

## The Effect of Green Fertilizer, Vermicompost, and Chemical Fertilizer on Grain Yield, Oil Content, and Composition of Rapeseed (*Brassica napus* L.)

Abdollah Javanmard<sup>1\*</sup>, Mohammad Haghaninia<sup>2</sup>, Fariborz Shekari<sup>1</sup>,  
Shirin Khoshkhan<sup>3</sup>, Ali Ostadi<sup>2</sup>

Received: 20 November 2021 Accepted: 04 June 2022

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

2-Ph.D Student of Agrotechnology- Crop Ecology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3- M.Sc. Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran

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

### Abstract

**Background and Objective:** In the conventional agricultural systems, the excessive use of chemical inputs increased the agricultural productivity, but long-term use of chemical fertilizers led to reduce nutrient use efficiency, water and soil pollution, soil erosion, mineral depletion, and soil acidification. To reduce the negative consequences of chemical fertilizers, the development of sustainable agricultural systems including the application of green and organic fertilizers has been considered. Generally, the objective of this research was evaluate the effect of different soil fertility methods on the quantitative and qualitative traits of rapeseed (*Brassica napus* L.).

**Material and Methods:** A field experiment was carried out based on a randomized complete block design (RCBD) with 8 treatments and three replications in two successive stages in the Miandoab city, Iran during 2019 and 2020. Treatments included control (without fertilizer application), chemical fertilizer (CF), barley monoculture (B), pea monoculture (P), 75% P+ 25% B, 50% P+ 50% B and 25% P+ 75% B and vermicompost. The first stage consisted of the cultivation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) in pure and mixed cropping form as green manure and then returning them to the soil. In addition, the second stage was the cultivation of rapeseed. Traits such as plant height, number of pod per plant, number of grain per pod, 1000 grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, oil content, and compositions were measured.

**Results:** The results showed all studied traits except harvest index were significantly affected by different fertilizer sources. The highest number of grain per pod, 1000 grain weight, seed, and biological yield of rapeseed were obtained with the application of chemical fertilizer without significant difference with a green manure of 50% P+ 50% B. In addition, the maximum oil content and yield were obtained in green manure of 50% P+ 50% B followed by 75% P+ 25% B. Chemical analysis of the rapeseed oil demonstrated that in all treatments, oleic acid, linoleic acid, and palmitic acid were the main dominant components. So that, the highest (92.43%) and lowest (83.37%) of oleic acid were achieved in 50% P+ 50% B and control treatments, respectively. Also, the highest of (6.07%) linoleic acid was observed in vermicompost treatment. While the highest percentage of palmitic acid (92.43%) has belonged to green manure treatment of 25% P+ 75% B. Generally, the maximum (92.61%) and minimum (88%) of unsaturated fatty acids were achieved in 50% P+ 50% B and 25% P+ 75% B green manure treatments, respectively.

**Conclusion:** Considering that the greatest amount of soil nitrogen, phosphorus and potassium were obtained by application of 50% P+ 50% B green manure. Therefore, the highest rapeseed oil content, seed oil yield, and unsaturated fatty acids were obtained in this treatment. As a result, 50% barley + 50% pea green manure treatment can be suggested as a sustainable strategy for rapeseed cultivation in Miandoab plain.

**Keywords:** Green Manure, Organic Fertilizer, Oil Grain, Sustainable Agriculture, Rapeseed

## تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، کود سبز و ورمی کمپوست بر عملکرد دانه، کمیت و کیفیت روغن کلزا

عبدالله جوانمرد<sup>۱\*</sup>، محمد حقانی نیا<sup>۲</sup>، فریبرز شکاری<sup>۱</sup>، شیرین خوشخوان<sup>۳</sup>، علی استادی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۴

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

۲- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی- اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

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

### چکیده

**مقدمه و هدف:** اگرچه در سیستم‌های کشاورزی مرسوم، کاربرد کودهای شیمیایی باعث افزایش تولید شده ولی استفاده طولانی مدت از آن‌ها منجر به کاهش کارایی عناصر غذایی، آلودگی آب و خاک، فرسایش خاک و اسیدی شدن خاک‌ها شده است. به منظور کاهش پیامدهای کودهای شیمیایی، توسعه سیستم‌های کشاورزی پایدار از جمله استفاده از کودهای سبز و آلی مورد توجه قرار گرفته‌اند. به طور کلی هدف از این پژوهش بررسی اثرات روش‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر صفات کمی و کیفی گیاه کلزا بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار در شهرستان میاندوآب در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد (عدم کاربرد کود)، کاربرد کود شیمیایی، کودهای سبز شامل کشت خالص جو (*Hordeum vulgare L.*)، کشت خالص نخود فرنگی (*Pisum sativum L.*)، ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو و ورمی کمپوست بودند. مرحله اول شامل کشت گیاهان جو و نخود فرنگی به صورت خالص و مخلوط به عنوان کود سبز و سپس برگرداندن آن‌ها به خاک بود. مرحله دوم هم شامل کشت گیاه کلزا بود. صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن کل، شاخص برداشت، درصد روغن، عملکرد و ترکیبات روغن دانه کلزا مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که همه صفات کلزا مورد مطالعه به جز شاخص برداشت تحت تأثیر معنی‌دار تیمارها قرار گرفتند. بیشترین تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک با کاربرد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدست آمد. علاوه بر این، بیشترین میزان درصد و عملکرد روغن در تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدست آمد و بعد از آن در تیمار کود سبز ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو مشاهده شد. آنالیز شیمیایی روغن دانه مشخص کرد در همه تیمارها اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید غالب‌ترین ترکیبات روغن دانه بودند. به طوری که، بیشترین درصد اسید اولئیک (۹۲/۴۳) با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو حاصل شد. همچنین بیشترین درصد لینولئیک اسید (۶/۰۷) با کاربرد کود آلی ورمی کمپوست مشاهده شد. در حالی که بیشترین درصد پالمیتیک اسید (۳/۳۸) به تیمار کود سبز ۲۵ درصد نخود فرنگی +

۷۵ درصد جو تعلق داشت. به طور کلی بیشترین و کمترین اسیدهای چرب غیراشباع به ترتیب در تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی+۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی+۷۵ درصد جو حاصل شد.

**نتیجه‌گیری:** با عنایت به اینکه بیشترین میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی+۵۰ درصد جو حاصل شد. بنابراین بیشترین درصد و عملکرد روغن و اسیدهای چرب غیراشباع روغن کلزا در این تیمار بدست آمد. در نتیجه می‌توان تیمار کود سبز ۵۰ درصد جو+۵۰ درصد نخود فرنگی را به‌عنوان یک استراتژی پایدار کشت کلزا در دشت میاندوآب پیشنهاد نمود.

**واژه های کلیدی:** روغن دانه، کشاورزی پایدار، کلزا، کود آلی، کود سبز

#### مقدمه

دانه‌های روغنی به‌عنوان پایه و ماده اولیه تولید روغن نباتی مطرح بوده و مصرف آن در سبب غذایی خانوارهای ایرانی بسیار بالا می‌باشد، از طرفی کشور ما با مسائل و مشکلات اقلیمی از جمله خشکسالی‌ها مواجه است. بنابراین، به‌منظور خوداتکایی در تولید روغن خوراکی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار، کشت دانه-های روغنی از جمله کلزا اهمیت فراوانی پیدا کرده است (عبدالهی و همکاران ۲۰۲۱). کلزا (*Brassica napus L.*) یکی از گیاهان خانواده براسیکاسه به‌دلیل دارا بودن ۴۸-۴۰ درصد روغن در دانه و ۴۰-۳۵ درصد پروتئین در کنجاله و برخورداری از ویژگی‌های زراعی خاص، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در دنیا مطرح می‌باشد (قزازی و همکاران ۲۰۲۰). روغن کلزا میزان کلسترول پایینی داشته و براسیکاسترول، بتاسیتواسترول و کمپسترول از استرول‌های عمده در روغن آن می‌باشد. همچنین، دارای ۹۲/۵-۹۰ درصد اسید چرب اشباع نشده، ۱۰-۷/۵ درصد اسید چرب اشباع شده بوده که این مزیت‌ها در ترکیبات روغن کلزا موجب برتری آن نسبت به سایر روغن‌های گیاهی شده است (چو ۲۰۲۰).

ورمی کمپوست یکی از کودهای مهم آلی است که از طریق فرآوری ضایعات آلی نظیر کودهای دامی و ضایعات گیاهی توسط گروهی از کرم‌های خاکی تولید می‌شود و با استمرار عمل تجزیه مواد آلی خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی در بستر کشت گیاه موجب افزایش تبادلات گازی و افزایش فعالیت میکروارگانیسم-های خاک می‌شود (بلمسکین و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر

این، ورمی کمپوست به‌عنوان یک کود حاوی مواد تنظیم کننده رشد گیاهی مورد توجه قرار گرفته که می‌تواند بدون اثرات زیست‌محیطی و یا تخریب محیط خاک از طریق قدرت بالای جذب و نگهداری آب و عناصر غذایی و همچنین با ایجاد تهویه و زهکشی مناسب موجب بهبود رشد و کیفیت محصولات کشاورزی می‌گردد (یوواراج و همکاران ۲۰۲۰).

علاوه بر موارد یاد شده، استفاده از انواع مختلف گیاهان به‌عنوان کود سبز نیز می‌تواند یک روش مدیریتی مناسب جهت تولید پایدار در بوم نظام‌های کشاورزی باشد. کود سبز قبل از گیاه اصلی کشت شده و پس از اختلاط با خاک، سبب افزایش کربن و ماده آلی و احیا خاک شده و به‌عنوان منبع نیتروژن عمل می‌کند، به‌طوری‌که موجب افزایش نیتروژن کل، بهبود حاصلخیزی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد (فلاح و همکاران ۲۰۲۱). میکروارگانیسم‌های خاک مواد آلی را از طریق تولید انواع آنزیم‌های خارج سلولی تجزیه می‌کنند و به همین دلیل پس از استفاده از کودهای سبز در خاک، فعالیت‌های آنزیمی خاک افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که زیست توده میکروبی خاک و تنفس خاک پس از افزودن کود سبز به خاک، از نظر فعالیت بهبود می‌یابند (تجادا و هکاران ۲۰۰۷). از طرفی، کود سبز از طریق کاهش تراکم خاک و افزایش تخلخل، افزایش مواد آلی خاک و بهبود محتوای مواد مغذی، موجب بهبود کمیت و کیفیت محصولات می‌گردند (ما و همکاران ۲۰۲۱). بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به دلیل این واقعیت است که با آزادسازی تدریجی مواد، به حفظ مواد مغذی آزاد

تیمار کود سبز ماش (*Vigna mungo* L.) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) حاصل شد (دبیقی و همکاران ۲۰۱۷).

با توجه به دیدگاه کشاورزی پایدار مینی بر مصرف بهینه نهاده‌های شیمیایی و به‌کارگیری روش‌های جایگزین و همچنین اهمیت توسعه کشت دانه‌های روغنی به‌ویژه کلزا در کشور، پژوهشی با هدف بررسی منابع کودی مختلف (کودهای شیمیایی و آلی) بر عملکرد، اجزای عملکرد دانه و کمیت و کیفیت روغن کلزا اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در دشت میاندوآب با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه، طول جغرافیایی ۲۶ درجه و ۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۳۱۴ متری از سطح دریا اجرا گردید. پیش از اجرای آزمایش یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تجزیه گردید شد (جدول ۱). مشخصات آب و هوایی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشدی در جدول ۲ آورده شده است. آزمایش بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و هشت تیمار در دو مرحله متوالی اجرا شد. تیمارها شامل کود سبز (کشت خالص جو، کشت خالص نخود فرنگی، ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو)، کود آلی ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی توصیه شده براساس نتایج تجزیه خاک محل آزمایش برای گیاه کلزا (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره در دو نوبت و ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت) و شاهد بودند.

شده در منطقه ریشه کمک کرده و در نتیجه باعث افزایش بازدهی آزادسازی و جذب مواد مغذی می‌شود (آدکیا ۲۰۱۹). بر این اساس، استفاده از کود سبز از طریق اثرات مثبت بر محیط خاک، توانایی خاک را در نگهداری آب و فراهمی عناصر غذایی افزایش داده و نقش موثری در کاهش مصرف کودهای شیمیایی، کاهش هزینه‌ها، کاهش فرسایش و بهبود عملکرد گیاهان ایفا می‌کند (بای و همکاران ۲۰۱۵). اگرچه در بسیاری از موارد لگوم‌ها به دلیل داشتن توانایی تثبیت نیتروژن و فراهم کردن شرایط برای فعالیت ریزجانداران مفید خاکزی، بطور گسترده‌ای در سیستم‌های زراعی به‌عنوان کود سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند اما در برخی شرایط مانند زمانی که خطر آبشویی نیترات‌ها وجود دارد و یا بهره‌گیری از توان دگرآسیبی کود سبز نیز مد نظر است، ممکن است استفاده از کودهای سبز غیر لگوم در کنار لگوم‌ها از کارایی بیشتری برخوردار باشد (هوانگ و همکاران ۲۰۱۵). در این خصوص پژوهشگران نتیجه گرفتند کاربرد کود سبز باعث افزایش وزن صد دانه ذرت (*Zea mays* L.) شد و در بین تیمارهای کود سبز کشت مخلوط ماشک (*Vicia sativa* L.) + چاودار (*Secale montanum* L.) نسبت به سایر تیمارها بهتر عمل کرد. آن‌ها مشاهده کردند به‌علت تولید زیست توده بالاتر در تیمار مخلوط ماشک + چاودار و همچنین ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی دانه‌های پرتر و سنگین‌تری تولید شده است (محمدی و همکاران ۲۰۱۵). همچنین در تحقیق دیگری دریایی و همکاران (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند کاربرد خلر (*Lathyrus sativus* L.) به‌عنوان کود سبز در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) موجب بهبود کیفیت روغن شد، به‌طوری‌که میزان اسیدپالمیتیک در پاسخ به کود سبز کاهش یافت (دریایی و همکاران ۲۰۱۲). در پژوهش دیگری نیز گزارش شد که بیشترین میزان ارتفاع، شاخه فرعی، طول گل آذین اصلی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کلزا در

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش (عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متر)

| بافت         | ماده آلی (%) | هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> ) | pH  | مقدار پتاسیم تبادل (mg.kg <sup>-1</sup> ) | فسفر قابل جذب (mg.kg <sup>-1</sup> ) | نیتروژن کل (%) |
|--------------|--------------|--------------------------------------|-----|---|--------------------------------------|----------------|
| لومی رسی شنی | 1.01         | 0.255                                | 8.2 | 510                                       | 9.32                                 | 0.085          |

جدول ۲ - مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه در هر یک از سال‌های آزمایش

| ماه      | سال ۱۳۹۸     |                  | سال ۱۳۹۹     |                  |
|----------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|          | بارندگی (mm) | میانگین دما (°C) | بارندگی (mm) | میانگین دما (°C) |
| فروردین  | ۴۲/۶۱        | ۹/۶۲             | ۳۵/۷         | ۹/۲۲             |
| اردیبهشت | ۳۶/۵۱        | ۱۶/۴۸            | ۱۹/۶۱        | ۱۶/۶۱            |
| خرداد    | ۴/۳          | ۲۲/۱۷            | ۲/۴۳         | ۲۰/۸۳            |
| تیر      | ۰            | ۲۳/۹۴            | ۰            | ۲۵/۰۴            |
| مرداد    | ۰            | ۲۳/۴۰            | ۰            | ۲۱/۴۰            |
| شهریور   | ۰            | ۱۷/۷۹            | ۰            | ۲۱/۰۵            |
| مهر      | ۳/۷          | ۱۲/۶۵            | ۰            | ۱۳/۲۰            |
| آبان     | ۱۳/۶         | ۳/۷۸             | ۹۸/۰۳        | ۷/۳۷             |
| آذر      | ۲۱/۸۲        | ۳/۲۵             | ۱۳/۴         | ۱/۰۵             |
| دی       | ۲۷/۵۱        | -۲               | ۱۷/۴۶        | -۲               |
| بهمن     | ۱۴/۵۱        | ۰                | ۱۴/۴۱        | -۱               |
| اسفند    | ۳۸/۰۱        | ۱/۳۵             | ۱۳           | ۱/۳۱             |

در بهار سال ۱۳۹۸ ابتدا شخم برگرداندار انجام و سپس بوسیله دیسک خاک مزرعه مسطح و آماده کرت-بندی شد. بعد از آماده‌سازی خاک، جهت اعمال تیمارهای کود سبز کرت‌هایی به مساحت ۱۲ متر مربع و با فواصل ۶۰ سانتی‌متر آماده شدند. بذور نخود فرنگی با نام تجاری گرینارو و جو بهاره رقم یوسف از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان تهیه شد. قبل از کاشت، به‌منظور پیشگیری از بیماری‌های قارچی، بذرها با سم بنومیل به میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. فاصله بین خطوط کاشت و عمق کاشت به ترتیب ۲۰ و پنج سانتی‌متر لحاظ شد. کشت در تاریخ دهم فروردین‌ماه ۱۳۹۸ انجام گرفت. با احتساب میانگین وزن دانه و درصد قوه نامیه نخود فرنگی (۹/۹۵ گرم و ۹۶ درصد) و جو (۴/۰۵ گرم و ۹۸ درصد)، میزان بذر مصرفی در کشت خالص هر کدام از گیاهان به ترتیب ۲۵۹ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. با توجه به تفاوت تراکم بهینه جو و نخود فرنگی در واحد سطح، واحد گیاهی محاسبه گردید. به‌عنوان مثال در تیمار ۵۰ درصد جو و ۵۰ درصد نخود فرنگی، ۱۷۵ بوته جو با ۱۲۵ بوته نخود فرنگی در هر مترمربع کشت شدند. بنابراین واحد گیاهی در کشت مخلوط برابر با یک گیاه نخود فرنگی و ۱/۴ گیاه جو بود. مقادیر بذر مصرفی نخود فرنگی و جو

در این نسبت کشت به ترتیب ۱۲۹ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. به همین ترتیب برای سایر الگوهای کشت بر اساس تراکم مطلوب هر کدام از گیاهان و نسبت کشت، میزان بذر مورد نیاز تعیین شد. جهت مبارزه با علف‌های هرز مزرعه، وجین دستی انجام شد. قبل از برگرداندن تیمارهای کود سبز نخود فرنگی و جو، برداشت از مساحت یک متر مربع برای تعیین زیست توده برگشتی به خاک صورت پذیرفت. سپس در اواسط تیرماه ۱۳۹۸ اندام‌های هوایی جو و ماشک به قطعات ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری خرد و با تیلر به خاک برگردانده شدند. پس از اعمال تیمارهای کود سبز برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک در فروردین ماه ۱۳۹۹ نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک صورت پذیرفت. همچنین ورمی‌کمپوست (تولید شده از کود دامی، برگ چغندر و دیگر مواد آلی و گونه‌ای کرم خاکی به نام *Eisenia foetida*) از شرکت تولیدی نوآوران کشت و صنعت ساینا تهیه گردید. ورمی کمپوست همزمان با برگرداندن کودهای سبز به خاک به میزان ۲ تن در هکتار در کرت‌های مورد نظر به‌صورت یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شد. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست استفاده شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳ - ویژگی‌های شیمیایی کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده

| کلسیم<br>(ppm) | روی<br>(ppm) | مس<br>(ppm) | کربن آلی<br>(%) | هدایت<br>الکتریکی<br>( $\mu\text{mhos.cm}^{-1}$ ) | اسیدیته<br>pH | پتاسیم<br>(%) | فسفر<br>(%) | نیترژن کل<br>(%) |
|----------------|--------------|-------------|-----------------|---|---------------|---------------|-------------|------------------|
| ۸/۷۵           | ۶/۶۶         | ۳/۸۴        | ۷/۱۳            | ۱/۶۴  | ۷/۸۴          | ۰/۲۷          | ۰/۴۷        | ۱/۶              |

عملکرد دانه  $\times$  درصد روغن = عملکرد روغن

همچنین، برای تعیین درصد اسیدهای چرب موجود در روغن دانه از دستگاه کروماتوگرافی گازی استفاده شد. برای تفکیک و جداسازی اسیدهای چرب غالباً از استرهای متیلیک آن‌ها استفاده می‌کنند که نقطه جوش پایین‌تری دارند. جهت متیله کردن اسیدهای چرب موجود در روغن‌های به دست آمده از نمونه‌ها، ابتدا ۱۰ میلی‌گرم روغن در ۰/۵ میلی‌لیتر آن‌هگزان حل کرده و سپس ۲ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم دو نرمال در متانول خشک به آن اضافه شد. لوله آزمایش حاوی محلول مذکور در حمام آب ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه نگهداری گردید. پس از آن لوله آزمایش تحت جریان آب، سرد و به آن ۲ میلی‌لیتر محلول نمک کلرید سدیم ۲۰ درصد (وزنی/حجمی) و ۰/۵ میلی‌لیتر آنهگزان اضافه گردید. پس از این مرحله مخلوط حاصله سانتریفیوژ و لایه هگزانی حاوی متیل‌استر اسیدهای چرب جداسازی گردید، سپس جهت تعیین نوع اسیدهای چرب و میزان آن‌ها هر یک از نمونه‌ها به دستگاه کروماتوگرافی گازی با ستونی به طول ۶۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه ۰/۲ میکرومتر تزریق شدند. دمای اولیه ۸۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد و در این دما ۱۰ دقیقه نگهداری شد. روش تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی به صورت Split با نسبت ۱ به ۲۰ انجام شد. دمای درپچه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد، دمای آشکارسازی ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، فشار گاز حامل هلیوم ۴/۵ بار و میزان تزریق ۱ میکرولیتر بود. پس از تزریق هر نمونه به

در مرحله دوم آزمایش، کلزا با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۵ شهریورماه ۱۳۹۸ کشت گردید. در هر کرت ۱۲ خط کلزا به طول چهار متر و با فاصله بین خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله کرت‌ها از همدیگر ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر دو متر لحاظ گردید. قبل از برداشت و در مرحله رسیدگی نهایی، به تعداد ۱۰ گیاه از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. همچنین برای تعیین عملکرد بیولوژیک، دانه و شاخص برداشت بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت در مساحتی معادل چهار متر مربع صورت گرفت. علاوه بر این، به منظور روغن‌گیری ابتدا ۵ گرم از هر نمونه بذری کاملاً پودر شد. سپس داخل فالكون‌های ۵۰ میلی‌لیتری قرار داده و بعد ۱۵ میلی‌لیتر هگزان به آن اضافه شد و به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق به وسیله دستگاه شیکرانکوباتور تکان داده شد. سپس مجدداً ۱۰ میلی‌لیتر هگزان به نمونه‌ها اضافه و بعد از هم زدن فالكون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. هر چند ساعت یکبار فالكون‌ها با دست به خوبی تکان داده می‌شدند تا عمل هموژنیزاسیون (همگن‌سازی) بهتر انجام شود. پس از گذشت ۲۴ ساعت محتوای فالكون‌ها با استفاده از قیف بوخنر و کاغذ صافی صاف شدند و محلول صاف شده که حاوی حلال (هگزان) و روغن بود داخل پتری‌دیش‌های تمیزی ریخته و تا تبخیر کامل حلال و ثابت شدن وزن پتری‌دیش‌ها در دمای اتاق قرار داده شدند. اختلاف وزن پتری‌دیش‌های حاوی روغن و وزن اولیه پتری‌دیش‌ها مشخص شد و بر اساس آن‌ها وزن روغن و سپس درصد روغن و عملکرد روغن با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید:

$100 \times (\text{مقدار بذر} / \text{وزن روغن}) = \text{درصد روغن}$

بیشترین (۱۴/۵۸ تن در هکتار) و کمترین (۲/۸۶ تن در هکتار) بیوماس تر جو به ترتیب به کشت خالص جو و الگوی کشت ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو تعلق داشت (جدول ۵). افزایش بیوماس در کشت خالص گیاهان می‌تواند به علت عدم وجود رقابت بین گونه‌ای بوده که تحت این شرایط بوته‌های نخود فرنگی و جو برای آشیان‌های اکولوژیکی یکسان رقابت نکرده و تمام منابع موجود در دسترس این گیاهان قرار می‌گیرد. بنابراین، از آنجا که تراکم این گیاهان در واحد سطح کشت خالص بیشتر بود لذا تولید بیوماس بالاتر بدیهی است اما در کشت مخلوط به علت کاهش تراکم این گیاهان و افزایش رقابت برون‌گونه‌ای تولید بیوماس با کاهش مواجه شد (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۱). محققان در پژوهشی با بررسی استفاده از گیاهان پوششی خزر و ماشک بصورت کشت خالص و مخلوط به عنوان کود سبز گزارش کردند بیشترین بیوماس تولیدی در کشت خالص خزر بدست آمد (لامعی و علیزاده ۲۰۱۳).

دستگاه گاز کروماتوگراف، منحنی‌های رسم شده و زمان بازداری مربوط به هر اسید چرب با منحنی مربوط به اسید چرب استاندارد و زمان بازداری آن مقایسه گردید. به این ترتیب نوع و میزان اسیدهای چرب موجود در نمونه‌های مورد آزمایش مشخص شدند. سپس با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه‌های آماری انجام و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel رسم گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

### زیست‌توده نخود فرنگی و جو

اثر الگوهای مختلف کشت بر بیوماس تر نخود فرنگی و جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین (۱۲/۴۳ تن در هکتار) و کمترین (۲/۶۰ تن در هکتار) بیوماس تر نخود فرنگی به ترتیب به کشت خالص نخود فرنگی و الگوی کشت ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو مربوط بود (جدول ۴). همچنین

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر الگوهای مختلف کشت بر زیست‌توده جو و نخود فرنگی و تعداد گره نخود فرنگی

| مقایسه میانگین   |            |              |                         |                      |
|------------------|------------|--------------|-------------------------|----------------------|
| منابع تغییر      | درجه آزادی | زیست‌توده جو | تعداد گره در نخود فرنگی | زیست توده نخود فرنگی |
| بلوک             | ۲          | ۱/۲۴         | ۴/۳۸                    | ۰/۴۷                 |
| الگوهای کشت      | ۳          | ۷۵/۷۲**      | ۱۱/۷۳*                  | ۵۶/۹۰**              |
| خطای آزمایش      | ۶          | ۰/۲۹         | ۳/۰۷                    | ۰/۰۸                 |
| ضریب تغییرات (%) |            | ۵/۴۸         | ۷/۳۰                    | ۳/۹۹                 |

NS و \* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می باشد.

### تعداد گره نخود فرنگی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد گره در ریشه نخود فرنگی تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین تعداد گره (۲۶/۵۳) در الگوی کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با الگوی کشت ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو و کشت خالص ماشک نداشت (جدول ۵). هنگامی که بقولات در کنار سایر گونه‌ها به صورت مخلوط قرار می‌گیرند، به جهت اثرات مکملی و

مساعدتی آن‌ها از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و در دسترس قرار دادن به گیاه مجاور، تثبیت نیتروژن تحریک و در نهایت فعالیت ریزوبیوم که در ریشه‌های لگوم گره‌سازی می‌کنند بیشتر شده و باعث افزایش تعداد گره فعال، سرعت و تشکیل گره‌ها می‌شود (چاپاگین و رایزمن ۲۰۱۴). در پژوهشی تعداد گره نخود فرنگی در کشت مخلوط با جو ۲۷-۴۵ درصد بیشتر و در نتیجه میزان تثبیت نیتروژن ۱۷-۹ درصد بالاتر از کشت خالص بود (چاپاگین و رایزمن ۲۰۱۴).

جدول ۵- مقایسات میانگین اثر الگوهای مختلف کشت بر زیست توده جو و نخود فرنگی و تعداد گره نخود فرنگی

| الگوهای کشت                     | زیست توده جو       | تعداد گره در نخود فرنگی | زیست توده نخود فرنگی |
|---------------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------|
| کشت خالص جو                     | ۱۴/۵۸ <sup>a</sup> | -                       | -                    |
| کشت خالص نخود فرنگی             | -                  | ۲۳/۸۳ <sup>ab</sup>     | ۱۲/۴۳ <sup>a</sup>   |
| ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو | ۲/۸۶ <sup>d</sup>  | ۲۴ <sup>ab</sup>        | ۹/۵۶ <sup>b</sup>    |
| ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو | ۱۰/۴۶ <sup>c</sup> | ۲۶/۵۳ <sup>a</sup>      | ۵/۴۱ <sup>c</sup>    |
| ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو | ۱۱/۹۱ <sup>b</sup> | ۲۱/۷۰ <sup>b</sup>      | ۲/۶۰ <sup>d</sup>    |
| LSD                             | ۱/۰۹               | ۳/۵۰                    | ۰/۵۹                 |

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

### مجموع زیست‌توده دو گیاه به عنوان کود سبز

مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک دو گیاه تحت تأثیر معنی‌دار الگوهای مختلف کشت قرار گرفت (جدول ۶). بیشترین (۱۵/۸ تن در هکتار) و کمترین (۱۲/۴ تن در هکتار) میزان مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک به ترتیب در الگوی کشت ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و کشت خالص نخود فرنگی بدست آمد (شکل ۱). به نظر می‌رسد که جو با ارتفاع بلندتر خود تشعشعات ورودی به کانوپی را جذب می‌نماید و از طرف دیگر، نخود فرنگی با پوشش بیشتر سطح زمین، تشعشعاتی که توسط جو قابل استفاده نبوده را جذب کرده و بدین طریق موجب افزایش کارایی استفاده از نور و به دنبال آن بهبود تولید بیوماس در کشت مخلوط را به همراه دارد.

(عاشوری و همکاران ۲۰۲۱). علاوه بر این، اختلاف در سیستم ریشه گیاهان مخلوط باعث شده تا گیاه جو با ریشه‌های افشان و سطحی در کنار گیاهان علوفه‌ای که دارای ریشه عمیق هستند در سطوح مختلف خاک پراکنده شده و در نهایت آب و مواد غذایی بیشتری را از حجم مشخصی از خاک جذب کنند که در نتیجه باعث افزایش مجموع بیوماس تولیدی در کشت مخلوط می‌گردد (حقانی نیا و همکاران ۲۰۲۱). در پژوهشی دیبکی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی اثر کودهای سبز ارزن و خلر بصورت کشت خالص و مخلوط گزارش کردند بیشترین و کمترین میزان زیست توده به ترتیب از تیمار کشت مخلوط ارزن+ خلر و کشت خالص جو بدست آمد.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت بر مجموع زیست توده برگشتی به خاک

| منابع تغییر         | درجه آزادی | مجموع زیست توده برگشتی به خاک |
|---------------------|------------|-------------------------------|
| بلوک                | ۲          | ۱/۹۷                          |
| الگوهای کشت         | ۴          | ۶/۸۰ <sup>**</sup>            |
| خطای آزمایش         | ۸          | ۰/۳۵                          |
| ضریب تغییرات (درصد) |            | ۴/۲۷                          |

<sup>\*\*</sup>، <sup>\*</sup> و NS به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می باشد.





برگشتی به خاک تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت. میانگین‌هایی دارای حروف مشترک براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارد.

میکروبیولوژیکی و آزادسازی عناصر غذایی در خاک افزایش یافته که موجب بهبود خصوصیات خاک از قبیل ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب می‌گردد. سیستم‌های ریشه‌ای گیاهان کشت شده به عنوان کود سبز قادرند بهره‌وری محصول بعدی را از طریق بازیابی و جذب عناصر غذایی، افزایش دهند. نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها میزان نیتروژن خاک را افزایش می‌دهند و با بهبود فعالیت میکروبی، سبب تسریع در تجزیه بقایای گیاهی شده که از این طریق ماده آلی و عناصر غذایی را برای گیاه بعدی افزایش می‌دهند (مینا و همکاران ۲۰۱۸). محققان با بررسی اثرات کودهای سبز ماشک معمولی (*Vicia sativa* L.)، لوبین (*Lupinus polyphyllus* L.) و *Lablab purpureus* L. روی خصوصیات خاک مشاهده کردند کود سبز موجب بهبود کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب نسبت به شاهد شد (عامد و همکاران ۲۰۲۱).

برخی خصوصیات خاک پس از برگرداندن کود سبز بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، کربن آلی، اسیدیته، فسفر قابل جذب، نیتروژن کل و مقدار پتاسیم تبدالی خاک تحت تأثیر معنی‌دار منابع کودی مختلف در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۷). بیشترین کربن آلی خاک در تیمار ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو حاصل شد که با کشت خالص نخود فرنگی و کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). همچنین، بیشترین اسیدیته خاک در تیمار ورمی کمپوست بدست آمد. علاوه بر این، بیشترین (۳۴/۲ میلی گرم کیلوگرم) و کمترین (۱۰/۳ میلی گرم در کیلوگرم) فسفر قابل جذب به ترتیب در تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و شاهد مشاهده شد. بیشترین نیتروژن کل و پتاسیم تبدالی نیز به تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو تعلق داشت (جدول ۸). با برگردان کود سبز به خاک فرآیندهای

جدول ۷ - میانگین مربعات اثر منابع کودی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک پس از اعمال تیمارها

| منابع تغییر      | درجه آزادی | کربن آلی | اسیدیته | فسفر قابل جذب | نیتروژن کل | مقدار پتاسیم تبدالی |
|------------------|------------|----------|---------|---------------|------------|---------------------|
| تکرار            | ۲          | ۰/۰۰۸    | ۰/۰۵۵   | ۰/۰۴          | ۰/۰۰۰۴     | ۱۲۰/۵۰              |
| الگوهای کشت      | ۷          | ۰/۱۲**   | ۰/۵۳**  | ۱۸۷/۱۳**      | ۰/۰۰۴**    | ۴۶۶۹۷/۲۱*           |
| اشتباه آزمایشی   | ۱۴         | ۰/۰۰۳    | ۰/۰۲۰   | ۲/۵۴          | ۰/۰۰۰۳     | ۹۲۵/۱۳              |
| ضریب تغییرات (%) |            | ۷/۰۳     | ۰/۰۲    | ۸/۲۹          | ۱۴/۸۴      | ۴/۹۸                |

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

جدول ۸- مقایسه میانگین منابع کودی مختلف از لحاظ برخی خصوصیات شیمیایی خاک بعد از اعمال تیمارها

| تیمارها                         | کربن آلی (%) | اسیدیته | فسفر قابل جذب (mg.kg <sup>-1</sup> ) | نیتروژن کل (%) | مقدار پتاسیم تبدالی (mg.kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|--------------|---------|--------------------------------------|----------------|--|
| شاهد                            | ۰/۴۸d        | ۷/۲cd   | ۱۰/۳e                                | ۰/۰۷d          | ۵۰۵de                                      |
| کشت خالص جو                     | ۰/۸۸a        | ۷/۰۷cd  | ۱۵/۱d                                | ۰/۰۸d          | ۵۰۹de                                      |
| کشت خالص نخود فرنگی             | ۰/۹۲ab       | ۷/۴۸b   | ۲۱/۵bc                               | ۰/۱۲bc         | ۶۳۳c                                       |
| ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو | ۰/۹۴abc      | ۷/۵۱b   | ۲۲/۴b                                | ۰/۱۴b          | ۷۰۷b                                       |
| ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو | ۰/۹۷ab       | ۷/۹۷a   | ۲۴/۲a                                | ۰/۱۹a          | ۸۵۳a                                       |
| ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو | ۰/۸۲c        | ۷/۲۴bc  | ۱۹/۸c                                | ۰/۱۱bc         | ۵۴۹d                                       |
| ورمی کمپوست                     | ۰/۸۵bc       | ۸/۰۵a   | ۲۱/۳bc                               | ۰/۱۲b          | ۶۳۵c                                       |
| کود شیمیایی توصیه شده           | ۰/۴۶d        | ۶/۹d    | ۹/۸e                                 | ۰/۰۹cd         | ۴۹۰e                                       |
| LSD                             | ۰/۰۹         | ۰/۳     | ۲/۸۲                                 | ۰/۰۳           | ۵۳/۲۶                                      |

## صفات کلزا

## ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع گیاه کلزا معنی دار بود. بیشترین ارتفاع بوته کلزا (۱۶۰/۶ سانتی متر) در تیمار کود شیمیایی حاصل شد که تفاوت معنی داری با تیمار کود سبز ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو نداشت. کمترین ارتفاع بوته کلزا (۱۳۴ سانتی متر) هم به تیمار شاهد مربوط بود (جدول ۱۰). ارتفاع بوته، صفتی است که بیش از هر عامل دیگر تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه است. با این حال، شرایط محیطی و تغذیه بهینه، ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار داده به طوری که با مصرف کود شیمیایی دسترسی گیاه به عناصر غذایی کافی به- خصوص نیتروژن فراهم شده که این امر از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ شدن سلولها در افزایش اجزای رشد رویشی مؤثر خواهد بود (رضوانی و همکاران ۲۰۲۱). در فرایند معدنی شدن، میکروارگانیسمهای خاک، کربن آلی و نیتروژن را به فرم قابل جذب (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> و CO<sub>2</sub>) برای گیاه تبدیل می کنند. بنابراین بیوماس میکروبی خاک در معدنی شدن مواد آلی، چرخه عناصر غذایی و نگهداری آنها

نقش بسزایی داشته و در واقع به عنوان یک منبع- مخزن در فراهمی و چرخه عناصر غذایی در خاک عمل می کند (داکل و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به اینکه نیتروژن نقش تعیین کننده ای در فرآیند معدنی شدن مواد آلی ایفا می- کند. همبستگی مثبتی بین مواد آلی و نیتروژن خاک وجود دارد و با افزایش نیتروژن خاک، فعالیت میکروبی خاک نیز افزایش پیدا کرده و به دلیل نسبت پایین کربن به نیتروژن بقایای لگومها، این گیاهان به سرعت در خاک تجزیه شده و موجب تامین نیتروژن برای کلزا و بهبود خصوصیات رشدی آن خواهد شد (مینا و همکاران ۲۰۱۸). در این خصوص پرمی و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند کاربرد کود سبز سسبانا (*Sesbania* sp) در ترکیب با بقایای کلزا به طور قابل توجهی ارتفاع بوته کلزای هندی (*Brassica juncea* L.) را افزایش داد. در پژوهش دیگری دبیقی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند بیشترین ارتفاع بوته کلزا از تیمار کود سبز ماش و کمترین آن به شاهد مربوط بود. آنها بیان کردند کاربرد کود سبز با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش رشد ریشه باعث بهبود توان رویشی گیاه می گردد.

جدول ۹ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مختلف کودی بر صفات مورد ارزیابی کلزا

| منابع تغییر      | درجه آزادی | ارتفاع بوته | خورجین در بوته | دانه در خورجین | وزن صد دانه | میانگین مربعات |                 |                    |        |             |
|------------------|------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------------|-----------------|--------------------|--------|-------------|
|                  |            |             |                |                |             | عملکرد دانه    | عملکرد بیولوژیک | شاخص برداشت        |        |             |
| بلوک             | ۲          | ۱/۱۲        | ۰/۸۱           | ۰/۰۴           | ۰/۰۰۰۷      | ۷۰۲۴/۰۸        | ۴۹۶۱۹۶/۷        | ۱/۰۷               | ۰/۰۴   | ۱۱۹۲/۹۴     |
| تیمار            | ۷          | ۲۲۷/۶۹**    | ۱۶۰/۸۲**       | ۹/۱۱**         | ۰/۱۱**      | ۹۴۴۳۵۳/۷۴*     | ۱۵۲۴۳۹۸۳/۹*     | ۰/۰۵ <sup>ns</sup> | ۹/۱۱** | ۱۷۲۷۰۸/۵۴** |
| اشتباه آزمایشی   | ۱۴         | ۲۳/۶۰       | ۱۸/۹۶          | ۱۳/۰۳          | ۰/۱۶        | ۳۸۴۱۸۴۱/۹۹     | ۶۰۰۰۶۷۹۵/۹      | ۰/۸۷               | ۱۳/۳۰  | ۴۶۹۹۶۰/۱۲   |
| ضریب تغییرات (%) |            | ۳/۲۹        | ۳/۳۴           | ۳/۱۸           | ۳/۱۲        | ۱۸/۱۶          | ۱۸/۳۵           | ۰/۹۷               | ۲/۷۵   | ۱۷/۸۳       |

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

جدول ۱۰ - مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته، خورجین در بوته، دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، وزن کل، درصد و عملکرد روغن.

| تیمارها                    | ارتفاع بوته (cm) | تعداد خورجین در بوته | تعداد دانه در خورجین | وزن هزار دانه (g) | عملکرد دانه (kg.ha <sup>-1</sup> ) | وزن کل (kg.ha <sup>-1</sup> ) | درصد روغن | عملکرد روغن (kg.ha <sup>-1</sup> ) |
|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|
| شاهد                       | ۱۳۴e             | ۱۱۹e                 | ۲۸e                  | ۳/۲۴e             | ۲۲۱۲/۵d                            | ۸۵۳۵d                         | ۳۲/۷۵e    | ۷۲۵/۳c                             |
| خالص جو                    | ۱۴۵/۶۶cd         | ۱۲۸/۹۱cd             | ۳۰/۳۳cd              | ۳/۳۰de            | ۲۴۵۱cd                             | ۹۶۰۲cd                        | ۳۵/۶۸bc   | ۸۷۴/۵c                             |
| خالص نخود                  | ۱۴۸/۶۶bc         | ۱۲۱/۸۳de             | ۳۰/۹۵bc              | ۳/۵۶bc            | ۲۷۶۲/۷bcd                          | ۱۰۸۰۵bcd                      | ۳۵/۷bc    | ۹۸۲/۴bc                            |
| ۷۵ درصد نخود+ ۲۵ درصد جو   | ۱۵۵/۶۶ab         | ۱۳۲/۳۱bc             | ۳۰/۹۳bc              | ۳/۵۵bc            | ۳۱۷۹/۲abc                          | ۱۲۴۵۵abc                      | ۳۷/۰۸ab   | ۱۱۷۶/۶ab                           |
| ۵۰ درصد نخود+ ۵۰ درصد جو   | ۱۴۸/۶۶bc         | ۱۳۶/۵۶ab             | ۳۲/۳۳ab              | ۳/۷۲ab            | ۳۵۹۵/۸ab                           | ۱۴۱۲۵ab                       | ۳۸/۰۸a    | ۱۳۷۰/۵a                            |
| ۲۵ درصد نخود+ ۷۵ درصد نخود | ۱۳۷/۳۳de         | ۱۳۰/۳۳bc             | ۳۰/۶۶bc              | ۳/۴۹cd            | ۲۷۲۹/۲bcd                          | ۱۰۶۴۲bcd                      | ۳۵/۴۱bc   | ۹۶۵/۸bc                            |
| ورمی کمپوست                | ۱۴۷/۳۳bc         | ۱۳۱/۵۰bc             | ۲۸/۶۶de              | ۳/۵۲c             | ۲۴۱۷/۱cd                           | ۹۴۰۳cd                        | ۳۵/۰۸cd   | ۸۴۹/۳c                             |
| کود شیمیایی                | ۱۶۰/۶۶a          | ۱۴۱/۶۶a              | ۳۳/۳۳a               | ۳/۸۳a             | ۳۷۲۹/۳a                            | ۱۴۶۸۴a                        | ۳۳/۴۱de   | ۱۲۴۵/۹ab                           |
| LSD                        | ۸/۵۰             | ۷/۶۲                 | ۱/۶۹                 | ۰/۱۹              | ۹۱۷/۳۷                             | ۴۶۲۵/۶                        | ۱/۷۱      | ۳۲۰/۸۵                             |

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

### تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) بیانگر اثر معنی‌دار منابع کودی بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین کلزا بود. بیشترین تعداد خورجین در بوته (۱۴۱/۶) و تعداد دانه در خورجین (۳۳/۳) با کاربرد کود شیمیایی بدست آمد (جدول ۱۰). کود شیمیایی سبب افزایش شاخص سطح برگ و دوام آن پس از گلدهی می‌شود که به تبع آن فرآورده فتوسنتزی افزایش یافته و موجب حفظ جریان مواد غذایی به سوی گل‌ها و خورجین شده که در نهایت منجر به افزایش تعداد خورجین در بوته و دانه در خورجین می‌گردد. لازم بذکر است بین تیمارهای کود شیمیایی و کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی+ ۵۰ درصد جو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد

(جدول ۱۰) که این امر بیانگر اهمیت حذف یا جایگزینی کودهای شیمیایی برای بهبود عملکرد و شرایط زیست-محیطی می‌باشد. بنابراین، کاربرد کود سبز از طریق بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک (جدول ۸)، عناصر مورد نیاز گیاه را فراهم کرده که در این شرایط گل‌های بیشتری تلقیح و تولیدات فتوسنتزی بیشتری به سمت خورجین‌ها هدایت می‌شود که این امر باعث پرشدن تعداد بیشتری از دانه‌های تلقیح شده و افزایش تعداد دانه در خورجین می‌گردد (احمدی و همکاران ۲۰۱۲). علاوه بر این، به نظر می‌رسد کاربرد کود سبز با افزایش ماده آلی سبب کاهش pH خاک و افزایش فعالیت‌های میکروبی می‌شود. متابولیت‌های حاصل از فعالیت میکروبی نیز با عناصر غذایی کمپلکس‌های ناپایداری تشکیل و از تثبیت

فیزیکوشیمیایی بهتر در خاک نسبت به آیش، جذب عناصر غذایی توسط گیاه را بیشتر و سبب افزایش فتوسنتز گردید و از این طریق موجب تبدیل طبقه‌های بزرگتر و تعداد دانه بیشتر گردید.

### وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان دهنده اثر معنی‌دار تیمارها بر وزن هزاردانه بود. بیشترین وزن هزاردانه (۳/۸ گرم) در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کود سبز نخودفرنگی خالص نداشت (جدول ۹). کمترین میزان وزن هزاردانه (۳/۲ گرم) هم به تیمار شاهد مربوط بود (جدول ۹). به نظر می‌رسد کود شیمیایی از طریق تأثیر بر مقدار کلروفیل و سطح برگ، آسمیلات بیشتری ساخته، بنابراین دانه‌های تشکیل شده با مواد فتوسنتزی بیشتری پر می‌شوند (رضوانی و همکاران ۲۰۲۱). همچنین افزایش وزن دانه به واسطه مصرف کود شیمیایی به افزایش تولید ماده خشک و کاهش محدودیت مبدأ در طول مرحله مریستمی آندوسپرم، افزایش دوام سطح برگ و طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه نسبت داده می‌شود (سیدشریفی و همکاران ۲۰۱۶). علاوه بر این، تجزیه کودهای سبز تأثیرات مهمی روی میکروفلور خاک دارد به طوری که کربن و انرژی لازم برای رشد میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده مواد آلی را فراهم می‌کند. زیرا میکروارگانیسم‌های خاک تا زمانی که منبع کربن برای تأمین انرژی در خاک وجود داشته باشد به فعالیت خود ادامه خواهند داد. بنابراین، کودهای سبز، مواد آلی غنی از مواد مغذی را برای جوامع میکروبی خاک تأمین می‌کنند تا عناصر غذایی محبوس شده در بقای گیاهی را به شکل قابل جذب برای گیاه تبدیل کنند که از این طریق منجر به فعال شدن چرخه عناصر غذایی و دسترسی بیشتر عناصر غذایی برای گیاه بعدی می‌گردند (یی و همکاران ۲۰۱۴). همچنین از آنجائی که در اغلب موارد رابطه مستقیمی بین مواد آلی خاک و فعالیت جوامع میکروبی خاک وجود دارد، با افزایش مواد آلی خاک از طریق بکارگیری کودهای سبز لگوم و سایر گیاهان، تنوع زیستی میکروارگانیسم‌های خاک افزایش و

آن‌ها در خاک جلوگیری می‌کنند و عناصر غذایی را به تدریج آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌دهند (هوانگ و همکاران ۲۰۱۵) و شرایط برای افزایش فتوسنتز و بهبود اجزای عملکرد فراهم می‌شود که در نهایت مجموع این عوامل باعث افزایش تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین خواهد شد. همچنین، استفاده از مخلوط لگوم با غلات در کود سبز، ممکن است ترکیبات نیتروژنی ترشح شده از ریشه‌های لگوم توسط گیاه همراه جذب شده و از طریق برگرداندن بیوماس آن‌ها به داخل خاک، باعث آزاد شدن بیشتر نیتروژن گردد (هوانگ و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، کود سبز در استفاده از فسفر نامحلول خاک، بسیار فعال عمل می‌کند. با آزادسازی و ترشح اسیدهای آلی، کربن دی‌اکسید و پروتون در حین فرآیند تجزیه منجر به آزادسازی اسید کربنیک و کاهش pH می‌گردد. در نتیجه با اسیدی شدن خاک قابلیت دسترسی فسفر افزایش می‌یابد. همچنین لگوم‌ها با افزایش ترکیبات حل کننده فسفات در ریزوسفر (فعالیت آنزیم فسفاتاز) می‌توانند به دسترسی بیشتر فسفر در خاک منجر گردند (مینا و همکاران ۲۰۱۸). چون فسفر و نیتروژن نقش مهمی در بهبود فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه و افزایش تولید شیره پرورده در گیاه دارند در صورتی که میزان صادرات فتوسنتزی به اندام‌های گیاهی در مرحله گلدهی به خوبی انجام گیرد، سبب افزایش تعداد دانه در گیاه می‌شود. از این رو، کود سبز می‌تواند از طریق تأمین عناصر کافی در خاک نقش تعیین کننده‌ای در افزایش تعداد دانه و جلوگیری از سقط بیش از حد دانه‌ها خواهد داشت (جلیلیان و حیدرزاده ۲۰۱۶). در این خصوص جلیلیان و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند کود سبز موجب افزایش تعداد خورجین در بوته و دانه در خورجین کنجد (*Sesamum indicum* L.) شد به طوری که در تیمارهای کود سبز شنبلیله (*Trigonella foenum-* *graecum*)، شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) و ماشک گل خوشه‌ای تعداد کپسول‌ها به ترتیب حدود ۳۵، ۲۷ و ۱۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. در پژوهش دیگری دریایی و همکاران (۲۰۱۲) نتیجه گرفتند تعداد دانه در طبق آفتابگردان تحت تأثیر معنی‌دار کود سبز قرار گرفت. آن‌ها بیان کردند کود سبز با فراهم آوردن شرایط

درصد جو حاصل شد، بنابراین افزایش عملکرد دانه در این تیمارها دور از انتظار نیست. همچنین اثر کود سبز بر گیاه بعدی با میزان زیست توده‌ای که به خاک اضافه می‌کند ارتباط مستقیم دارد. زیرا گیاهان کود سبز با توجه به میزان زیست توده تولید کرده مقدار معینی از مواد آلی و عناصر غذایی به خاک اضافه می‌کنند (جلیلیان و همکاران ۲۰۲۱). در پژوهش حاضر نیز با توجه به اینکه بیشترین زیست توده تولیدی در تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدست آمد (شکل ۱)، بنابراین افزایش عملکرد دانه و وزن کل کلزا در این تیمار مشاهده شد. بنابراین، کاربرد کود سبز جایگزینی برای تامین عناصر غذایی همچون نیتروژن است. زیرا از طرفی لگوم‌ها علاوه بر تثبیت نیتروژن اتمسفری می‌توانند مواد معدنی را از لایه‌های پایینی خاک جذب و با تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه زمینه‌ساز رشد بیشتر اندام‌های فتوسنتز کننده گردد (فرناندز و همکاران ۲۰۲۱). این امر باعث افزایش اندازه و طول عمر برگ شده و به تبع آن با تراکم بیشتر کانوپی، نفوذ نور به درون سایه‌انداز افزایش یافته که افزایش کارآیی مصرف نور و سنتز بیشتر مواد فتوسنتزی را به دنبال داشته است. این امر در نهایت به افزایش وزن دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک منجر خواهد شد (وصلی و همکاران ۲۰۲۰ و هوانگ و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، پتاسیم در خاک به چهار شکل پتاسیم محلول در خاک، پتاسیم قابل تبادل، پتاسیم تثبیت شده و پتاسیم ساختاری موجود می‌باشد که فقط پتاسیم محلول و قابل تبادل در خاک برای گیاه قابل دسترس می‌باشد. کود سبز از طریق افزایش ماده آلی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی را موجب شده و با در دسترس قرار دادن پتاسیم در محل تبالات بین کانی‌های خاک و جذب مولکول‌های آلی موجب کاهش تثبیت پتاسیم شده و به تبع آن پتاسیم بیشتری در خاک در دسترس قرار می‌گیرد (اندروز و همکاران ۲۰۲۱). با توجه به اینکه تفاوت چندانی بین عملکرد دانه حاصل از کود سبز و کود شیمیایی وجود ندارد، برای جلوگیری از آلودگی محیط-زیست جایگزینی کود شیمیایی با کود سبز ارجحیت دارد. در این راستا دبیقی و همکاران (۲۰۱۷) با ارزیابی تأثیرگذاری کود سبز و منابع مختلف نیتروژن بر

از این طریق منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌گردد (مینا و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین کود سبز بر افزایش جذب مواد غذایی با بهبود خواص فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، افزایش دسترسی به مواد غذایی نقش بسزایی داشته (بای و همکاران ۲۰۱۵) که مجموع این عوامل می‌تواند در بهبود وزن هزار دانه کلزا موثر باشند. در تطابق با نتایج این پژوهش، محمدی و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند کاربرد کود سبز باعث افزایش وزن صد دانه ذرت شد و در بین تیمارهای کود سبز، کشت مخلوط ماشک + چاودار نسبت به سایر تیمارها بهتر عمل کرد. آن‌ها بیان کردند به علت تولید زیست توده بالاتر در مخلوط ماشک + چاودار و همچنین ذخیره بیشتر مواد فتوسنتزی دانه‌های پرت و سنگین‌تری تولید شدند (محمدی و همکاران ۲۰۱۵).

### عملکرد دانه و وزن کل

تجزیه واریانس نشان داد عملکرد دانه و وزن کل کلزا تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای مختلف واقع شدند (جدول ۹). بیشترین عملکرد دانه (۳۷۲۹/۳ کیلوگرم در هکتار) و وزن کل (۱۴۶۸۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کود شیمیایی بدست آمد که با تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو و ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۱۰). کمترین عملکرد دانه (۲۲۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار) و وزن کل (۸۵۳۵ کیلوگرم در هکتار) هم به تیمار شاهد مربوط بود (جدول ۱۰). کود شیمیایی سبب افزایش شاخص سطح برگ و دوام آن پس از گلدهی شده، که در نهایت با کاهش تلفات نور و افزایش کارایی مصرف نور، می‌تواند ظرفیت جذب و فتوسنتز گیاه را بهبود و از این طریق منجر به افزایش عملکرد گیاه گردد (گائو و همکاران ۲۰۱۰). از طرفی با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد (جدول ۱۱)، افزایش وزن هزاردانه منجر به افزایش عملکرد دانه کلزا شده است. علاوه بر این، بیشترین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه با کاربرد کود شیمیایی بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰

و کود سبز شنبلیله (*Trigonell afoenum-graceum* L.)، شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) و ماشک گل خوشه‌ای بر کمیت و کیفیت کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که بیشترین عملکرد وزن خشک کل با کاربرد کود سبز شنبلیله بدست آمد که منجر به افزایش ۳۴/۳ درصد عملکرد نسبت به شاهد گردید (جلیلیان و همکاران ۲۰۲۱).

خصوصیات رشدی کلزا گزارش کردند بیشترین عملکرد دانه (۴۴۶۷/۲ کیلوگرم در هکتار) و بالاترین وزن کل (۱۰۴۰۱/۵) از تیمار کود سبز و نیتروژن و کمترین آن‌ها از تیمار شاهد بدست آمد. در پژوهش دیگر نیز دریایی و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی کود سبز بر کمیت و کیفیت آفتابگردان گزارش کردند کود سبز باعث افزایش عملکرد دانه شد. در مطالعه‌ای دیگر با ارزیابی اثر کود دامی

جدول ۱۱- همبستگی ساده بین وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت،

پالمیتیک اسید، لینولئیک اسید و اولئیک اسید.

| وزن هزار دانه | عملکرد دانه | عملکرد بیولوژیک | درصد روغن | عملکرد روغن | شاخص برداشت | پالمیتیک اسید | لینولئیک اسید |
|---------------|-------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| عملکرد دانه   | ۰/۶۱۳ **    |                 |           |             |             |               |               |
| وزن کل        | ۰/۶۱۸ **    | ۰/۹۹۸ **        |           |             |             |               |               |
| درصد روغن     | ۰/۵۲۴ **    | ۰/۵۲۳ **        | ۰/۵۳۵ **  |             |             |               |               |
| عملکرد روغن   | ۰/۶۲۳ **    | ۰/۹۸۶ **        | ۰/۹۸۵ **  | ۰/۶۶۳ **    |             |               |               |
| شاخص برداشت   | ۰/۲۹۰       | ۰/۲۳۹           | ۰/۲۹۸     | ۰/۲۵۷       | ۰/۲۵۷       |               |               |
| پالمیتیک اسید | ۰/۰۲۷       | ۰/۰۵۴           | ۰/۰۵۴     | ۰/۰۳۷       | ۰/۰۶۰       | ۰/۰۲۲         |               |
| لینولئیک اسید | ۰/۰۵۵       | ۰/۳۷۱           | ۰/۳۷۶     | ۰/۴۰۶ *     | ۰/۴۰۷ *     | ۰/۲۰۲         |               |
| اولئیک اسید   | ۰/۱۳۸       | ۰/۴۴۸ *         | ۰/۴۵۶ *   | ۰/۵۵۱ **    | ۰/۵۰۹ *     | ۰/۲۳۶         | ۰/۷۳۰ **      |

\*\* و \* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.

### درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تفاوت معنی‌دار تیمارها از لحاظ درصد و عملکرد روغن دانه کلزا در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۹). بیشترین درصد روغن در تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار کود سبز ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو مشاهده شد. کمترین درصد روغن هم به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی تعلق داشت. همچنین بیشترین عملکرد روغن در تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو حاصل شد و بعد از آن تیمارهای کاربرد کود شیمیایی و ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو قرار داشتند (جدول ۱۰). مصرف کودهای شیمیایی در مقایسه با عدم کاربرد کود تغییر قابل توجهی بر درصد روغن ایجاد نکرد. چرا که گیاه برای رسیدن به حداکثر درصد روغن به یک حد مطلوب از نیتروژن نیاز دارد و زمانی که میزان نیتروژن خارج از این محدوده باشد درصد روغن کاهش خواهد یافت.

احتمال می‌رود با افزایش نیتروژن، تولید بالقوه مواد هیدروکربنه کاهش یابد و نسبت بیشتری از مواد فتوسنتزی به تشکیل پروتئین اختصاص یافته و منجر به کاهش میزان روغن دانه شود. با عنایت به اینکه هر عاملی که موجب افزایش فتوسنتز گردد، می‌تواند افزایش درصد روغن را به‌مراه داشته باشد (رضایی چپانه و همکاران ۲۰۲۰). بنظر می‌رسد کاربرد کود سبز دسترسی به نیتروژن را جهت استفاده گیاه در تولید کلروفیل افزایش می‌دهد و با توجه به نقش کلروفیل در فتوسنتز، این افزایش کلروفیل باعث بهبود واکنش‌های فتوسنتزی شده، از طرفی جذب نور بیشتر بواسطه کاهش تخریب کلروفیل و انتقال مجدد فسفر باعث تأخیر در پیری برگ‌ها می‌گردد (ژائو و همکاران ۲۰۱۹)، بنابراین با ماندگاری بیشتر برگ‌ها، میزان فتوسنتز و در نتیجه درصد روغن افزایش می‌یابد. از این رو به نظر می‌رسد در دسترس قرار عناصر غذایی با فعال کردن کوفاکتورهای مورد نیاز، منجر به افزایش آنزیم‌های دخیل در فرآیند سنتز

ورمی کمپوست منجر به افزایش ۱۴/۱ درصدی لینولئیک اسید نسبت به تیمار عدم کاربرد هر گونه تیمار کودی گردید (جدول ۱۰). بیشترین (۳/۳۸ درصد) میزان پالمیتیک اسید هم در تیمار کود سبز ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو بدست آمد (شکل ۵). به طور کلی بیشترین و کمترین درصد اسیدهای چرب غیراشباع به ترتیب در تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو مشاهده شد. علاوه بر این، بیشترین درصد اسیدهای چرب اشباع در تیمار ۲۵ درصد نخود فرنگی + ۷۵ درصد جو و کمترین میزان آن هم در تیمارهای کود سبز کشت خالص جو و نخود فرنگی بدست آمد (جدول ۱۲). همبستگی مثبت و معنی داری بین اولئیک اسید و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت که می توان اظهار داشت که با افزایش عملکرد دانه میزان اولئیک اسید افزایش یافته است (جدول ۱۱). همچنین همبستگی منفی و معنی داری بین اولئیک اسید و لینولئیک اسید وجود داشت و با افزایش اولئیک اسید از میزان درصد لینولئیک کاسته شد (جدول ۱۱ و ۱۲). به طور کلی کیفیت روغن تولید شده توسط دانه های روغنی به میزان اسیدهای چرب تولید شده و همچنین نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع بستگی دارد و با افزایش نسبت اسیدهای چرب غیراشباع، پایداری و کیفیت روغن تولید شده افزایش خواهد یافت. دلیل افزایش میزان اسیدهای چرب غیراشباع را می توان به دسترسی بیشتر به عناصر غذایی و تولید ترکیبات پیش ساز اسیدهای چرب نسبت داد (شو تیان و همکاران ۲۰۱۸). به نظر می رسد کود سبز با بهبود شرایط رشدی گیاه، منجر به افزایش فتوسنتز و تولید منابع کربوهیدراتی شده و زمینه لازم جهت تولید ترکیبات پیش ساز اسیدهای چرب (لیپیدها) و همچنین افزایش انرژی لازم (از طریق تولید بیشتر ATP و NADPH) جهت تبدیل لیپیدها به اسیدهای چرب شده است (هاچینگ و همکاران ۲۰۰۵). بیشتر بودن مجموع بیوماس تولیدی در تیمار ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو می تواند منجر به آزادسازی بیشتر عناصر غذایی در خاک از جمله نیتروژن و فسفر گردد و از این طریق می تواند منجر به افزایش کمیت و کیفیت روغن گردد (هوانگ و همکاران ۲۰۱۵).

اسیدهای چرب شده و از این طریق باعث افزایش درصد روغن تولید شده در گیاه کلزا شده است (گائو و همکاران ۲۰۱۰). عملکرد روغن از حاصل ضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه به دست آمده و تابعی از این دو مؤلفه می باشد (وصلی و همکاران ۲۰۲۰). در پژوهش حاضر نیز عملکرد روغن در بوته به طور مستقیم تحت تأثیر عملکرد دانه در بوته قرار گرفته است. چون بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای کود شیمیایی و تیمار ۵۰ درصد نخود فرنگی + جو بدست آمد از این رو، بالا بودن عملکرد روغن در این تیمارها دور از انتظار نبود. محققان نتیجه گرفتند کاربرد کود سبز موجب افزایش درصد روغن کتان روغنی (*Linum usitatissimum* L.) شد. آن ها بیان کردند تأثیر کود سبز بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین تثبیت بیولوژیک نیتروژن باعث بهبود فعالیت های بیولوژیکی خاک شده و از طریق افزایش ماده آلی خاک باعث افزایش درصد روغن می شود (فلاح و همکاران ۲۰۲۱).

### ترکیبات روغن دانه کلزا

ترکیبات روغن یک شاخص مهمی برای ارزیابی کیفیت روغن کلزا محسوب می شود (شکل ۲). بر اساس آنالیز کروماتوگرافی گازی ۱۰ ترکیب در روغن کلزا شناسایی شد. در بین ترکیبات روغن، اولئیک اسید (۸۳/۳۷ تا ۹۲/۴۳ درصد)، لینولئیک اسید (۰/۱۶ تا ۶/۰۷ درصد) و پالمیتیک اسید (۰/۰۱ تا ۳/۳۸ درصد) جزو ترکیبات غالب روغن دانه کلزا بودند (جدول ۱۲). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس ترکیبات اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید تحت تأثیر معنی داری تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱۳). بیشترین میزان اولئیک اسید (۹۲/۴۳ درصد) در تیمار ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدست آمد که تفاوت معنی داری با تیمار ۷۵ درصد نخود فرنگی + ۲۵ درصد جو نداشت (شکل ۳). کاربرد ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو به ترتیب منجر به افزایش ۱۰/۹ و ۷/۱ درصدی اولئیک اسید نسبت به شاهد و کود شیمیایی گردید (جدول ۱۲). همچنین بیشترین (۶/۰۷ درصد) و کمترین (۰/۱۶ درصد) میزان لینولئیک اسید به ترتیب در تیمارهای ورمی کمپوست و ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو بدست آمد (شکل ۴). کاربرد

جدول ۱۲- درصد ترکیبات شناسایی شده روغن دانه کلزا تحت تأثیر منابع کودی مختلف.

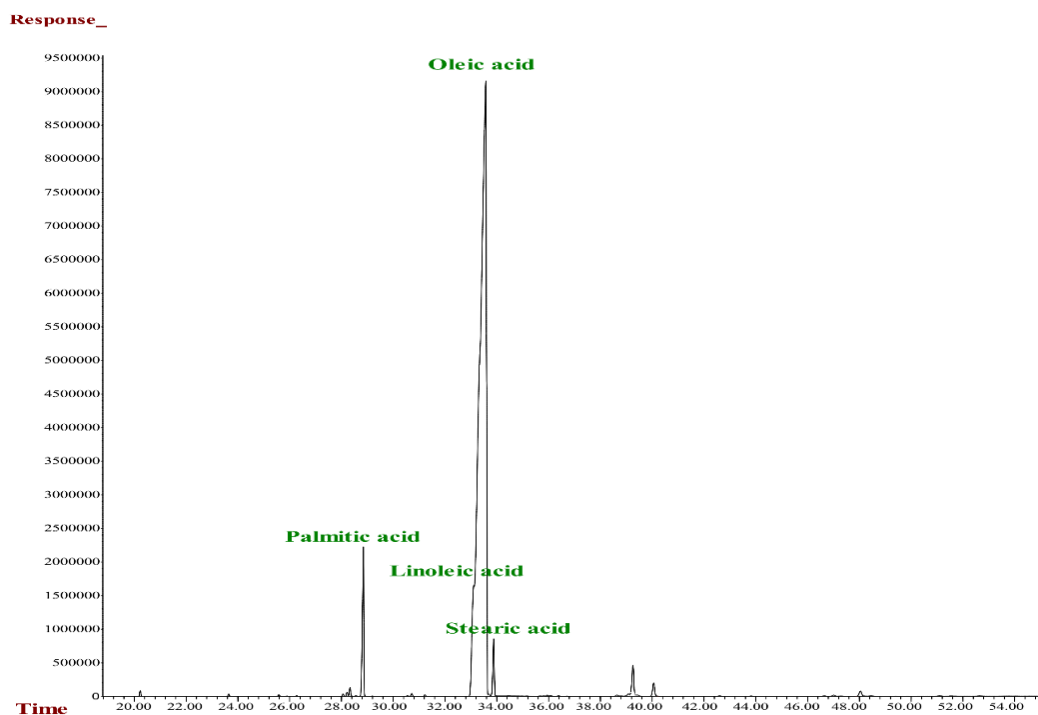
| کود شیمیایی | ورمی کمپوست | ۲۵ درصد                |                        | ۵۰ درصد                |                        | ۷۵ درصد |       | کشت خالص | کشت خالص جو | شاهد  | ترکیبات روغن            |
|-------------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------|-------|----------|-------------|-------|-------------------------|
|             |             | نخودفرنگی + ۷۵ درصد جو | نخودفرنگی + ۵۰ درصد جو | نخودفرنگی + ۷۵ درصد جو | نخودفرنگی + ۵۰ درصد جو |         |       |          |             |       |                         |
| .           | .           | .                      | .                      | .                      | .                      | .       | .     | .        | .           | .     | میربستیک اسید           |
| ۰/۰۲        | ۰/۰۲        | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲    | ۰/۰۲  | ۰/۰۲     | ۰/۰۲        | ۰/۰۲  | پروپانوئیک اسید         |
| ۰/۰۲        | ۰/۰۲        | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲                   | ۰/۰۲    | ۰/۰۲  | ۰/۰۲     | ۰/۰۲        | ۰/۰۲  | متیل پالمیتولئات        |
| ۲/۳۲        | ۲/۴۸        | ۲/۳۸                   | ۲/۲۱                   | ۰/۰۱                   | ۰/۰۱                   | ۰/۰۱    | ۰/۰۱  | ۰/۰۱     | ۰/۰۱        | ۱/۸۸  | پالمیتیک اسید           |
| ۰/۰۵        | ۰/۰۵        | ۰/۰۵                   | ۰/۰۵                   | ۰/۰۵                   | ۰/۰۵                   | ۰/۰۵    | ۰/۰۵  | ۰/۰۵     | ۰/۰۵        | ۰/۰۵  | مارگاریک اسید متیل استر |
| ۲/۷۱        | ۶/۰۷        | ۰/۲۵                   | ۰/۱۶                   | ۰/۴۳                   | ۳/۱۱                   | ۰/۲۲    | ۵/۳۲  | ۵/۳۲     | ۵/۳۲        | ۵/۳۲  | لینولئیک اسید           |
| ۸۶/۲۹       | ۸۴/۱۳       | ۸۷/۷۳                  | ۹۲/۴۳                  | ۹۰/۴۹                  | ۸۸/۵۳                  | ۸۸/۲۰   | ۸۳/۳۷ | ۸۳/۳۷    | ۸۳/۳۷       | ۸۳/۳۷ | اولئیک اسید             |
| ۰/۰۶        | ۰/۰۶        | ۰/۰۶                   | ۰/۰۶                   | ۰/۰۶                   | ۰/۰۵                   | ۰/۰۶    | ۰/۰۶  | ۰/۰۶     | ۰/۰۶        | ۰/۰۶  | استتاریک اسید           |
| .           | .           | .                      | .                      | .                      | .                      | .       | .     | .        | .           | .     | آراشیدیک اسید متیل استر |
| ۰/۰۱        | .           | .                      | .                      | .                      | .                      | .       | .     | .        | .           | .     | فتالیک اسید             |
| ۲/۴۴        | ۲/۶۱        | ۳/۵۰                   | ۲/۳۴                   | ۰/۱۵                   | ۰/۱۳                   | ۰/۱۳    | ۲/۰۱  | ۲/۰۱     | ۲/۰۱        | ۲/۰۱  | اسیدهای چرب اشباع       |
| ۸۹/۰۳       | ۹۰/۲۳       | ۸۸/۰۰                  | ۹۲/۶۱                  | ۹۰/۹۴                  | ۹۱/۶۶                  | ۸۸/۴۴   | ۸۸/۷۱ | ۸۸/۷۱    | ۸۸/۷۱       | ۸۸/۷۱ | اسیدهای چرب غیراشباع    |
| ۹۱/۴۷       | ۹۳/۱۲       | ۹۱/۵                   | ۹۴/۹۵                  | ۹۱/۰۹                  | ۹۱/۷۹                  | ۸۸/۵۷   | ۹۰/۷۲ | ۹۰/۷۲    | ۹۰/۷۲       | ۹۰/۷۲ | مجموع کل ترکیبات        |

جدول ۱۳- میانگین مربعات اثر تیمارهای مختلف بر ترکیبات روغن کلزا

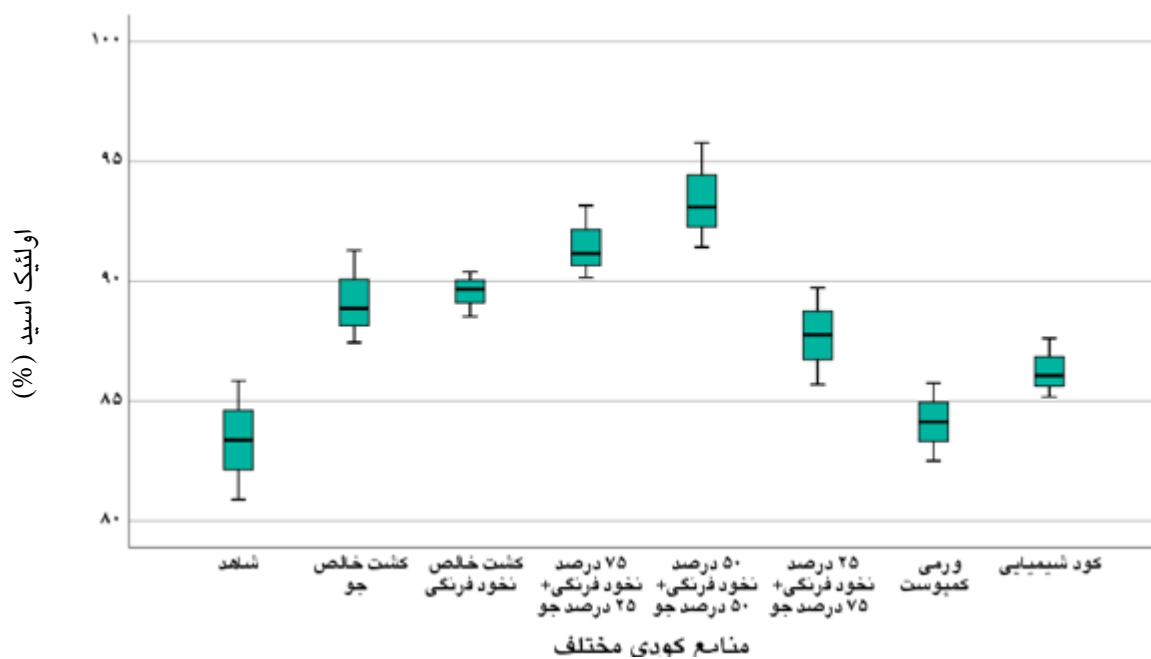
| منابع تغییر      | درجه آزادی | پروپانوئیک اسید        | متیل پالمیتولئات       | پالمیتیک اسید       | مارگاریک اسید متیل استر | لینولئیک اسید       | اولئیک اسید          | استتاریک اسید          |
|------------------|------------|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|
| بلوک             | ۲          | ۰/۰۰۰۰۱۹               | ۰/۰۰۰۰۱۶               | ۰/۱۰۵۵              | ۰/۰۰۰۰۱۰۹               | ۰/۰۵۴۱              | ۱/۱۷۰                | ۰/۰۰۰۰۴۰               |
| تیمار            | ۷          | ۰/۰۰۰۰۱۴ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۰۰۱۵ <sup>ns</sup> | ۵/۳۴۱ <sup>**</sup> | ۰/۰۰۰۰۳۲۰ <sup>ns</sup> | ۱۷/۴۶ <sup>**</sup> | ۲۷/۶۳۸ <sup>**</sup> | ۰/۰۰۰۰۲۱ <sup>ns</sup> |
| خطای آزمایش      | ۱۴         | ۰/۰۰۰۰۰۸۳              | ۰/۰۰۰۰۰۷۹              | ۰/۰۷۵۶              | ۰/۰۰۰۰۰۱۴۰              | ۰/۰۶۰۰              | ۳/۵۶                 | ۰/۰۰۰۰۱۰               |
| ضریب تغییرات (%) |            | ۴/۰۱                   | ۳/۰۸                   | ۱۷/۸۸               | ۲/۵۲۵                   | ۱۰/۷۴               | ۲/۱۵۵                | ۵/۸۱                   |

\*\* و ns به ترتیب معنی دار در سطح ۱ درصد و عدم تفاوت معنی دار می باشد.

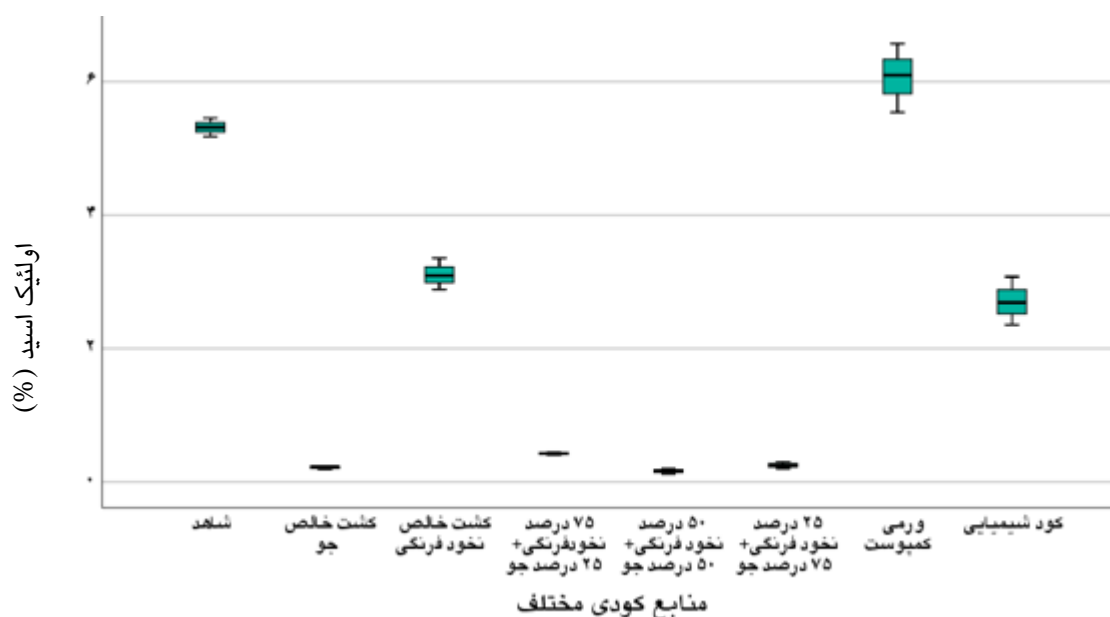




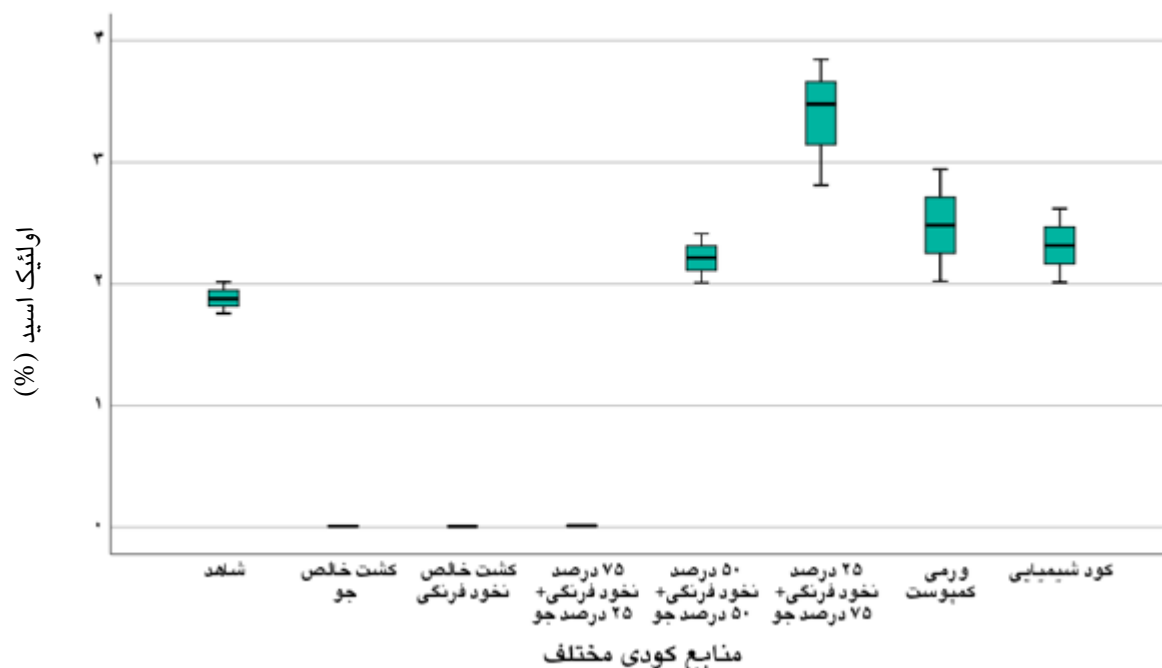
شکل ۲- کروماتوگرام مربوط ترکیبات تشکیل دهنده روغن دانه کلزا



شکل ۳- باکس پلات مربوط به اولئیک اسید تحت تأثیر منابع کودی مختلف



شکل ۴- باکس پلات مربوط به لینولئیک اسید تحت تأثیر منابع کودی مختلف



شکل ۵- باکس پلات مربوط به پالمیتیک اسید تحت تأثیر منابع کودی مختلف

**نتیجه‌گیری کلی**

درصد جو حاصل شد، بنابراین بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد دانه کلزا بعد از تیمار کود شیمیایی در تیمار کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو

نتایج نشان داد با توجه به اینکه بیشترین بیوماس برگشتی به خاک با کاربرد ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰

ویژه نسبت ۵۰ درصد جو + ۵۰ درصد نخود فرنگی، می‌توان ضمن داشتن محصولی با همان عملکرد بدست آمده از تیمار کود شیمیایی، محصولی با کیفیت بهتر و سالم‌تری تولید نمود و در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیل به اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت.

#### سپاسگزاری

از مدیریت پژوهش و فناوری و مدیر آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه بابت انجام آزمایش‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

حاصل شد. علاوه بر این بیشترین درصد و عملکرد روغن دانه کلزا هم بعد از کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو حاصل شد. این امر به بهبود برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در نتیجه استفاده از کود سبز نسبت داده می‌شود. همچنین کاربرد کود سبز منجر به افزایش کیفیت روغن دانه کلزا گردید. به طوری که بیشترین اسیدهای چرب غیراشباع در تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد نخود فرنگی + ۵۰ درصد جو و بعد از آن در تیمار کود سبز نخود فرنگی خالص حاصل شد. با توجه به بهبود برخی از ویژگی‌های خاک و بهبود کمی و کیفی عملکرد دانه کلزا در نتیجه کاربرد کودهای سبز به

#### منابع مورد استفاده

- Abdollahi Hesar, A, Sofalian O, Alizadeh B, Asghari A and Zali H. 2021. Investigation of frost stress tolerance in some promising rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 271-288. (In Persian).
- Adekiya AO. 2019. Green manures and poultry feather effects on soil characteristics, growth, yield, and mineral contents of tomato. *Scientia Horticulturae*, 257: 108721.
- Ahmadi J, Seyfi MM and Amini M. 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamus indicum* L.) varieties. *Electronic journal of crop production*, 5(3): 115-130. (In Persian).
- Amede T, Legesse G, Agegnehu G, Gashaw T, Degefu T, Desta G, Mekonnen K, Schulz and Thorne P. 2021. Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands. *Field Crops Research*, 269: 1-16.
- Andrews EM, Kassama S, Smith EE, Brown PH and Khalsa SDS. 2021. A Review of potassium-rich crop residues used as organic matter amendments in tree crop agroecosystems. *Agriculture*, 11(7): 580.
- Ashoori N, Abdi M, Golzardi F, Ajali J and Nabi Elkaee M. 2021. Quantitative and qualitative characteristics of forage in the sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and berseem clover (*Trifolium alexandrinum* L.) intercropping systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 1-15. (In Persian).
- Bai JS, Cao WD, Xiong J, Zeng NH, Gao SJ and Katsuyoshi S. 2015. Integrated application of february orchid (*Orychophragmus violaceus*) as green manure with chemical fertilizer for improving grain yield and reducing nitrogen losses in spring maize system in northern China. *Journal of ntegrative griculture*, 14(12): 2490-2499.
- Belmeskine H, Ouameur WA, Dilmi N and Aouabed A. 2020. The vermicomposting for agricultural valorization of sludge from Algerian wastewater treatment plant: impact on growth of snap bean *Phaseolus vulgaris* L. *Heliyon*, 6(8): e04679.
- Chapagain T and Riseman A. 2014. Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*, 166: 18-25.
- Chew SC. 2020. Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality. *Food Research International*, 131: 108997.

- Dabighi KH, Fateh E and Ayeneband A. 2017. The effect of different green manure crops and nitrogen sources on weed biomass and some growth characteristics of canola. *Journal of Crop Production*, 9(4): 137-154. (In Persian).
- Ddaryayi F, ghalavand A, chaichi M and sooroosh zade A. 2012. Effects of different fertilizing systems using green manure and zeononix on quantitative and qualitative yield of sunflower in sequential cropping. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(2): 257-268. (In Persian).
- Dhakal Y, Meena RS and Kumar S. 2016. Effect of INM on nodulation, yield, quality and available nutrient status in soil after harvest of greengram. *Legume Research-An International Journal*, 39(4): 590-594.
- Fallah M, Hadi H, Amirnia R and Hasanzadeh Gorttaped A. 2021. Effect of green manure residues and fertilizer sources on agro-physiological characteristics of flax seed in irrigation termination at flowering stage. *Journal of Crops Improvement*, 23(1): 141-154. (In Persian).
- Gao J, Thelen KD, Min DH, Smith S, Hao X and Gehl R. 2010. Effects of manure and fertilizer applications on canola oil content and fatty acid composition. *Agronomy Journal*, 102(2): 790-797.
- Gazave E, Tassone EE, Baseggio M, Cryder M, Byriel K, Oblath E, Lueschow S, Poss D, Hardy C, Wingerson M and Davis JB. 2020. Genome-wide association study identifies acyl-lipid metabolism candidate genes involved in the genetic control of natural variation for seed fatty acid traits in (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products*, 145: 112080.
- Haghaninia M, Javanmard A and Mollaaliabasiyan S. 2021. Investigation of forage yield and nutrients uptake in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and grasspea (*Lathyrus sativus* L.) affected by symbiosis with glomus intraradices fungus. *Journal of Agroecology*, 12(4): 663-683. (In Persian).
- Hutchings D, Rawsthorne S and Emes MJ. 2005. Fatty acid synthesis and the oxidative pentose phosphate pathway in developing embryos of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Experimental Botany*, 56(412): 577-585.
- Hwang HY, Kim GW, Lee YB, Kim PJ and Kim SY. 2015. Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. *Field Crops Research*, 183: 138-146.
- Jalilian J and Heydarzadeh S. 2016. Effect of cover crops, organic and chemical fertilizer on the quantitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(4): 71-85. (In Persian).
- Jalilian S, Mondani F, Fatemi GA and Bagheri A. 2021. Effect of farmyard manure and green manure application on yield and yield components of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Research in Field Crops*, 33(4): 62-86. (In Persian).
- Jian H, Zhang A, Ma J, Wang T, Yang B, Shuang LS and Liu, L. 2019. Joint QTL mapping and transcriptome sequencing analysis reveal candidate flowering time genes in *Brassica napus* L. *BMC Genomics*, 20: 21.
- Lamei Heravani J and Alizadeh Dizaj K. 2014. Grasspea (*Lathyrus sativus*) and common vetch (*Vicia sativa*) as suitable green manure after wheat in the cold regions of Iran. *Applied Field Crops Research*, 27(104): 106-112. (In Persian).
- Ma D, Yin L, Ju W, Li X, Liu X, Deng X and Wang S. 2021. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266: 108146.
- Meena BL, Fagodiyar RK, Prajapat K, Dotaniya ML, Kaledhonkar MJ, Sharma PC, Meena RS, Mitran T and Kumar S. 2018. Legume green manuring: an option for soil sustainability. In: *Legumes for soil health and sustainable management*, Springer. Pp:387-408.
- Mohammadi G and Ghobadi ME. 2010. The effects of different autumn-seeded cover crops on subsequent irrigated corn response to nitrogen fertilizer. *Agricultural Sciences*, 1: 148-153. (In Persian).
- Mohammadi G, Kakaien A, Eghbal Ghobadi M and Najafy A. 2015. effects of rye and common vetch cover crops as pure and mixed on soil physicochemical characteristics. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2): 47-63.

- Premi OP, Kandpal BK, Rathore SS, Shekhawat K and Chauhan JS. 2013. Green manuring, mustard residue recycling and fertilizer application affects productivity and sustainability of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in Indian semi-arid tropics. *Industrial Crops and Products*, 41: 423-429.
- Rezaei-Chiyaneh E, Amirnia R, Machiani MA, Javanmard A, Maggi F and Morshedloo MR. 2020. Intercropping fennel (*Foeniculum vulgare* L.) with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil and fatty acid composition. *Scientia Horticulturae*, 261: 108951.
- Rezvani H, fazeli kakhki S and Khazaeian R. 2021. The effect of different levels of vermicompost and urea on quantitative and qualitative characteristics of sesame in field condition in Gorgan. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3): 341-356. (In Persian).
- Seyed Sharifi R, Lotfollah F and Kamari H. 2016. Evaluation of effects of Azotobacter, Azospirillum and Pseudomonas inoculation and spraying of nitrogen on fertilizer use efficiency and growth of Triticale. *Soil Management and Sustainable Production*, 5: 115-132. (In Persian).
- Shu-tian L, Yu D, Tian-wen G, Ping-liang Z, Ping H and Majumdar K. 2018. Sunflower response to potassium fertilization and nutrient requirement estimation. *Journal of Integrative Agriculture*, 17: 2802-2812.
- Tejadaa M, Gonzalezb JL, GarcíaMartínezc AM and Parradoc J. 2007. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresource Technology of Americal Journal*, 99(11): 4949-4957.
- Vasli Dizajeyekan A, Sarikhani MR and Najafi NA. 2020. The Efficiency of enterobacter cloacae inocula on growth properties, oil yield and type fatty acids of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30(4): 73-93. (In Persian).
- Yadav A and Garg V. 2019. Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*, 274: 512-517.
- Ye X, Hongen L, Zheng L, Yong W, Yingyuan W, Hongfeng W and Guoshun L. 2014. Effects of green manure continuous application on soil microbial biomass and enzyme activity. *Journal of Plant Nutrition*, 37, 4: 498-508.
- Yuvaraj A, Thangaraj R, Ravindran B, Chang SW and Karmegam N. 2020. Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology-A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution*, 115688.
- Zhou T, Wang L, Yang H, Gao Y, Liu W and Yang W. 2019. Ameliorated light conditions increase the P uptake capability of soybean in a relay-strip intercropping system by altering root morphology and physiology in the areas with low solar radiation. *Science of the Total Environment*, 688: 1069-1080.