S.M., Svensgaard, J., and Ritz, C., 2020. Estimation of the harvest index and the relative water content–two examples of composite variables in agronomy. European Journal of Agronomy 112: 1-8.

Kasper, M., Buchan, G.D., Mentler, A., and Blum, W.E.H., 2009. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. Soil and Tillage Research 105(2): 192-199.

Khan, M.S., and Zaidi, A., 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and an arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 31(6): 355–362

Khanpaye, E., and Jalilian, J., 2014. Effect of different tillage systems and seed priming on some morphological characteristics and yield of dryland chickpea (*Cicer arietinum* L.). Research in Field Crops 1(2): 33-43. (In Persian with English Summary)

Kahrizy, S., and Sepehri, A., 2018. Effect of vermicompost, nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under terminal drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainablle Production 29(1): 67-73. (In Persian with English Summary)

Kiani, M., Jahansouz, M.R., and Ahmadi, A., 2017. The effect of different tillage methods on yield and growth characteristics of some autumnal chickpea. Journal of Crop Improvemen 18(4): 977-985. (In Persian with English Summary)

Komeili, H.R., Rezvani Moghaddam, P., Ghodsi, M., Nasiri, M.M., and Jalal Kamali, M.R., 2016. Effect of different tillage methods and the rate of crop residues on yield, yield components and economic efficiency of wheat. Journal of Cereal Research 6(3): 323-337. (In Persian with English Summary)

Lenoir, I., Fontaine, J., and Sahraoui, A.L.H., 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. Phytochemistry 123: 4-15.

López, M.V., Gracia, R., and Arrue, J.L., 2000. Effects of reduced tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragon. European Journal of Agronomy 12(3-4): 191-199.

Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S., 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. Bioresource technology 72(1): 9-17.

Mikanova, O., Javurek, M., Simon, T., Friedlova, M., and Vach, M., 2009. The effect of tillage systems on some microbial

characteristics. Soil and Tillage Research 105(1): 72-76.

Mobasser, H., Mehraban, A., Kohkan, S., and Moradgholi., 2012. Mycorrhiza (*Glomus mossea*) effects on protein percent and agronomic traits of four varieties of corn in the Sistan region. Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) 27(103): 105-114. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, E., Asghari, H.R., and Gholami, A., 2014. Evaluation the possibility of utilization of biological fertilizer mycorrhiza in phosphorus supply in Chickpea cultivation (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(4): 658-665. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, K., Nabi Allahi, K., Agha Alikhani, M., and Khoormali, F., 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Plant Production 16(4): 77-91. (In Persian with English Summary)

Momeni Fili, P., Khoorgami, A., and Sayyah Far, M., 2014. Effect of vermicompost biofertilizer and plant density on the yield and yield components soybean in Khorramabad. Crop Physiology Journal 6(23): 113-126. (In Persian with English Summary)

Moradi Telavat, M.R., and Siyadat, A., 2013. Growth and nitrogen use efficiency response of wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) to increased nitrogen levels. Journal of Crops Improvement, 13(2): 111-124. (In Persian with English Summary)

Moucheshi, A., Heidari, B., and Assad, M.T., 2012. Alleviation of drought stress effects on wheat using arbuscular mycorrhizal symbiosis. International Journal of AgriScience 2(1): 35-47.

Nakhzari Moghaddam, A., and Gholami, A., 2017. Effect of inoculation with mycorrhiza fungi and irrigation management on quantity and quality characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Environmental Steresses in Crop Sciences 9(4): 353-362. (In Persian with English Summary)

Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1972. Determination of total nitrogen in plant material. Agronomy Journal 65: 109-111.

Oliveira, R.S., Carvalho, P., Marques, G., Ferreira, L., Nunes, M., Rocha, I., Ma, Y., Carvalho, M.F., Vosátka, M., and Freitas, H., 2017. Increased protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria under water deficit conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture 97(13): 4379-4385.

Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., and Kumari, U.R., 2008. An experimental study of vermi-biowaste composting for agricultural soil improvement. Bioresource Technology 99(6): 1672-1681.

Panasiewicz, K., Faligowska, A., Szymańska, G., Szukała, J., Ratajczak, K., and Sulewska, H., 2020. The effect of various tillage systems on productivity of narrow-leaved lupin-winter wheat-winter triticale-winter barley rotation. Agronomy 10(2): 1-11.

Pekrun, C., and Claupein, W., 2006. The implication of stubble tillage for weed population dynamics in organic farming. Weed Research 46: 414-423.

Pezeshkpour, P., Ardakani, M.R., Paknejad, F., and Vazan, S., 2014. Effects of vermicompost, mycorrhizal symbiosis and biophosphate soulbilizing bacteria on seed yield and quality of chickpea as autumn plantation in rain fed conditions. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 3(2): 53-58.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., Mcnair, M., Crist, S., Shpretz, L., Fitton, L., Saffouri, R., and Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267: 1117-1123.

Rahimzadeh, R., and Navid, H., 2011. Different tillage methods impacts on a clay soil properties and wheat production in rotation with chickpea under rainfed condition. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable production 31(1): 30-41. (In Persian with English Summary)

Rahimzadeh, R., Sharifi Malvajerdi, A., and Javadi, A., 2009. Effect of tillage method on chickpea yield in cold dryland conditions. Journal of Agricultural Engineering Research 10(3): 57-68. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M.B., and Ehyaee, H.R., 2016. Effect of simultaneous application of mycorrhiza with compost, vermicompost and sulfural geranole on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) in a low input cropping system. Journal of Agroecology 7(4): 563-577. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Norouzian, A., and Seyyedi, S.M., 2015. Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology

7(3): 331-343. (In Persian with English Summary)

Sabaghpour, S.H., Sherifi, A., and Aradatmand asli, D., 2019. The effect of biological and chemical nitrogen fertilizer on yield and yield components of improved chickpea varieties under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research 10(2): 49-61. (In Persian with English Summary)

Sabeghynejad, F., Dehmardeh, M., Asghari Pour, M.R., Khamari, E., and Nezami, Z.S., 2019. Evaluation of tillage systems on agronomic aspect of soybean (*Glycine max* L.) and roselle (*Hibiscus subdariffa* L.) Relay Intercropping. Journal of Agroecology 11(3): 1085-1104. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, M., and Sabori, M., 2016. Effects of vermicompost and the nano chelate fertilizer on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under no irrigation condition. Journal of Plant Ecophysiology 9(30): 63-72. (In Persian with English Summary)

Saeidnejad, A.H., and Rezvani Moghaddam, P., 2011. Investigation the effect of compost, vermicompost, cow and sheep manures on yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science 24(2): 142-148. (In Persian with English Summary)

Sardar, M., Behdani, M.A., Eslami, S.V., and Mahmoodi, S., 2015. The effect of different soil disturbance methods and weeds control on cotton (*Gossypium hirsutum*) yield after wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 12(4): 784-792. (In Persian with English Summary)

Sepide Dam, S., Ramroudi, M., 2016. Effects of tillage systems and nitrogen fertilizer on yield, yield components and seed protein of wheat. Applied Research of Plant Ecophysiology 2(2): 33-46. (In Persian with English Summary)

Schillinger, W.F., Young, D.L., Kennedy, A.C., and Paulitz, T.C., 2010. Diverse no-till irrigated crop rotations instead of burning & plowing continuous wheat. Field Crops Research 115(1): 39-49.

Sharma, P., Abrol, V., and Sharma, R.K., 2011. Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize–wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. European Journal of Agronomy 34(1): 46-51.

Silva, P.S.L.E., Silva, P.I.B.E., Oliveira, V.R.D., Oliveira, F.H.T.D., and Costa, L.R.D., 2017. Vermicompost application improving semiarid-grown corn green ear and grain yields. Revista Caatinga 30(3): 551-558.

Smith, S.E., and Smith, F.A., 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. Annual Review of Plant Biology 62: 227-250.

Sohrabi, Y., Weisany, W., Heidari, G., Mohammadi, K., and Ghasemi Golezani, K., 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental Steresses in Crop Sciences 12(2): 507-524. (In Persian with English Summary)

Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., and Panwar, J., 2015. Nano-fertilizers and their smart delivery system. In Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L., and Duran, N. (Eds). Nanotechnologies in food and agriculture. Springer publication., Cham, P. 81-101.

Tanhaei, R., Yadavi, A., Mvahhedi Dehnavi, M., and Salehi, A., 2018. Effects of mycorrhizal fungi and biofertilizer on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in drought stress conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainablle Production 28(3): 277-291. (In Persian with English Summary)

Triplett, G.B., and Dick, W.A., 2008. No-tillage crop production: A revolution in agriculture. Agronomy Journal 100: 1-13.

Valdez-Perez, M.A., Fernández-Luqueño, F., Franco-Hernandez, O., Cotera, L.F., and Dendooven, L., 2011. Cultivation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in limed or unlimed wastewater sludge, vermicompost or inorganic amended soil. Scientia Horticulturae 128(4): 380-387.

Willmann, M., Gerlach, N., Buer, B., Polatajko, A., Nagy, R., Koebke, E., Jansa, J., Flisch, R., and Bucher, M., 2013. Mycorrhizal phosphate uptake pathway in maize: Vital for growth and cob development on nutrient poor agricultural and greenhouse soils. Frontiers in Plant Science 4: 1-6.

Woźniak, A., 2018. Effect of tillage system on the structure of weed infestation of winter wheat. Spanish Journal of Agricultural Research 16(4): 14.

Zahedifard, M., Sharafzadeh, S., Zolfibavariani, M., and Zare, M., 2014. Influence of nitrogen and vermicompost on grain and oil yield of rapeseed CV. RGS003. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences 3(7): 54-57.