Research Article

Agricultural Engineering., 47(4) (2024) 511-531 ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.46395.1716 ISSN (E): 2588-5944

Improving the nutritional management and yield of *Ricinus communis* L. using Arbuscular mycorrhizal fungus and organic fertilizers

H. Ahmadian [1], Sh. Khalesro[2*] and Gh. Heidari[3]

1. MS.c. graduate, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

Received: 6 August 2024 Accepted: 26 October 2024 *Corresponding Author: sh.khalesro@uok.ac.ir

Abstract

Introduction: A decline in soil organic matter is a key facet of soil degradation, leading to the loss of soil fertility and the capacity to produce crops. The intensive use of synthetic inorganic inputs, such as chemical fertilizers, has resulted in soil organic matter depletion, groundwater contamination and reduced production quality in arid and semi-arid soils. Therefore, sustainable techniques, such as organic fertilizers and natural inputs, are becoming increasingly important to enhance soil organic matter and plant yield in sustainable agricultural systems. The use of organic fertilizers and soil amendment like biochar and wood vinegar can significantly improve soil organic matter. Increasing of using biochar in lands to prevent stems from the worsening condition of agricultural soils and the depletion of water resources. Additionally, biochar has attracted researchers' interest mainly due to its long-term soil carbon sequestration potential, role in greenhouse gas mitigation, and ability to improve soil fertility. Biochar and wood vinegar can be made from various biomass materials/residues such as wood waste, crop and refinery residues, animal manures, and municipal wastes. Biofertilizers also play a vital role in sustainable agriculture systems. Mycorrhiza is one of the parts important biofertilizers. Mycorrhizal associations help plants obtain water and nutrients in dry and nutrient-poor conditions by increasing the root surface area for water and nutrient uptake. Castor bean (Ricinus commonis L.) is a valuable annual herb belonging to the Euphorbiaceae family. It is an important oilseed crop widely used in industry and medicine today. Numerous studies have underlined the beneficial effects of organic fertilizers on soil fertility and crop yield. However, no study has evaluated the impact of organic fertilizer, biochar, wood vinegar, and mycorrhizal on Ricinus commonis L. This research was aim to study the main effects and interactions of these treatments on the quantitative and qualitative traits of Ricinus commonis L.

Materials and Methods: The field experiment was conducted at the Research Field at the University of Kurdistan (35° 19' N, 47° 18' E) during 2022 growing season. The research was designed as a factorial experiment using a randomized complete block design with three

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

replications. Treatment included five fertilizer types: control, organic fertilizer (800 kg ha^{-1}), biochar (3000 kg ha^{-1}), wood vinegar (90 kg ha^{-1}) and chemical fertilizer (urea 200 kg ha^{-1}, and TSP 100 kg ha^{-1}). Additionally, two mycorrhiza levels (*Rhizophagus irregularis*) were tested: no-inoculation and inoculation. Each experimental plot consisted of six rows, each 6 meters long and spaced 75 cm apart. The seeds were sown on 10 May 2020. Agronomic traits such as plant height, number of capsules per plant, and 1000-seed weight were randomly measured from five plants at full maturity in each plot. In the center rows of each plot, 2.25 m^2 of area was harvested at the end of each growing season to evaluate biological and seed yield. Other studied traits included harvest index, seed oil content, seed oil yield, and the nitrogen, phosphorous, and potassium concentration of the seeds.

Results and Discussion: The results showed that the effect of mycorrhiza inoculation on the plant height, capsules number per plant, seed number per plant, and 1000-seed weight was significant. Furthermore, the fertilizer impact on the mentioned traits except of 1000-seed weight was significant. Organic fertilizer, biochar, wood vinegar, and chemical fertilizer significantly increased the capsules number per plant. The highest number of capsules per plant and seed number per plant belonged to the organic fertilizer. Mycorrhiza inoculation enhanced the seed number per plant and 1000-seed weight by 16% and 23% compared to control, respectively. the interaction effects of different fertilizers and mycorrhiza inoculation improved the quantitative and qualitative traits of castor bean. The highest biological yield (3650.2 g/m^2), seed oil content (50.5 %), and oil yield (588.3 g/m^2) were observed in the integrated treatment of organic fertilizer and mycorrhiza inoculation. This treatment increased seed and biological yield by 36.5% and 24% compared to control, respectively. Mycorrhiza can enhance plant growth and yield by increasing the supply of phosphorus to the host plant. Mycorrhizal plants can absorb several times more phosphate from the soil or solution than non-mycorrhizal plants. Organic fertilizer and biochar positively affected the morphological characteristics. Biochar improves soil properties under drought conditions and cause reduces water consumption. Compared to other amendment materials, biochar has the benefit of a large surface area and pore spaces in the structure, allowing it to absorb and retain water. The highest seed nitrogen and potassium content was observed in the organic fertilizer treatment. Organic fertilizers may promote root development by retaining more water and nutrients in the soil, secreting more plant hormones, and increasing the amount of inorganic material such as nitrogen, phosphorus, and potassium that plants can absorb.

Conclusion: Therefore, it can be said that the integrated application of organic and biofertilizers not only improve the quantitative and qualitative traits of *Ricinus commonis* L. but also could be a key strategy in sustainable agricultural systems by reducing the consumption of chemical fertilizers.

Keywords: Biochar, Chemical fertilizer, Mycorrhiza, Oil yield, Sustainable agriculture, Wood vinegar

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۷ شماره۴، زمستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

بهبود مدیریت تغذیه و عملکرد کرچک (*Ricinus communis* L.) با استفاده از قارچ میکوریزا آربوسکولار و کودهای آلی

هادی احمدیان[۱]، شیوا خالص‌رو[۲*] و غلامرضا حیدری[۳]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

کلمات کلیدی:

بیوچار،

سرکه چوب،

عملکرد روغن،

کشاورزی پایدار،

کود شیمیایی،

میکوریزا

* عهده دار مکاتبات

Email: sh.khalesro@uok.ac.ir

چکیده

کرچک یکی از مهمترین گیاهان دارویی خانواده فرفیون و از قدیمی‌ترین گونه‌های شناخته شده توسط بشر است.کوددهی بخش مهمی از مدیریت کشت کرچک است؛ با این حال اطلاعات اندکی در مورد تأثیر کوددهی بر رشد گیاه کرچک در دسترس است. کاربرد کودهای آلی و زیستی پیامدهای مثبتی بر حاصلخیزی خاک و عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارد. بنابراین به‌منظور بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد دانه و روغن کرچک تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل تیمارهای مختلف کودی شاهد، کود آلی کامل گرانوله (۸۰۰ کیلوگرم در هکتار)، بیوچار (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، ، سرکه چوب (۹۰ لیتر در هکتار)، و کود شیمیایی (اوره ۲۰۰کیلوگرم در هکتار و سوپرفسفات تریپل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، و فاکتور دوم شامل قارچ میکوریزا (*Rhizophagus irregularis*) در دو سطح (مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی) بود. نتایج نشان داد اثر متقابل تیمارهای کودی و قارچ میکوریزا سبب بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی کرچک گردید. بیشترین عملکرد بیولوژیک (۳۶۵۰/۲ گرم بر مترمربع)، درصد روغن (۵۰/۵ درصد) و عملکرد روغن (۵۸۸/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلفیقی کود آلی و مایه‌زنی با میکوریزا مشاهده شد.کود آلی و بیوچار اثر مثبتی بر ویژگی‌های مورفولوژیک داشتند. بیشترین غلظت نیتروژن و پتاسیم دانه نیز مربوط به تیمار کود آلی بود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، تیمار کود آلی توأم با مایه‌زنی میکوریزا در مقایسه با شاهد و تیمارهای دیگر بر بیشتر صفات مورد مطالعه اثرات مثبت معنی‌داری نشان داد. کاربرد تلفیقی میکوریزا و سایر کودهای آلی، علاوه بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی کرچک، می‌تواند با کاهش مصرف کودهای شیمیایی، راهکاری کلیدی در کشاورزی پایدار باشد.

مقدمه

امروزه یکی از اولویت‌های بسیار مهم در علوم کشاورزی، حفاظت و پایداری محیط زیست به‌منظور دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار است. در سیستم کشاورزی پایدار کاربرد نهاده‌های مصنوعی مانند کودهای شیمیایی که سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی، از جمله آلودگی منابع آب و خاک، افت کیفیت محصولات کشاورزی و بر هم‌زدن تعادل اکوسیستم‌ها می‌گردد تا حد امکان، کاهش می‌یابد (۲۳). انواع محصولات کشاورزی برای رشد، نیاز به عناصر غذایی دارند و این عناصر را از خاک تأمین می‌کنند (۲۶). کودهای معدنی، آلی و زیستی تأمین کننده عناصر غذایی ضروری برای رشد و توسعه درگیاهان هستند. از میان نیازهای غذایی مختلف، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به عنوان عناصر غذایی ضروری پرمصرف برای رشد و توسعه گیاه شناخته شده اند (۱۸). در سیستم‌های کشاورزی رایج از کود شیمیایی به طور گسترده برای افزایش تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (۹). کودهای شیمیایی به‌دلیل معدنی بودن بلافاصله عناصر را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند و از همین رو باعث افزایش سرعت رشد و عملکرد کمی گیاه در زمان کمتر می‌شوند (۲۷ و۴۵). با این حال کاربرد بی‌رویه کودهای شیمیایی دارای مضرات زیادی است که از آن جمله می‌توان به آلودگی‌های زیست محیطی، تخریب ساختمان خاک و تأثیر نامطلوب بر سلامت انسان اشاره نمود (۳۲).

کودهای آلی از جمله بقایای گیاهی، فرآورده‌های طبیعی هستند که سبب محافظت بلند مدت از منابع طبیعی می‌شوند. کاربرد این کودها به‌دلیل دارا بودن عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف و آزادسازی تدریجی آن‌ها ، در تأمین نیازهای گیاه و حفظ پایداری محیط تأثیر بسزایی دارند و سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شوند (۶). بیوچار و سرکه چوب نیز از دیگر کودهای آلی هستند. بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن پایدار می‌باشد که در نتیجه تجزیه حرارتی (گرماکافت) مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن کم در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود (۳۹). بیوچار با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، جذب عناصر غذایی و در نهایت عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد. کود آلی سرکه چوب، نیز مایعی قهوه‌ای رنگ است که از فرایند پیرولیز مواد آلی حاصل می‌شود. این کود، pH پایین و ماده آلی بالایی دارد. اسید استیک مهمترین ترکیب تشکیل دهنده آن است و از سایر ترکیبات آن می‌توان به متانول، کتون و استر اشاره نمود (۲۹). سرکه چوب، قدرت جذب عناصر غذایی از خاک توسط گیاهان و همچنین توانایی سیستم دفاعی گیاهان را افزایش می‌دهد و خاک را غنی می‌کند (۳۸). کاربرد کودهای زیستی به‌دلیل نقش مؤثر و مثبت آن‌ها در بهبود فعالیت میکروبی خاک و افزایش تنوع زیستی یکی از استراتژی‌های مهم در دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار است (۳۶ و ۱۴). بیشتر میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در افزایش فراهمی به عناصر غذایی برای گیاه و در نهایت بهبود رشد گیاه ایفا می‌کنند (۱۹). قارچ میکوریزا یکی از کودهای زیستی است که به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاه در سیستم کشاورزی پایدار، مورد استفاده قرار می‌گیرد و اثرات مثبت بر رشد و تغذیه گیاهان داشته و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد (۱۷).

کرچک گیاهی یکساله و متعلق به تیره‌ی فرفیون است. ایران یکی از تولید کنندگان کرچک در دنیا است بر اساس گزارش سایت فائو ایران در سال ۲۰۲۱ دارای ۱۶ هکتار کرچک و تولید ۵۶/۲۷ تن کرچک بوده است (۱۰). روغن کرچک به عنوان مسهل و ملین در صنایع دارویی کاربرد دارد. هم‌چنین روغن کرچک در صنایع آرایشی و بهداشتی، صنعتی، تولید لاستیک، رنگ،

گریس و به عنوان افزودنی‌های سوخت و بیوپلیمر نیز کاربرد گسترده‌ای دارد (۱۱).

مدیریت تغذیه گیاه یکی از عوامل اصلی تعیین کننده رشد و ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان محسوب می‌شود. اهمیت این امر در مورد گیاهان دارویی و کم نیازی مانند کرچک که امکان تولید آن در سیستم‌های کشاورزی پایدار، مقدور می‌باشد برای حفاظت از منابع ملی و احیای گیاهان فراموش شده در الگوهای کشت ضروری می‌باشد.

در سال‌های اخیر، تحقیقاتی در زمینه تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای مانند کمپوست و اسید هیومیک (۲) ، میکوریز (۴۷، ۱۶)، نانوکلات روی (۳۵)، کودهای نیتروژن و گوگرد (۴۶) بر کرچک انجام شده اما تاکنون تحقیقی در مورد تأثیر بیوچار و سرکه چوب بر خصوصیات کرچک مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر این سرکه چوب در مورد گیاهان مختلف فقط در تحقیقات خیلی محدود گلخانه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته است. بنابراین پژوهش حاضر در راستای توسعه کشاورزی پایدار و احیای کشت این گیاه مهم در الگوی کشت کشور با هدف مقایسه تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و میکوریزا بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد، روغن و عناصر غذایی گیاه دارویی کرچک (***Ricinus communis* L.**) انجام گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج با ارتفاع ۱۸۶۶متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ۴۷/۱۸ درجه شرقی و ۳۵/۱۸ درجه شمالی انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح کود (شاهد، کودآلی، بیوچار، سرکه چوب و کود شیمیایی) و کاربرد میکوریزا گونه *Rhizophagus irregularis* در دو سطح (مایه‌زنی و عدم مایه‌زنی) بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه برداری تصادفی مرکب از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نقاط مختلف خاک صورت گرفت و نمونه نهایی پس از مخلوط کردن آن‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. سپس ازالک دو میلی‌متری عبور داده شد و هوا خشک گردید. ویژگی‌های خاک از قبیل بافت خاک به روش هیدرومتری (۴)، pH و هدایت الکتریکی هر دو سوسپانسیون نسبت ۱ به ۲ (خاک به آب) به‌ترتیب به کمک دستگاه pH متر و هدایت سنج ، ماده آلی خاک (۴۱)، نیتروژن بر اساس روش کجلدال (۵)، فسفر (۳۰)، پتاسیم (۳) ،آهن، روی، منگنز و مس (۲۴) اندازه‌گیری شدند. نتیجه تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است. کود آلی مورد استفاده در این آزمایش، کود کامل گرانوله تولید شده از پسماندهای گیاهی و برگ درختان جنگلی و باغی بود که از شرکت گلشن کود ایرانیان تهیه شد. مقدار کاربرد این کود ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. بیوچار مورد استفاده از شاخ و برگ هرس شده درختان هلو و زردآلو تولید شده بود که همراه با سرکه چوب از شرکت دانش بنیان فصل پنجم تهیه گردید. بیوچار نیز به مقدار ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و سرکه چوب به‌مقدار ۹۰ لیتر در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. ویژگی‌های بیوچار، کود آلی و سرکه چوب در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. برای کود شیمیایی نیز از کودهای اوره + سوپرفسفات تریپل با مقادیر به‌ترتیب ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. قارچ میکوریزا از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان تهیه شد. قارچ میکوریزا با ۱۵۰ اسپور قارچ در هر گرم، به میزان ۴۰ گرم در هر متر مربع زمین، در زمان کاشت به‌صورت نواری در کنار بذور استفاده شد.

هر کرت دارای شش خط کاشت به طول شش متر بود. فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. فواصل بین کرت‌ها ۱/۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر بود. کودهای مورد استفاده قبل ازکاشت به خاک اضافه شد. در مورد

کود اوره به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. بخش اول آن قبل از کاشت و بخش دوم آن، در مرحله به ساقه رفتن گیاه مورد استفاده قرار گرفت.کاشت در تاریخ ۱۴۰۱/۲/۲۰ انجام گردید. بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری انجام شد و در طول دوره رشد گیاه، آبیاری هفته‌ای یک‌بار انجام شد. سیستم آبیاری مورد استفاده در این پژوهش، سیستم آبیاری قطره‌ای بود. پس از پایان دوره رشد، گیاهان در تاریخ ۱۴۰۱/۷/۳۰ برداشت شدند.

در این مطالعه، صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد روغن دانه و عملکرد روغن مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی در هر کرت انتخاب و صفات مورد نظر ارزیابی شدند. برداشت از مساحت ۲/۲۵ متر مربع با حذف اثر حاشیه انجام شد. درصد روغن نمونه‌های بذری با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال ان هگزان تعیین گردید (۱۴). عملکرد روغن نیز از طریق حاصلضرب درصد روغن در عملکرد دانه محاسبه گردید (۲۵). در دانه گیاه، غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز با دستگاه‌های کجلدال، اسپکتروفتومتر و فلیم فتومتر به‌ترتیب اندازه‌گیری شدند (۱۱).

تجزیه وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمونLSD استفاده شد.

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table (1) The physical and chemical properties of the experimental soil

مس Copper mg kg^{-1}	منگنز Manganese mg kg^{-1}	روی Zinc mg kg^{-1}	آهن Iron mg kg^{-1}	پتاسیم Potassium mg kg^{-1}	فسفر Phosphorus (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC dS m^{-1}	pH	بافت texture
1.6	8.2	2.1	5.3	540	4.6	0.08	0.7	0.7	8.01	Loamy

جدول (۲) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار، کود آلی و سرکه چوب مورد استفاده در این آزمایش

Table (2) The physical and chemical properties of the biochar, organic fertilizer, and wood vinegar used in this experiment

کبالت Co mg kg^{-1}	سلنیم Se mg kg^{-1}	منگنز Mn mg kg^{-1}	مس Cu mg kg^{-1}	آهن Fe mg kg^{-1}	روی Zn mg kg^{-1}	منیزیم Mg mg kg^{-1}	کلسیم Ca mg kg^{-1}	گوگرد S %	پتاسیم K %	فسفر P %	نیتروژن N %	کربن C %	pH	کودها Fertilizers
-	-	-	27.86	1263	73.4	317.1	4.26	-	0.17	0.14	0.79	48.06	8.20	بیوچار Biochar
-	-	0.95	0.22	0.81	0.75	-	-	8.12	3.57	1.32	4.01	24.11	5.41	کود آلی Organic fertilizer
0.3	0.01	6	1.5	812.5	8	34.68	23.1	0.03	0.1	0.1	2.76	9.86	3.27	سرکه چوب Wood vinegar

نتایج و بحث

ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر میکوریزا بر صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه کرچک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر کود بر صفات مذکور به جز وزن هزار دانه معنی‌دار بود و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد تیمار مایه‌زنی با قارچ میکوریزا در ترکیب با کودشیمیایی، بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۵/۶ سانتی متر) را به خود اختصاص داد که با تیمار تلفیقی مایه‌زنی میکوریزا و کود آلی اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند. کمترین ارتفاع بوته (۷۸/۱۶ سانتی-متر) نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱). کودهای آلی، بیوچار، سرکه چوب وکود شیمیایی موجب افزایش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته نسبت به تیمار شاهد شدند. بیشترین تعداد کپسول در بوته و بالاترین تعداد دانه در بوته به تیمار کودآلی اختصاص داشت (شکل-های ۲ الف و ۳ الف). تیمار مایه‌زنی با قارچ میکوریزا نیز با بهبود معنی‌دار صفات نامبرده، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه را نسبت به تیمار عدم مایه‌زنی به‌ترتیب ۱۶ و ۲۳ درصد افزایش داد (شکل‌های ۲ ب ، ۳ ب و ۴). میکوریزا، از طریق نفوذ در حفرات بسیار ریز خاک که برای ریشه‌های مویین قابل دسترس نیست و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش جذب سیستم ریشه‌ای گیاه و به دنبال آن، افزایش جذب عناصر کم‌مصرف و پر مصرف، به‌ویژه فسفر می‌شود و از این طریق، بر وضعیت رشدی گیاه اثرات مثبتی برجای می گذارد (۸). بر اساس نتایج سایر تحقیقات میکوریزا ارتفاع بوته را در گیاهان سیاهدانه (۲۱) و مرزه (۳۱) افزایش داده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

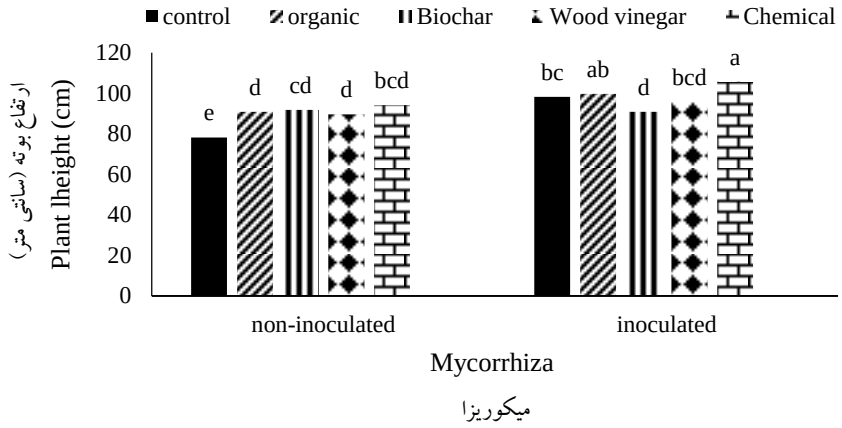
جدول (۳) تجزیه واریانس اثر میکوریزا و کود بر ویژگی‌های مورفولوژیک کرچک

Table (3) Variance analysis of the effect of mycorrhiza and fertilizer effect on the morphological traits of castor bean

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean of Squares			
		ارتفاع بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه
Source of variation	df	Plant height	capsules number per plant	Grains number per capsule	1000 grain weight
تکرار (Replication)	2	19.36 ns	4.80 ns	15.63 ns	1648.28 ns
میکوریزا(Mycorrhiza (M))	1	628.83**	224.13**	1273.63**	13271.19**
کوددهی(Fertilization (F))	4	115.34**	523.58**	576.96 **	1086.38 ns
F×M	4	87.89**	1.71ns	115.63 ns	1237.32 ns
خطا (Error)	18	16.16	3.39	90.44	1468.45
ضریب تغییرات (C.V.)		12.15	2.52	7.06	18.78

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

**, and ns show statistical significance at the P< 0.01 levels and non-significance, respectively.

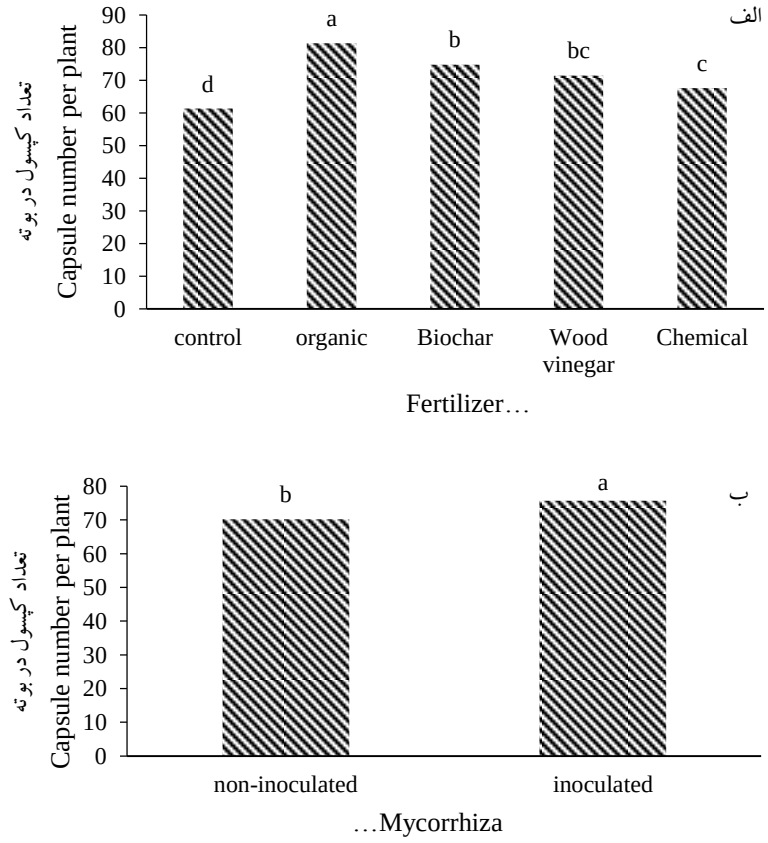


شکل (۱) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر ارتفاع بوته کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (1) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the plant height of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.

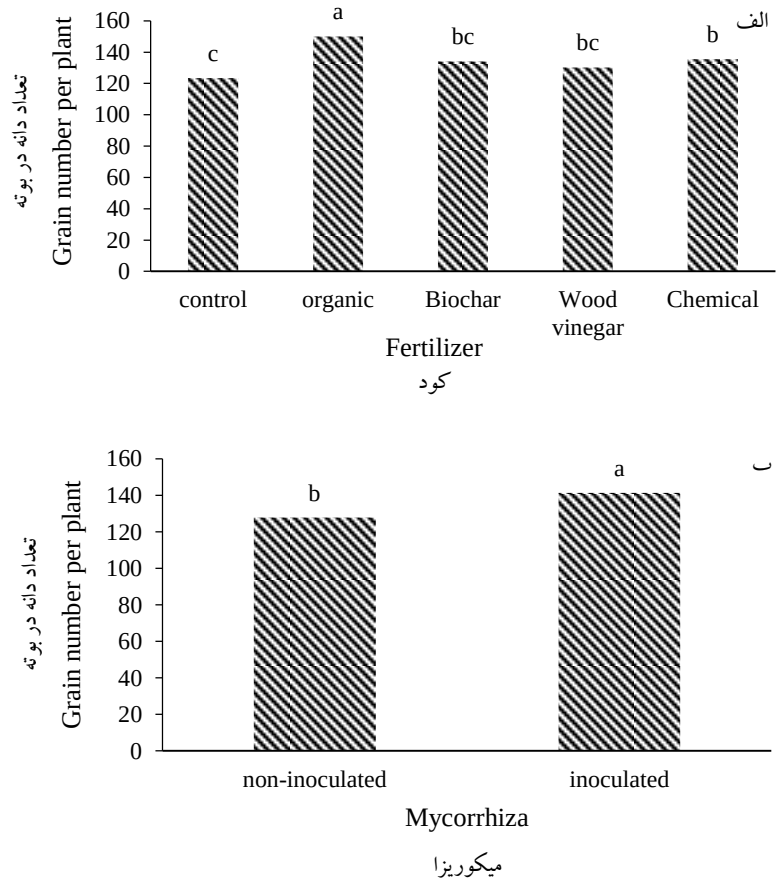


شکل (۲) مقایسه میانگین اثرکود (الف) و میکوریزا (ب) بر تعداد کپسول در بوته کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (2) Mean comparison of the fertilizer (A) and mycorrhiza (B) effect on the capsule number per plant of castor bean

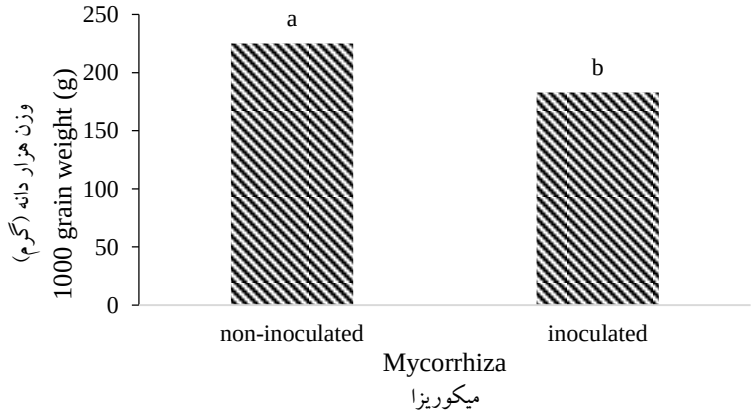
The columns with same letters have no statistically significant difference.



شکل (۳) مقایسه میانگین اثرکود (الف) و میکوریزا (ب) بر تعداد کپسول در بوته کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (3) Mean comparison of the fertilizer (A) and mycorrhiza (B) effect on the grain number per plant of castor bean
The columns with same letters have no statistically significant difference.



شکل (٤) مقایسه میانگین اثر میکوریزا بر وزن هزار دانه کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (4) Mean comparison of the mycorrhiza effect on the 1000 grain number weight of castor bean
The columns with same letters have no statistically significant difference.

در پژوهشی، تیمار کود زیستی به همراه کود شیمیایی با افزایش سطح سبز فتوسنتزکننده موجب افزایش جذب و انتقال مواد فتوسنتزی و هورمون‌های محرک رشد به مریستم‌های انتهایی و جانبی شده و در نتیجه موجب افزایش ارتفاع گیاه مرزه شده است (۱۲) که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. علاوه بر این محققان گزارش کردند که کود آلی موجب افزایش ارتفاع بوته زیره سبز شده است (۳۷). به نظر می‌رسد باتوجه به بالاتر بودن میزان عناصرغذایی به ویژه نیتروژن در کود آلی و حضور میکوریزا، بهبود رشد رویشی گیاه و در نهایت افزایش ارتفاع بوته گیاه میسر می‌گردد. عناصر غذایی در کودهای آلی، به آهستگی آزاد می‌شود و در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و تا انتهای فصل رشد می‌توانند عناصرغذایی مورد نیاز گیاه را تأمین نمایند. مصرف کودهای آلی موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزار دانه رازیانه شده است (۲۸). جذب فسفر و نیتروژن به میزان کافی، در دوره رشد گیاه از اهمیت خاصی برخوردار است، این اهمیت در اندام‌های زایشی، بیشتر مشهود است این عناصر در تشکیل بذر نقش اساسی داشته و به مقدار زیادی در بذر و میوه یافت می‌شود. در گزارشی کاربرد کودهای آلی به همراه کودهای زیستی موجب افزایش خورجین و تعداد دانه در خورجین در کلزا شده است (۴۲).

بیوچار به طور مستقیم از طریق افزودن عناصر غذایی به خاک، حفظ عناصر غذایی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش میکروارگانیسم‌های مفید خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (۱۳) موجب بهبود رشد گیاهان می‌شود که نتایج تحقیقات اثر مثبت بیوچار پوست درخت اکالیپتوس بر تعداد دانه در ذرت را نشان داده است (۳۹). سرکه چوب نیز حاوی عناصرکم مصرف و پرمصرف شامل پتاسیم، آهن، منگنز، فسفر، آلومنیوم، مس، کلسیم و روی است. این عناصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه و افزایش فتوسنتز نقش دارند. همچنین بر اساس نتایج سایر پژوهش‌ها با کاربرد سرکه چوب، تعادل ترکیب‌های گیاهی همچون تنظیم کننده‌های رشد تغییر نموده و موجب بهبود رشد گیاهان می‌شود (۲۹ و ۴۸). سایر پوهشگران گزارش کردند که قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار صفات مورفولوژیک و تعداد دانه در گیاه بارهنگ گردیده است (۳۳) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. با توجه به اینکه فسفر، در افزایش تعداد دانه در بوته و نیز انتقال انرژی حاصل از فتوسنتز نقش مهمی دارد، بنابراین افزایش تعداد دانه در اثر کاربرد میکوریزا را می‌توان به افزایش فراهمی فسفر نسبت داد.

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر میکوریزا، کود و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه و بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها،کودهای مختلف آلی، بیوچار، سرکه چوب و شیمیایی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک کرچک نسبت به تیمار شاهد شدند. بیشترین مقادیر عملکردهای دانه (۱۲۸۱/۷ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۳۶۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تلفیقی کود آلی و مایه‌زنی با میکوریزا حاصل شد. بطوری که تیمار مذکور عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب ۳۶/۵ و ۲۴ درصد افزایش دادند (شکل‌های ۵ و ۶). در شرایط مایه‌زنی با میکوریزا به‌دلیل بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای گیاهان همزیست، دسترسی به منابع موجود به ویژه رطوبت و موادغذایی همچون فسفر افزایش می‌یابد که موجب افزایش رشد و افزایش اجزای عملکرد و در نهایت عملکردگیاه می‌شود. نتایج تحقیقی نشان داد میکوریزا از طریق بهبود شرایط تغذیه ای و افزایش فراهمی فسفر موجب افزایش عملکرد رازیانه (۲۰) و سیاهدانه (۲۲) شده است. یافته‌های پژوهش دیگری حاکی از این بود که کاربرد میکوریزا و

کود آلی از طریق فراهمی رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه رازیانه شده است (۷). کودهای آلی با افزایش قابلیت دسترسی نیتروژن و فسفر برای گیاه موجب افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند که در افزایش سنتز ترکیباتی مانند پروتئین، کربوهیدرات‌ها و غیره مؤثر است و عملکرد بیولوژیکی گیاه افزایش می‌یابد (۲۲). تأثیر بیوچار بر گیاه به فاکتورهای مختلفی از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، دمای تهیه بیوچار و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار ونوع گیاه بستگی دارد (۳۹).

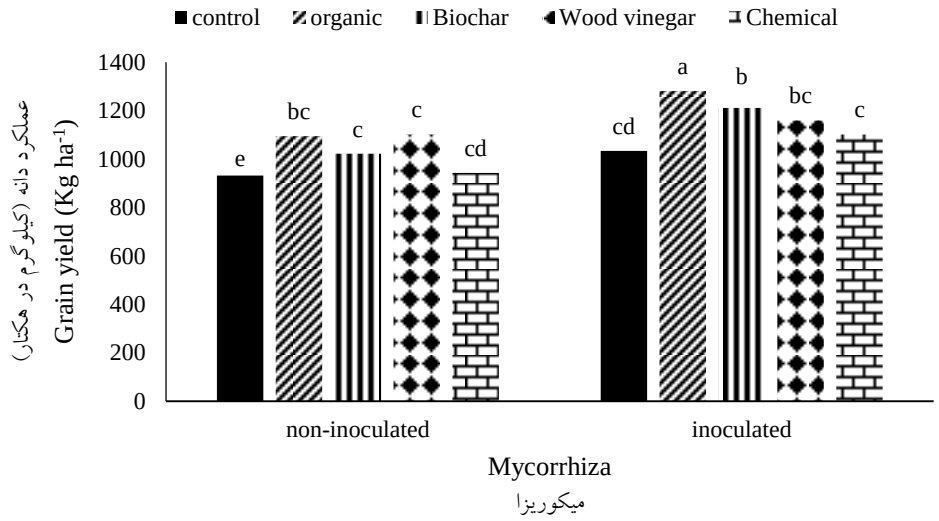
جدول (٤) تجزیه واریانس اثر میکوریزا و کود بر عملکرد و روغن کرچک

Table (4) Variance analysis of the effect of mycorrhiza and fertilizer on the yield and oil of castor bean

		میانگین مربعات Mean of Squares			
منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	محتوای روغن Oil percentage	عملکرد روغن oil yield
تکرار (Replication)	2	50.45 ns	2312.04 ns	0.81 ns	166.64 ns
میکوریزا(Mycorrhiza (M)	1	120207/9 **	872990.91 **	92.03 **	68675.27 **
کوددهی(Fertilization (F)	4	29061.7 **	224923.26 **	54.89 **	27226.24 **
(F×M)	4	443.6 **	217761.61 **	1.87 *	793.62 **
خطا (Error)	18	191.81	4794.61	0.61	67.88
ضریب تغییرات (C.V.)		17.28	12.26	7.10	11.66

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

**, and ns show statistical significance at the P< 0.01 levels and non-significance, respectively.

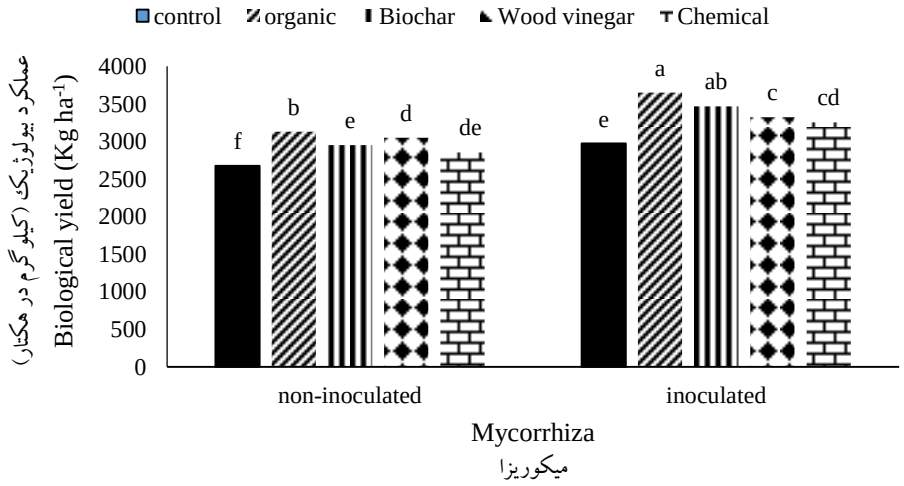


شکل (۵) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر عملکرد دانه کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (5) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the grain yield of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.



شکل (٦) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر عملکرد بیولوژیک کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (6) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the biological yield of castor bean

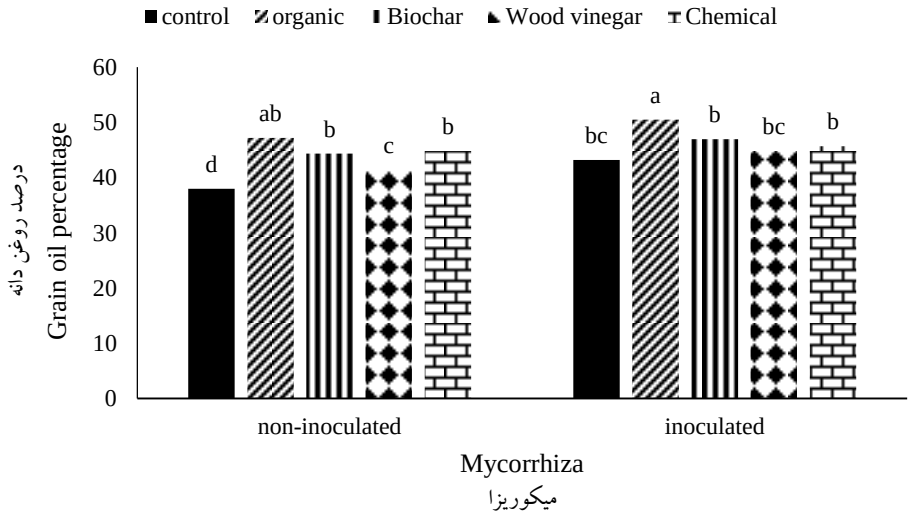
The columns with same letters have no statistically significant difference.

بیوچار به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، از طریق افزایش دسترسی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گیاهان می‌شود (۴۰). سرکه چوب نیز موجب افزایش

جمعیت‌ریزجانداران مفید خاک شده و با توسعه ریشه گیاه، نهایتا مواد غذایی بیشتری جذب گیاه می‌شود و رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد (۲۹). کودشیمیایی نیز با فراهمی سریع عنصر مشخص، می‌تواند عملکرد گیاه را افزایش دهد ولی به نظر می‌رسد به‌دلیل اثرات آنتاگونیستی آن با کود زیستی میکوریزا نتوانسته همچون کود آلی و بیوچار در افزایش عملکرد کرچک موفق باشد.

درصد روغن و عملکرد روغن

اثرات اصلی و اثر متقابل کود و میکوریزا بر درصد و عملکرد روغن کرچک معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف به همراه مایه‌زنی با قارچ میکوریزا در افزایش درصد روغن گیاه کرچک بیشتر از تأثیر استفاده از کود بود. قارچ میکوریزا توام با کودهای مختلف به طور معنی‌داری موجب افزایش درصد روغن گیاه کرچک شد. بیشترین میزان درصد روغن در تیمار تلفیقی کود آلی و میکوریزا (۵۰/۵ درصد) مشاهده شد که محتوای روغن کرچک را نسبت به تیمار شاهد ۳۳/۲ درصد افزایش داد (شکل ۷). کود آلی در مقایسه با سایر تیمارها نقش بیشتری در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه داشت. به طوری که تیمار تلفیقی کود آلی و میکوریزا بالاترین عملکرد روغن (۵۸۸/۵ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد، کمترین مقدار آن (۳۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص دادند (شکل ۸). عملکرد روغن به عنوان عملکرد اقتصادی در گیاهان روغنی با تغییردرصد روغن دانه وعملکرد مرتبط است. بهبود عملکرد روغن در نتیجه کاربرد تیمارهای کودی، به ویژه تیمار تلفیقی می‌تواند ناشی از افزایش درصد روغن و عملکرد دانه باشد (۴۳). دانه کرچک منبع روغن کرچک می‌باشد که دارای طیف گسترده‌ای از کاربردها می‌باشد. دانه‌ها شامل ۴۰ تا ۶۰ درصد روغن که غنی از تری گلیسیرید و عمدتاً ریکینولئین می‌باشد هستند. روغن کرچک، یک تری گلیسیرید است که از نظر شیمیایی به‌صورت یک مولکول گلیسرول با هر سه گروه هیدروکسیل با اسید چرب با زنجیره بلند استری، می‌باشد. ترکیبات روغن و اجزای آنها نیاز به نیتروژن و فسفر دارند.

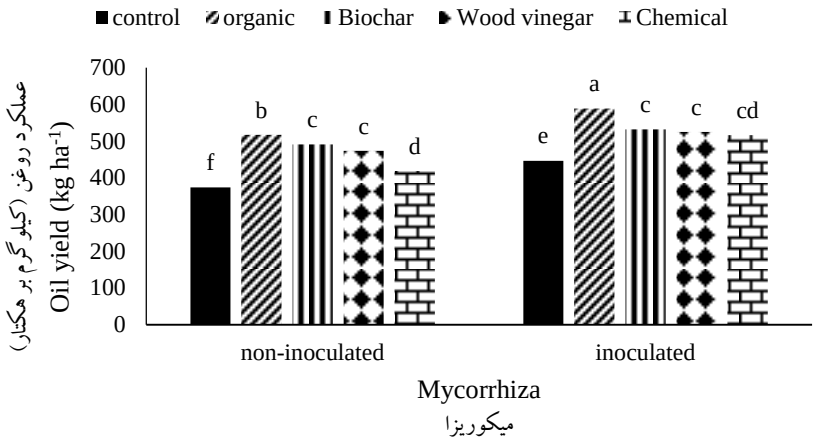


شکل (۷) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر درصد روغن دانه کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (7) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the grain oil percentage of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.



شکل (۸) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر عملکرد روغن کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (8) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the oil yield of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.

اسیدهای چرب موجود در روغن کرچک شامل ریسینولئیک، اولئیک، استئاریک، پالمیتیک، لینولئیک، لینولنیک اسید. در میان آنها، اسید ریسینولئیک، اسید چرب اسید غالب است که حدود ۷۵ تا ۹۰ درصد روغن را تشکیل می‌دهد (۴۴). میکوریزا با حل کردن فسفر تثبیت شده در خاک موجب افزایش دسترسی فسفر توسط گیاه و افزایش رشد و میزان روغن گیاه می‌شود. همچنین این قارچ موجب بهبود تولیدات گیاهی از طریق تولید متابولیسم‌های ثانویه می‌شود (۱۵). تلفیق میکوریزا و کود آلی تمام عناصر ضروری گیاه در طول دوره رشدی و موجب افزایش نیتروژن و افزایش رشد رویشی در اوایل دوره رشد می‌شود. با افزایش رشد زایشی و رویشی موجب افزایش عملکرد دانه و میزان روغن دانه می‌شود (۱۵ و ۸).کافی بودن میزان نیتروژن موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و تثبیت کربن فتوسنتزی می‌شود و این امر منجر به ذخیره بیشتر کربوهیدرات در گیاه می‌شود. کربوهیدرات‌ها می‌توانند به لیپید تبدیل شده و درهنگام پر شدن دانه به دانه‌ها انتقال پیدا کنند و سهم بیشتری از ترکیب بذر را به خود اختصاص دهند (۴۶). بنابراین می‌توان گفت بیوچار و سرکه چوب نیز با افزایش جذب نیتروژن کرچک (شکل ۹ب) سبب افزایش درصد و عملکرد روغن این گیاه شدند. سایر پژوهشگران نیز افزایش عملکرد روغن ذرت تحت تأثیر بیوچار را به اثر مثبت این اصلاح کننده خاک در بالا بردن قابلیت جذب و فراهمی نیتروژن و جلوگیری از آبشویی نیتروژن نسبت داده‌اند (۳۹).

غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات کود و میکوریزا بر غلظت هر سه عنصر در دانه معنی‌دار بود اما اثر متقابل آن‌ها فقط بر فسفر دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۵).

نتایج این پژوهش نشان داد مایه‌زنی با قارچ میکوریزا و استفاده از کودهای مختلف به طور معنی‌داری موجب افزایش میزان نیتروژن گیاه کرچک نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۹ الف و ب). بیشترین میزان نیتروژن متعلق به تیمار کود آلی (۲۳/۸ گرم بر کیلوگرم) بود که با تیمار کود شیمیایی (۲۲/۹ گرم بر کیلوگرم) در یک گروه آماری قرار گرفتند. از نظر مقدار فسفر نیز تیمارهای مذکور در ترکیب با میکوریزا بالاترین مقدار این عنصر را به خود اختصاص دادند و تلفیق بیوچار و میکوریزا نیز در رده بعدی قرار گرفت (شکل ۱۰).

جدول (۵) تجزیه واریانس اثر میکوریزا و کود بر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه کرچک

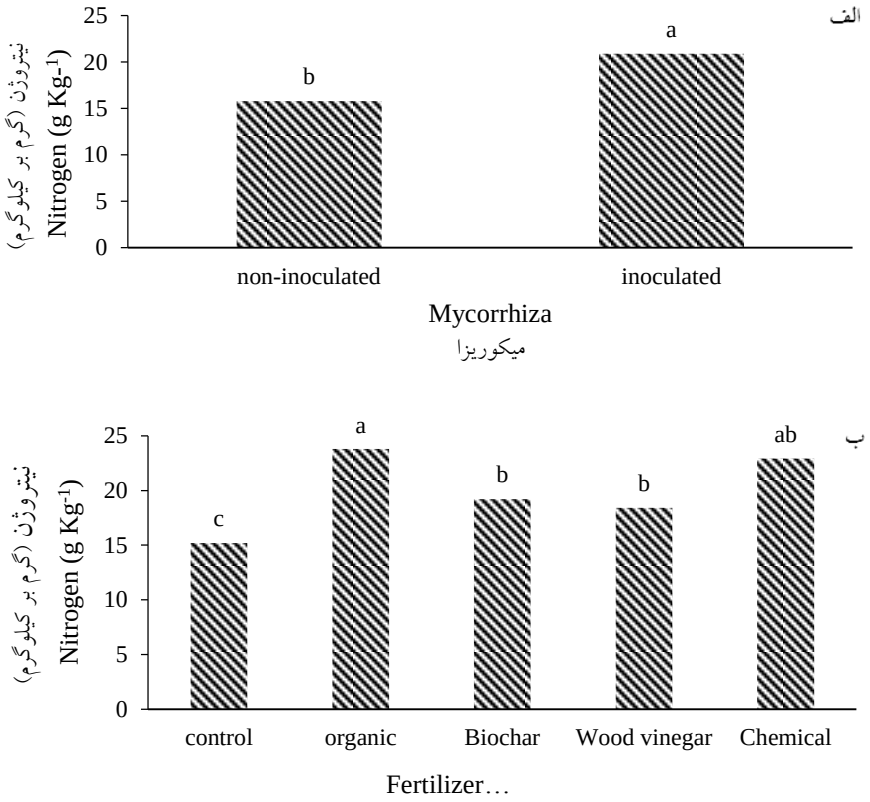
Table (5) Variance analysis of the effect of mycorrhiza and fertilizer on the *seed NPK* content of castor bean

میانگین مربعات Mean of Squares				
پتاسیم k	فسفر P	نیتروژن N	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
0.014 ns	0.001 ns	0.003 ns	2	تکرار (Replication)
0.021 **	0.064 **	0.11 **	1	میکوریزا((Mycorrhiza (M)
0.059 **	0.47 **	0.14 **	4	کوددهی((Fertilization (F)
0.006 ns	0.027 **	0.003 ns	4	F×M
0.001	0.002	0.005	18	خطا (Error)
10.12	7.88	6.48		ضریب تغییرات (C.V.)

** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و غیرمعنی‌دار می‌باشد.

**, and ns show statistical significance at the P< 0.01 levels and non-significance, respectively.

یکی از مزایای میکوریزا، افزایش توان گیاه در جذب فسفر از خاک و کاهش مؤثر تلفات عناصر غذایی نیتروژن و فسفر از خاک است (۱ و ۳۴). در واقع با نفوذ هیف‌های میکوریزا به داخل منافذ غیرقابل دسترس خاک، هیف‌های خارج سلولی قارچ‌های میکوریزا سطح جذبی ریشه را افزایش می‌دهند که سبب جذب بیشتر آب و مواد مغذی می‌شود. قارچ‌های میکوریزا ترکیبات اکسین مانندی ترشح می‌کنند که رشد طولی ریشه و جذب آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهند(۸). کودهای آلی نیز با بهبود ساختمان خاک، نگهداری رطوبت در خاک و افزایش فعالیت میکروارگانیسمهای خاک موجب افزایش عناصر ضروری قابل دسترس برای گیاه می‌شوند (۲۴). بنابراین می‌توان گفت اثرات سینرژیستی کودهای آلی و میکوریزا با بهبود شرایط خاک سبب افزایش جذب عناصر غذایی دانه کرچک شد. در ارتباط با پتاسیم نیز علاوه بر اثر معنی دار مایه‌زنی میکوریزا، کودها نیز نقش موثری بر افزایش این عنصر داشتند که بالاترین مقدار آن به کود آلی اختصاص داشت (شکل۱۱ الف و ب). نتایج سایر پژوهش‌ها بیانگر اثر افزایشی میکوریزا بر میزان نیتروژن گیاهان می‌باشد (۸). بر اساس گزارش محققان، کود آلی و بیوچار موجب افزایش نیتروژن، فسفر و پتاسیم در رازیانه و مرزه (۷ و ۱۲) شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. محققان دیگر استفاده از بیوچار را در سیستم‌های کشاورزی، به عنوان یک تکنیک مدیریت عناصر غذایی در کنار مصرف کودهای شیمیایی از نظر اقتصادی قابل توجیه می‌دانند (۳۹) و معتقدند با استفاده مداوم از بیوچار می‌توان کارآیی استفاده از نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک را افزایش داد. بیوچار موجب افزایش کارآیی استفاده عناصر غذایی در گیاهان می‌شود و به بهبود کیفیت خاک، افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد گیاه کمک می کند (۳۹).

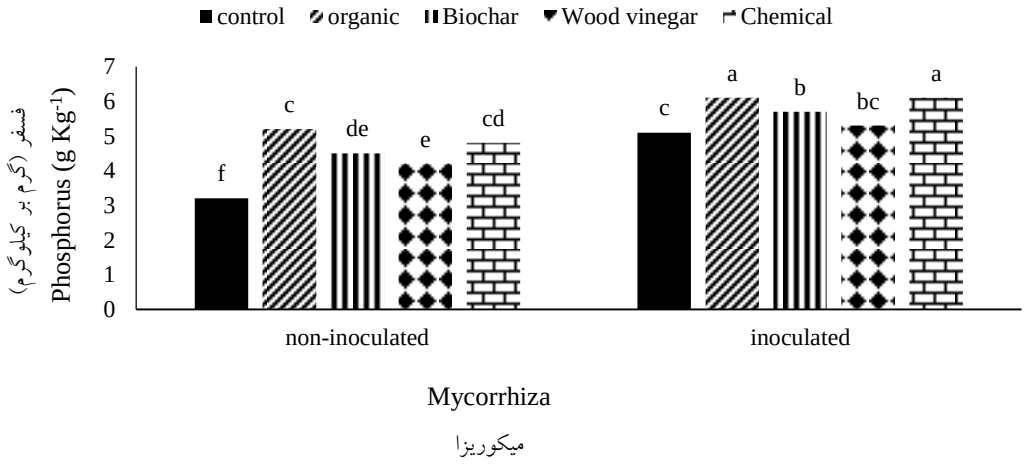


شکل (۹) مقایسه میانگین اثرمیکوریزا (الف) و کود (ب) بر نیتروژن دانه کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (9) Mean comparison of the mycorrhiza (A) and fertilizer (B) effect on the grain nitrogen content of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.

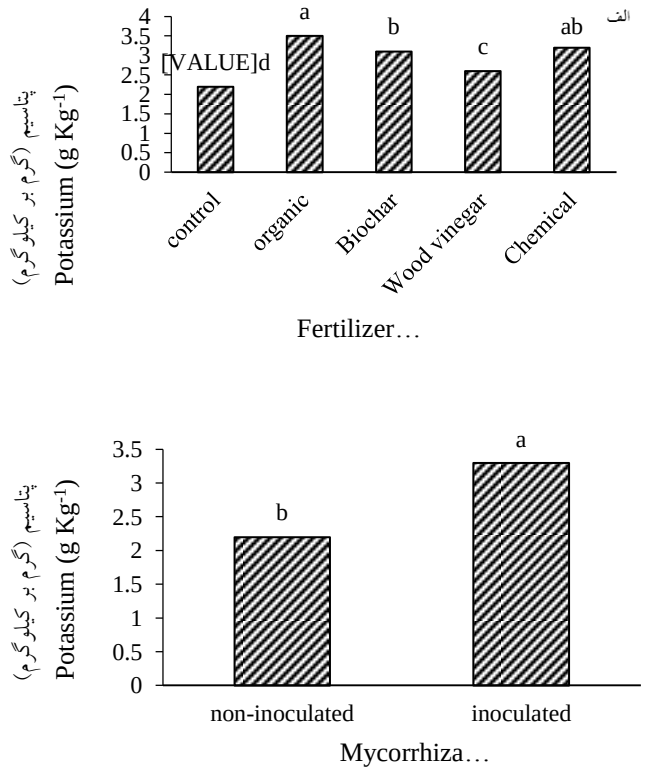


شکل (۱۰) مقایسه میانگین اثر متقابل میکوریزا و کود بر فسفر دانه کرچک

ستون‌های با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (10) Mean comparison of the interaction effect of mycorrhiza and fertilizer on the grain phosphorus content of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.



شکل (۱۱) مقایسه میانگین اثر کود (الف) و میکوریزا (ب) بر پتاسیم دانه کرچک

ستونهای با حروف یکسان از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

Figure (11) Mean comparison of the fertilizer (A) and mycorrhiza (B) effect on the grain potassium content of castor bean

The columns with same letters have no statistically significant difference.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این آزمایش نشان داد اثرات ساده و برهمکنش تیمارهای میکوریزا و کودهای مختلف از جمله کود آلی، بیوچار، سرکه چوب و کود شیمیایی سبب بهبود ویژگی‌های رشدی کرچک نسبت به تیمار شاهد شدند. مایه‌زنی میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار صفات مورفولوژیک، روغن و عناصر غذایی کرچک گردید. کودهای آلی و بیوچار نیز در اکثر صفات توانایی رقابت و حتی در برخی صفات، برتری نسبت به کود شیمیایی را داشتند. تیمار تلفیقی میکوریزا و کود آلی تأثیر بیشتری در بهبود ویژگی‌های کرچک به ویژه عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن و میزان فسفر دانه آن داشت. با توجه به اینکه امروزه از کودهای شیمیایی بیش از حد استفاده می‌شود و مصرف بی‌رویه این کودها در بلندمدت می‌تواند سبب کاهش کیفیت خاک شده و پیامدهای منفی بر سلامت محیط زیست و سلامتی انسان داشته باشد. بنابراین می‌توان استفاده تلفیقی از میکوریزا و کودهای آلی را در شرایط مشابه خاک مورد مطالعه را مورد توجه قرار داد.

References

1. Adeyemi, N. O., Atayese, M. O., Sakariyawo, O. S., Azeez, J. O., Olubode, A. A., Ridwan, M., and Ibrahim, I. 2021. Influence of different arbuscular mycorrhizal fungi isolates in enhancing growth, phosphorus uptake and grain yield of soybean in a phosphorus deficient soil under field conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 52(10): 1171-1183. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1879117

2. Amiri, M.B., and Esmaeilian, Y. 2021. Effect of humic acid spraying and different levels of spend mushroom compost (SMC) on morphological characteristics and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.). Agricultural Science and Sustainable Production, 31(3): 249-270. https://doi.org/10.22034/saps.2021.39424.2477 (In Persian)

3. Botha, C.R., and Webb, M.M. 1952. The versenate method for the determination of calcium and magnesium in mineralized waters containing large concentration of interfering ions. Journal of Institute of Water Engineers, 6: 11-22.

4. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making partical sis analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

5. Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-Total. In: Al P, Keeney DR, Baker DE, Miller RH, editors. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edn. Madison, Wisconsin: SSSA, ASA. p. 594–624, https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

6. Covacevich, F., and Echeverria, H.E. 2008. Receptivity of an Argentinean pampas soil to arbuscular mycorrhizal *Glomus* and *Acaulospora* strain. World Journal of Agricultural Sciences, 4: 688-698.

7. 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 Crops Sciences, 10: 88-109. 20.1001.1.15625540.1387.10.1.7.0 (In Persian)

8. Diaz-Urbano, M., Goicoechea, N., Velasco, P., and Poveda, J. 2023. Development of agricultural bioinoculants based on mycorrhizal fungi and endophytic filamentous fungi: co-inoculants for improve plant-physiological responses in sustainable agriculture. Biological Control, 182(105223), 1-21. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105223

9. Erfani, R., Yaghoubian, Y., and Pirdashti, H. 2020. The contribution of chemical, organic and bio-fertilizers on rice production in Iran: A meta-analysis. Russian Agricultural Sciences. 46(6): 596-601. https://doi.org/10.3103/S1068367420060130

10. FAOSATE .2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO database.

11. Ghazanshahi, J. 2019. Plant & Soil Analysis. Aeizh Publication. pp: 292. (In Persian)

12. Gholami Sharafkhane, E., Jahan, M., Banayan Avval, M., Koocheki, A., and Rezvani moghaddam, P. 2015. The effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, essential oil percentage and some agroecological characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under Mashhad conditions. Journal of Agroecology, 7(2): 179-189. https://doi.org/10.22067/jag.v7i2.50231(In Persian)

13. Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal- a review. Biology and Fertility of Soils, 35: 219-230. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4

14. Gryndler, M., Larsen, J., Hrselova, H., Rezacova, V., Gryndlerova, H., and Kubat, J. 2006. Organic and mineral fertilization, respectively, increase and decrease the development of external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in a long-term field experiment. Mycorrhiza, 16: 159–166. https://doi.org/10.1007/s00572-005-0027-4

15. Gupta, D. K., Rai, U. N., Tripathi, R. D., and Inouhe, M. 2002. Impacts of fly-ash on soil and plant responses. Journal of Plant Research, 115: 401–409. https://doi.org/10.1007/s10265-002-0057-3

16. Hazrati, S., Sadeghi-Bakhtvari, A.R., Kiani, D., and Zeinali, A. 2020. The effect of organic, biofertilizer, and chemical fertilizer on growth and yield of castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Plant Production Research, 27(2): 131-152. https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16303.2481(In Persian)

17. Hazzoumi, Z., Moustkime, Y., Elharchli, E., and Amranijoutei, K. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2: 10. https://doi.org/10.1186/s40538-015-0035-3

18. Heydar, L., Bayat, H.W., and Hamzeh, J. 2020. Short-term effects of biofertilizer application on some physical and chemical properties of soil. Journal of Water and Soil Conservation, 27(1): 71-89. https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.16986.3238 (In Persian)

19. Jalilia, J., Modarres-Sanavy, S.A.M., Saberali, S.F., and Sadat-Asilan, K. 2012. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. Field Crops Research, 127: 26–34. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.11.001

20. Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill. on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology, 93: 307-311. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.028

21. Khorramdel, S. 2008. Application effects of biofertilizers nitrogen and phosphor on the quality characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). M.Sc. Thesis, Fac. Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)

22. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Application effects of nitrogen and phosphorous biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research, 6 (2): 285-294. https://doi.org/10.22067/gsc.v6i2.2435 (In Persian)

23. Kumar, M., Ahmad, S., and Singh, R.P. 2022. Plant growth promoting microbes: Diverse roles for sustainable and ecofriendly agriculture. Energy Nexus, 7(100133), 1-11 https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100133

24. Lindsay, W., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421-428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

25. Luque-Garcıa, J.L. and Luque de Castro, M.D. 2004. Ultrasound-assisted Soxhlet extraction: an expositive approach for solid sample treatment Application to the extraction of total fat from oleaginous seeds. Journal of Chromatography A, 1034: 237-242. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.02.020

26. Mazaherinia, S., Astaraei, A., Fotovat, A., and Monshi, A. 2011. Effect of iron oxides (ordinary and nano) and municipal solid waste compost (MSWC) coated sulfur on wheat (*Triticum aestivum* L.) plant iron concentration and growth. Iranian Journal of Field Crops Research, 8(5): 855-861. https://doi.org/10.22067/gsc.v8i5.8029 (In Persian)

27. Moradi, S. 2015. Impact of sheep manure, urea and triple superphosphate on onion morphological properties. International Journal of Farming and Allied Sciences, 4(2): 167-170.

28. Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahallati, M., and Lakzian, A. 2009. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). Iranian Journal of Field Crops Research, 7: 625-635. 20.1001.1.20081472.1388.7.2.29.9 (In Persian)

29. Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., and Jothityangkoon, D. 2013. Wood vinegar and fermented bioextracts: natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Scientia Horticulturae, 154: 66-72. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.020

30. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analityca Chimica Acta, 27:31–36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5

31. Naiji, M., and Souri, M. 2015. Evaluation of growth and yield of savory (*Satureja hortensis*) under organic and biological fertilizers toward organic production. Journal of Plant Productions Agronomy, Breeding and Horticulture, 38 (3): 93-103. https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11456

32. Nieder, R., and Benbi, D. 2021. Reactive nitrogen compounds and their influence on human health: an overview. Reviews on Environmental Health, 37(2): 229–246. DOI: https://doi.org/10.1515/reveh-2021-0021

33. Paradi, I., Bratek, Z., and Lang, F. 2003. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus supply on polymine content, growth and photosynthesis of *Plantago anceolata*. Biologia Plantarum, 46: 563-569. https://doi.org/10.1023/A:1024819729317

34. Qiu, Q., Bender, S.F., Mgelwa, A S., and Hu, Y. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate soil nitrogen and phosphorus losses: A meta-analysis. Science of the Total Environment, 807(150857), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150857

35. Rahbari, A., Massoud Sinki, J., Damavandi, A., and Rezvan, S. 2019. Reflux of castor oil (*Ricinns communis* L.) to foliar application of nano-chelate on humic acid under restricted irrigation conditions. Agricultural Science and Sustainable Production, 29(2): 153-171. (In Persian)

36. Rahimi, A., Amirnia, R., Siavash Moghaddam, S., El Enshasy, H. A., Hanapi, S. Z., and Sayyed, R. Z. 2021. Effect of different biological and organic fertilizer sources on the quantitative and qualitative traits of *Cephalaria syriaca*. Horticulturae, 7: 397-405. https://doi.org/10.3390/horticulturae7100397

37. Saeid Nejad, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. Evaluate the effect of compost, vermicompost and manure on yield, yield components and essential oil of cumin (*Cuminum ciminum* L.). Journal of Horticultural Science, 24(2): 142-148. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i2.7987 (In Persian)

38. Shata, S.M., Mahmoud, A., and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Reacerch Journal of Agriculture and Biological Science, 3: 733-739.

39. Tanure, M. M. C., da Costa, L.M., Huiz, H. A., Fernandes, R.B.A., Cecon, P. R., Junior, J. D. P., and da Luz, J.M.R. 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. Soil and Tillage Research, 192: 164-173. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.007

40. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy, 34: 231-238. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.006

41. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 38-40.

42. Yasari, E., Azadgoleh, M. A., Mozafari, S., and Alashti, M. 2009. Enhancement of growth and nutrient uptake of rapeseed (*Brassica napus* L.) by applying mineral nutrients and biofertilizers. Pakistan Journal of Biological Science, 15: 12(2): 27-33. DOI: https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.127.133

43. Yeilaghi, H., Arzani, M, Ghaderian, R, Fotovat, M., and Feizi, S. S. 2012. Effect of salinity on seed oil content and fatty acid composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Food Chemistry, 130: 618-625. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.085

44. Yusuf, A., Mamza, P., Ahmed, A., and Agunwa, U. 2015. Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. International Journal of Science Environment and Technology, 4(5): 1392-1404.

45. Zambon, I., Colantoni, A., Carlucci, M., Morrow, N., Sateriano, A., Salvati, L., et al. 2017. Land quality, sustainable development and environmental degradation in agricultural districts: a computational approach based on entropy indexes. Environmental Impact Assessment Review, 64: 37–46. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2017.01.003

46. Zeinali, A., Sadeghi Bakhtvari, A., and Sarabi, V. 2017. Investigation of nitrogen and Sulphur effects on quantitative and qualitative characteristics of castor bean seed (*Ricinus communis* L.). Iranian Journal of Field Crops Science, 49: 1. 29-43. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.225508.654251 (In Persian)

47. Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C., and Guo, J. 2019. Arbuscular micorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. Industrial Crops and Products, 117: 13-19. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.087

48. Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, O., and Ismail, M. 2011. Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rock melon in soilless culture. Australian Journal of Crop Science, 5(12): 1508-1514.