

Effect of planting date, and mycorrhiza and rhizobium biofertilizers on some agromorphological, physiological and seed protein of two lentil cultivars

Introduction Zahra Ahmadi¹, Mahmoud Reza Tadayon^{*2}, Mohammad Rafieiohossaini³ and Marzieh Hassani⁴

1. Master's student in Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2*. Corresponding author: Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4. PhD graduate in Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, , Shahrekord, Iran

*Corresponding author: email: mrtadayon@gmail.com

Introduction

Lentils are one of the most important plants in the legume family, which is of great importance in the nutritional system of human societies, especially in developing countries, due to the fact that they contain about 25% protein. Today, the use of biofertilizers has received more attention than ever before due to the problems caused by the excessive use of chemical fertilizers. The use of such fertilizers has positive effects on all soil properties. It is also beneficial from economic, environmental and social aspects and can be a suitable and desirable alternative to chemical fertilizers. Currently, new approaches to agriculture, such as sustainable organic and biological agriculture, are based on the exploitation of such resources. In addition to organic matter derived from animal manure, biofertilizers also include plant residues, products from the activity of microorganisms related to nitrogen fixation or the availability of phosphorus and other nutrients in the soil. Legumes are one of the most important plant sources rich in protein and are considered the second most important source of human food after cereals. These plants, by biologically fixing nitrogen, while improving soil fertility as a cover crop or in rotation with some crops, are effective in preventing soil erosion and play an important role in the sustainability of agricultural systems. Legumes are also low-demanding plants in terms of nutrient requirements, which are desirable for cultivation in low-input agricultural systems and are important from an ecological and environmental perspective in preventing land erosion and pollution. Other factors that affect crop production include planting date and cultivar. The choice of planting date is important because it determines the environmental conditions under which the plant will grow and develop. This is especially important for plants such as lentils, which are grown primarily in the spring, relying on soil moisture, and which may expose the plant to high temperatures at the end of the season.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a split factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in the 2015-2016 crop year at Shahrekord University Research Farm. The experimental treatments included: the main factor of two planting dates (March 15, 1403 and April 15, 1404), the sub-factorial factor of two lentil cultivars (Varzaghan and Bileh-Savar) at five fertilizer levels including the application of rhizobium bacteria (*Rizobium leguminosarum*); the combined use of rhizobium and nitrogen fertilizer; the use of mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*); the full application of chemical fertilizers required based on soil analysis; and the control (without fertilizer application). Standard agricultural practices were applied uniformly throughout the growth period.

Results and Discussion

The results showed that the combined treatment of Rhizobium + nitrogen increased most of the growth and yield traits in the two lentil cultivars. This treatment increased the traits of plant height, stem diameter, chlorophyll a, b and total, carotenoids, pods per plant, seeds per plant, grain yield and grain protein, and there was no significance for the protein yield trait. Lentils were inoculated with the bacterium Rhizobium leguminosarium, and the lighter the soil, the more significant the effect of seed inoculation with the bacteria on yield. According to studies by the Australian Grains Research Institute (MEAGRE), lentils are capable of fixing about 35 to 75 kg/ha of nitrogen. Mycorrhizal biofertilizer increased the phosphorus content of lentil grain, and it seems that mycorrhizae improve the growth, development and performance of the host plant in sustainable agricultural systems by increasing the absorption of nutrients such as nitrogen and some elements such as phosphorus, and increasing the level of water absorption. The modified variety of Bilesawar had better performance for all the mentioned traits at the planting date of March. From the higher yield of the crop at the planting date of March, it can be inferred that the sensitive vegetative and especially reproductive period of the lentil plant did not encounter high temperatures at the end of the growing season, and this had a positive effect on the podding and grain setting of the lentil plant and ultimately the biological performance of the plant. Therefore, it is recommended to use a combination of biological and chemical fertilizers such as Rhizobium + Nitrogen fertilizer at the desired level and the Bilesawar variety at the planting date of March to improve the morphophysiological characteristics of the lentil plant, not only from chemical fertilizers, but also to achieve sustainable agricultural goals and maintain the physical and chemical properties of the soil.

Conclusions

The findings of this study show that the integration of bio-fertilizers and chemical fertilizers was more effective than the separate application of each of them. Because the excessive use of chemical fertilizers alone has led to the collapse of sustainable and even organic agricultural systems in most regions of the world in recent decades. The complex policies of governments to produce high crop yields and increase incomes are among the most important reasons for the excessive use of chemical fertilizers and the subsequent destruction of soil and environment. The use of plants such as lentils, which are both a cover crop and a nitrogen-fixing plant that helps sequester carbon, can greatly reduce the destructive effects of excessive use of fertilizers and the problems of cultivation in damaged soils in agricultural lands. In the meantime, using the right and quality variety and determining the right planting date are necessary and essential to achieve high yields in crops, because the absence of these can incur high costs for farmers and severely reduce yields.

Acknowledgements

The authors of the article would like to express their gratitude for the support of Shahrekord University, as well as the National Soil and Water Research Center for providing biofertilizers, and the Ardabil Agricultural Jihad Organization for providing seeds of the requested lentil varieties.

Keywords

Keywords: grain yield, legumes, nutrient uptake, plant height, photosynthetic pigments

اثر تاریخ کاشت، کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر برخی صفات آگرومورفولوژیک، فیزیولوژیکی و پروتئین دانه دو رقم عدس

زهرا احمدی^۱، محمودرضا تدین^{۲*}، محمد رفیعی الحسینی^۳ و مرضیه حسینی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

ایمیل: zahra.ahmadi2000x@gmail.com ارکید: -

۲. نویسنده مسئول: استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

ایمیل: mrtadayon@gmail.com ارکید: ۲۲۰۷-۷۴۴۳-۰۰۰۲-۰۰۰۰

۳. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

ایمیل: m_rafiiee_1999@yahoo.com ارکید: ۰۰۰۰-۰۰۰۲-۸۴۱۳-۷۴۰۴

۴. دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران

ایمیل: mh1501520@gmail.com ارکید: ۰۲۰۹-۸۸۸۷-۰۰۰۸-۰۰۰۹

چکیده

با توجه به اهمیت تاریخ کاشت مناسب برای استفاده بهینه از فصل رشد و همچنین تاثیر کودهای زیستی و شیمیایی در بهبود صفات کمی و کیفی در گیاه عدس، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: عامل اصلی: دو تاریخ کاشت (۲۵ اسفندماه سال ۱۴۰۳ و ۲۵ فروردین ماه سال ۱۴۰۴)، عامل فرعی فاکتوریل دو رقم عدس (ورزقان و بیله‌سوار) در پنج سطح کودی (کاربرد باکتری ریزوبیوم (*Rizobium leguminosarum*)؛ استفاده ترکیبی از ریزوبیوم و کود نیتروژن؛ استفاده از قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)؛ کاربرد کامل کودهای شیمیایی مورد نیاز براساس آنالیز خاک؛ و شاهد (بدون مصرف کود) بودند. نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات ارتفاع بوته، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، فسفر دانه و درصد پروتئین دانه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شدند، قطر ساقه و عملکرد پروتئین دانه از نظر آماری معنی‌دار نبودند. نتایج نشان داد که کاربرد کود ریزوبیوم + نیتروژن تاثیر افزایش بر صفات اندازه‌گیری شده را داشت همچنین رقم بیله‌سوار در تاریخ کاشت اسفند ماه برای تمامی صفات نامبرده از عملکرد بهتری برخوردار بود. بنابراین برای حصول بیش‌ترین عملکرد دانه در عدس، کاشت رقم بیله‌سوار در تاریخ کاشت اسفند ماه علاوه بر استفاده از کودهای زیستی به‌خصوص کود ریزوبیوم همراه با کاربرد نیتروژن توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: ارتفاع بوته؛ جذب عناصر؛ حبوبات؛ رنگیزه‌های فتوسنتزی؛ عملکرد دانه

از زمان‌های گذشته حبوبات پس از غلات به عنوان دومین منبع مهم غذایی در دنیا مطرح بوده‌اند دانه حبوبات با برخورداری از ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین، مکمل کیفی دانه غلات محسوب می‌شوند. علاوه بر این، همزیستی بسیاری از گیاهان این خانواده با باکتری‌های مختلفی از جنس ریزوبیوم سبب تثبیت نیتروژن مولکولی هوا و در پی آن تامین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه و حاصلخیزی خاک می‌شود همچنین قرار دادن حبوبات در تناوب به پایداری نظام های زراعی کمک می‌کند. عدس از جمله حبوبات یکساله با نام علمی (*Lenses culinaris L.*) در تیره نیام داران جای می‌گیرد و یکی از قدیمی‌ترین منابع غذایی گیاهی بشر است که تاریخ آن به قدمت خود کشاورزی است و حدود ۹۰۰۰ سال پیش در اطراف خاورمیانه اهلی شده است (Lopez-Bellido, 1998). کشورهای کانادا، هند و ترکیه بزرگ‌ترین تولید کنندگان عدس در جهان هستند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ ایران با تولید بیش از ۳۰۸ هزار تن عدس در رتبه نهم دنیا قرار داشته است (FAO, 2021). یکی از راهکارهای مهم، جهت افزایش میزان عملکرد و تولید عدس، انتخاب منبع کودی مناسب است. کودهای شیمیایی و زیستی از جمله این منابع کودی هستند که در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی موثر هستند. مهم‌ترین هدف یک برنامه تغذیه‌ای مناسب، دسترسی کافی گیاه، به عناصر ضروری مانند نیتروژن، فسفر و سایر عناصر قابل جذب در مراحل مختلف رشد گیاه است به گونه‌ای که هیچ محدودیتی ناشی از کمبود عناصر غذایی در رشد گیاه و عملکرد آن به وجود نیاید. امروزه می‌توان از تلفیق کودهای شیمیایی و زیستی، برای تغذیه گیاهان زراعی استفاده کرد تا هم مصرف کودهای شیمیایی به کم‌ترین مقدار خود برسد و هم نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی از طریق کودهای زیستی، که دوستدار و سازگار با اکوسیستم‌های طبیعی هستند، تامین شود (Kumar et al., 2018). کودهای زیستی شامل فرآورده‌های حاوی جمعیت‌های متراکم از میکروارگانیسم‌های مفید خاکزی و یا ترکیبات متابولیک حاصل از فعالیت آن‌ها هستند که از طریق افزایش حلالیت و بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی، نقش کلیدی در تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه ایفا می‌کنند (Yadav et al., 2025). ریزوبیوم‌ها از مفیدترین باکتری‌های خاکزی هستند که استفاده از آن‌ها در سطح جهانی به عنوان یک کود بیولوژیک نیتروژنی در کشت حبوبات و گیاهان لگوم علوفه‌ای از دیرباز معمول و متداول بوده است و بیش از یک قرن است که از شناخت نقش مفید ریزوبیوم‌ها در تثبیت نیتروژن مولکولی می‌گذرد. مایکوریزاها نیز از مهم‌ترین کودهای زیستی هستند که همزیستی ریشه گیاهان با آن می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای موجب توسعه سیستم ریشه‌ای افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه و محتوای کلروفیل برگ‌ها شود (Kheirizadeh Arough et al., 2015). رابطه همزیستی قارچ‌های مایکوریزا با ریشه گیاهان زراعی نقش مهمی در بهبود جذب آب و مواد مغذی، افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و ارتقای سلامت و عملکرد گیاه در نظام‌های کشاورزی پایدار دارد (Etesami and Adl., 2024). از مهم‌ترین مشکلات کشاورزی رایج جهان، مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی است. مصرف کودهای شیمیایی در جهان سالانه معادل ۸۵ میلیون تن کود نیتروژن و ۱۵ میلیون تن کود فسفری است (Roy et al., 2006). سیستم‌های کشاورزی رایج، اگرچه به کمک کود و سموم شیمیایی در کوتاه‌مدت می‌توانند عملکرد گیاهان زراعی را افزایش دهند ولی در درازمدت پایداری و حاصلخیزی خاک، سلامت محیط زیست و عملکرد گیاهان زراعی کاهش می‌یابد. این کاهش، در نتیجه افت ویژگی‌های فیزیکی خاک، اسیدی شدن و کاهش فعالیت‌های

زیستی خاک، ناشی از مصرف کودهای شیمیائی است. در مناطقی که حاصلخیزی خاک پائین است استفاده از کود شیمیائی اجتناب ناپذیر است از این رو، کودهای شیمیائی باید به گونه‌ای مصرف شوند که ضمن تامین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی آلودگی حاصل از آبخوئی را به دنبال نداشته باشد (Adediran et al., 2004). طبق بررسی های صورت گرفته مشخص شده است که نقش اساسی قارچ‌های میکوریزا تأمین فسفر برای گیاه است. فسفر در خاک، عنصری فوق العاده کم تحرک است به طوری که حتی اگر فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود به سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به صورت غیر پویا در می‌آید لذا قارچ های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر و تجمع ماده خشک بسیاری از گیاهان زراعی در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند (Peterso and Massicote., 2004). نتایج بررسی تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقسیط کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک عدس نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقسیط کودی موجب افزایش عملکرد و بهبود شاخص‌های رشدی و صفات مورفولوژیک عدس شد (Kumar et al., 2018). نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد اوره و روی بر گیاه عدس، محتوای کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد که نشان‌دهنده نقش آن‌ها در بیوسنتز کلروفیل و تنظیم فتوسنتز است (Rufaioğlu and Tunç., 2025). در پژوهشی مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه عدس (۱۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد مقادیر بالایی از نیتروژن متانول و کاربرد توام میکوریزا با ریزوبیوم به دست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی) از افزایش ۱۰۳ درصدی برخوردار بود (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi., 2020). کودهای نیتروژنه و فسفره از جمله کودهای ماکرو مورد نیاز برای رشد گیاهان است. این کودها جهت رشد و نمو زایشی گیاه مورد نیاز هستند بنابراین تامین این کودها با افزایش رشد سلول‌های ساقه، ارتفاع بوته گیاهان را افزایش می‌دهد (Fioreze et al., 2012). در راستای نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، هدف از این پژوهش بررسی اثر دو تاریخ کاشت زود هنگام (اسفندماه) و توصیه‌شده (فروردین ماه) و اثر کودهای زیستی میکوریزا و ریزوبیوم بر صفات آگرومورفوفیزیولوژیکی، فیزیولوژیکی و کیفیت پروتئین دانه دو رقم عدس (بیل‌سوار و ورزقان) در منطقه شهرکرد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش، به صورت اسپلنت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل: عامل اصلی دو تاریخ کاشت (۲۵ اسفند ماه ۱۴۰۳ و ۲۵ فروردین ماه ۱۴۰۴)، عامل فرعی فاکتوریل دو رقم عدس (ورزقان و بیل‌سوار) و پنج سطح کودی شامل: باکتری ریزوبیوم (*Rizobium leguminosarum*)؛ باکتری ریزوبیوم + کاربرد کود نیتروژن؛ قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*)؛ کاربرد کامل کودهای مورد نیاز براساس آنالیز خاک و شاهد (بدون مصرف کود) بودند. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۲×۳ متر، فاصله بین و روی ردیف‌های کشت به ترتیب ۱۵ و ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت ۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از تداخل تیمارها فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر تعیین شد. کاشت بذر به صورت دستی انجام شد و نخستین

مرحله آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی براساس شرایط رطوبتی خاک انجام گرفت. بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۱) کودهای زیستی در هنگام کشت به خاک اضافه شدند. لازم به ذکر است که خاک محل آزمایش در هر دو تاریخ کاشت یکسان بوده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the experimental field soil

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت خاک Texture	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ₂ O (mg/kg)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ₂ O ₅ (mg/kg)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
0-30	لوم رسی سیلتی Silty Clay loam	1.11	0.15	306	23.2	0.51	7.71

جدول ۲. متوسط دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Table 2. Average monthly temperature and rainfall in the test area during the growing season in 2025

متوسط رطوبت نسبی (%) Average relative humidity (%)	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm)	حداکثر دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	حداقل دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	ماه‌های سال Months of the year
43	35.8	12.5	-4.01	اسفند ۱۴۰۳ March 2025
50	74.4	19	2.7	فروردین ۱۴۰۴ April 2025
35	0	27.7	5.1	اردیبهشت ۱۴۰۴ May 2025
24	0	31	8	خرداد ۱۴۰۴ June 2025
23	0	36.1	15.4	تیر ۱۴۰۴ July 2025

منبع: آمار هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری - ایستگاه شهرکرد سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Source: Meteorological statistics of Chaharmahal and Bakhtiari province - Shahrekord station, 2025

عدس رقم بیله‌سوار از تلاقی دو لاین در مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) حاصل شد و در سال ۱۳۷۴ در قالب آزمایش بین‌المللی به ایران ارسال شد. این رقم اصلاح شده، دانه درشت، متحمل به خشکی و مقاوم به بیماری پوسیدگی فوزاریومی است. رقم بیله‌سوار متعلق به منطقه مغان (اردبیل) است که اقلیمی معتدل تا گرمسیر دارد. این رقم برای مناطق با ارتفاع کم‌تر و دمای بالاتر اصلاح شده است و معمولاً نسبت به ورزقان زودرس‌تر است (Sabaghpour et al., 2017). رقم دیگر مورد استفاده در این پژوهش، توده محلی منطقه ورزقان (استان آذربایجان غربی) است که از نظر سازگاری با شرایط اقلیمی سرد و کوهستانی منطقه، توسط کشاورزان منطقه انتخاب و حفاظت شده است. معمولاً نسبت به سرما مقاوم‌تر است و اگر در مناطق معتدل کاشته شود، ممکن است کمی دیررس‌تر از ارقام گرمسیری شود چراکه نیاز سرمایی یا سازگاری با دمای پایین دارد. هر دو رقم از سازمان جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شدند. در طی دوره رشد، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و نهایتاً عملیات برداشت بوته‌ها با زردشدن اندام هوایی و رسیدگی

غلاف، در پایان دوره رشد انجام شد. در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، فسفر دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین اندازه‌گیری شدند. ارتفاع بوته عدس با خط کش و قطر ساقه با کولیس در زمان رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها) از روش لیچنتالر و باشمن (رابطه ۱) استفاده شد و در تمام کرت‌های آزمایشی از برگ‌های بالایی و جوان هر بوته در زمان گل‌دهی نمونه‌برداری انجام شد (Lichtenthaler & Bachman, 2001). صفات تعداد غلاف در بوته و دانه در بوته به صورت جداسازی پنج بوته تصادفی از هر کرت انتخاب شدند و پس از شمارش آن‌ها، میانگین‌گیری انجام شد. در مرحله رسیدگی مقدار فسفر دانه با روش رنگ سنجی (رنگ زرد مولیبیدات و انادات) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر و در آزمایشگاه فیزیولوژی گروه زراعت دانشگاه شهرکرد اندازه‌گیری شد (Salvagiotti, 2009). با محاسبه وزن دانه در سطح برداشت شده در هر کرت، عملکرد دانه محاسبه شد. درصد نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری و با استفاده از ضریب تبدیل مربوطه ($N \times 6/25$) درصد پروتئین دانه محاسبه شد (Khalik et al., 2006). از حاصل ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه برای هر تیمار، عملکرد پروتئین در آن تیمار به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 و رسم نمودارها با نرم افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD و در سطح احتمال ۵٪ صورت گرفت.

(رابطه ۱)

$$\text{Chlorophyll a (mg/ml)} = 12.25 \times A_{663.2} - 2.79 \times A_{646.8}$$

$$\text{Chlorophyll b (mg/ml)} = 21.50 \times A_{646.8} - 5.1 \times A_{663.2}$$

$$\text{Chlorophyll a + b (mg/ml)} = \text{Chlorophyll a} + \text{Chlorophyll b}$$

$$\text{Carotenoids (mg/ml)} = ((1000(A_{470}) - 1.82(\text{Chl.a}) - 85.02(\text{Chl.b})) / 198$$

نتایج و بحث

جدول ۳. تجزیه واریانس برای صفات مورفوفیزیولوژیکی در دو رقم عدس (بیل‌سوار و ورزقان)

Table 3. Analysis of variance for morphophysiological traits in two lentil cultivars (Biah Savar and Varzeghan)

تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	کارتنوئیدها Carotenoids	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant Height	درجه آزادی Df	منابع تغییرات S.O.V
23.750 ^{ns}	0.029 ^{ns}	1.207 ^{ns}	0.111 ^{ns}	0.630 ^{ns}	0.034 ^{ns}	15.498 ^{ns}	2	بلوک Block
3681.666 ^{**}	2.400 [*]	25.549 ^{**}	5.580 [*]	7.249 [*]	1.640 [*]	1479.073 ^{**}	1	تاریخ کاشت Planting date (P)
39.316	0.111	0.240	0.338	0.278	0.073	1.774	2	خطای اصلی Main error
256.266 ^{**}	2.452 ^{**}	41.259 ^{**}	5.881 ^{**}	15.985 ^{**}	5.642 ^{**}	212.440 ^{**}	1	رقم Cultivar (C)
830.775 ^{**}	0.513 ^{**}	18.630 ^{**}	2.003 ^{**}	8.511 ^{**}	2.029 ^{**}	70.875 ^{**}	4	کود

897.066**	2.434**	26.612**	5.629**	7.767**	0.094 ^{ns}	12.421 ^{ns}	1	Fertilizer (F) تاریخ کاشت × رقم
108.625*	0.011**	1.023**	0.172**	0.462 ^{ns}	0.110*	14.936 ^{ns}	4	P × C تاریخ کاشت × کود
84.641 ^{ns}	0.024**	0.892**	0.097**	0.442 ^{ns}	0.400**	2.360 ^{ns}	4	P × F رقم × کود
120.525*	0.017**	1.491**	0.186**	0.626**	0.015 ^{ns}	29.212*	4	C × F تاریخ کاشت × رقم
42.200	0.004	0.099	0.013	0.102	0.036	10.186	36	P × C × F خطای فرعی
11.66	4.86	7.27	10.52	9.85	6.29	7.16	-	Sub-plot Error
								ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

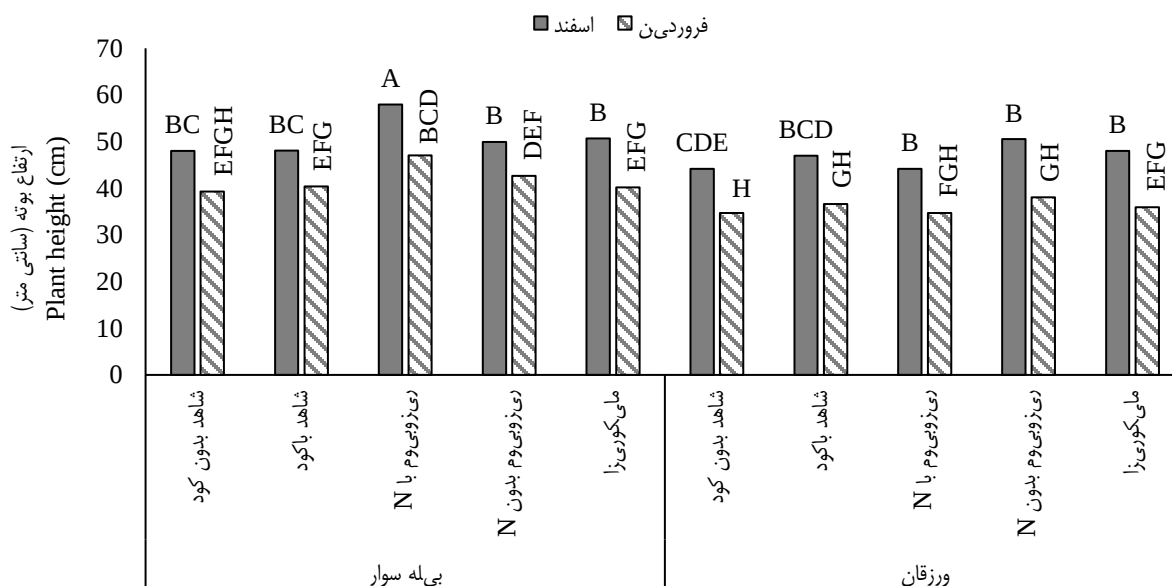
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: indicate significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively; ns: not significant

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تیمار تاریخ کاشت، کود و رقم در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته گیاه عدس معنی‌دار بود. اثر برهمکنش دوگانه تیمارها بر این صفت عدم معنی‌داری را نشان داد. اثر برهمکنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه (۵۷/۹ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته از تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان در تاریخ کاشت فروردین ماه (۳۴/۷ سانتی‌متر) به‌دست آمد (شکل ۱). تأخیر در کاشت از ۲۵ اسفند به ۲۵ فروردین با کاهش محسوس ارتفاع بوته همراه بود. این امر را می‌توان با شرایط اقلیمی منطقه در طول فصل رشد مرتبط دانست. در تاریخ کاشت اول (۲۵ اسفند)، گیاه در ابتدای فصل با میانگین دمای پایین (۴/۰۱- تا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی بالا (۵۰-۴۳ درصد) مواجه بود و مهم‌تر از آن، از حجم بارندگی قابل توجهی (۳۵/۸ میلی‌متر در اسفند و ۷۴/۴ میلی‌متر در فروردین) بهره‌مند شد. این شرایط، دوره رشد رویشی گیاه را طولانی‌تر کرده و امکان استقرار قوی‌تر ریشه و توسعه ساختار رویشی را فراهم آورد. در مقابل، تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، با شروع فصل گرم‌تر (حداقل دما از ۵/۱ درجه سانتی‌گراد در اردیبهشت تا ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد در تیر) و مهم‌تر از آن، قطع کامل بارندگی از اواسط فروردین به بعد، گیاه را در معرض تنش خشکی و گرمایی قرار داد. این تنش‌ها باعث تسریع ورود گیاه به فاز زایشی و توقف رشد طولی ساقه شد، که نتیجه آن کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته بود. یکی از شاخص‌های مهم در تعیین عملکرد به‌ویژه ماده خشک گیاهان زراعی، ارتفاع بوته است یعنی هر چه ارتفاع بوته بیش‌تر باشد، کودپذیری گیاه و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی گیاه نیز بیش‌تر خواهد بود. ارتفاع بوته شاخص مهمی در تعیین ماده خشک تولیدی گیاه است (Bigonah mikal., 2014). زیدان (Zeidan., 2007) نشان داد که کودهای آلی باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شوند. همچنین در پژوهش پیروتی (Pirouti., 2017) مشخص شد که بوته گروه عدس ماکروسپرما (بیل‌سوار)

بلندتر از گروه میکروسپرما (لاین ILL590) بود و کلیه تیمارهای کودی ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج این پژوهشگر نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته عدس ۲۲/۰۴ سانتی متر در کاربرد تیمار تلفیقی کود زیستی + ورمی کمپوست بود و کمترین ارتفاع بوته ۱۷/۶۶ سانتی متر مربوط به تیمار شاهد (عدم استفاده از کود) به دست آمد. نتایج مشاهده شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده مطابقت دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر ارتفاع بوته در گیاه عدس

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

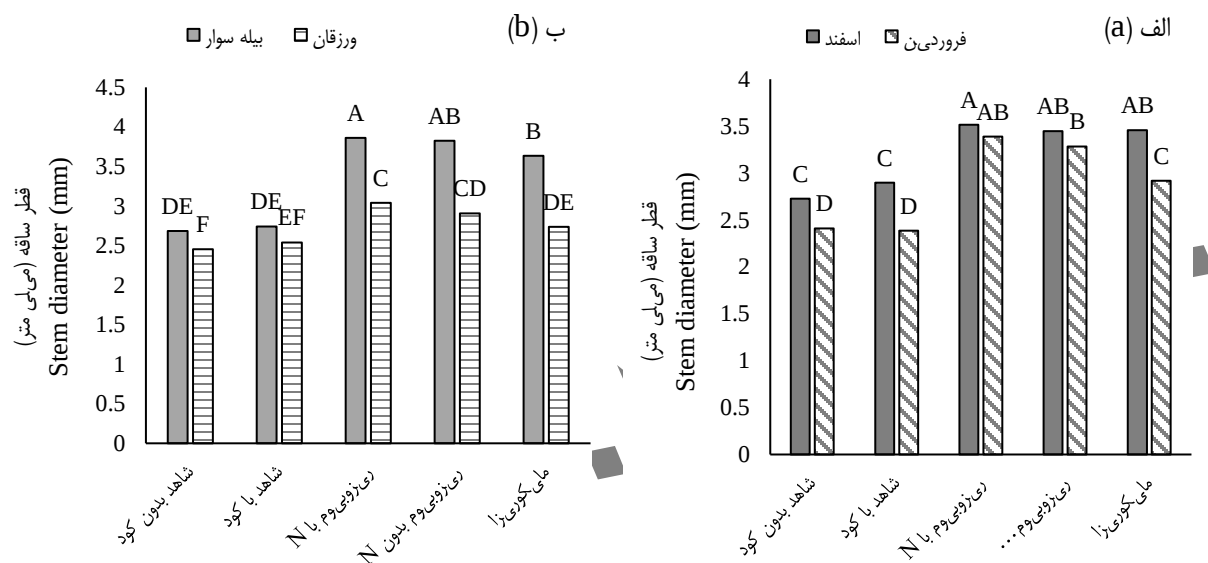
Figure 1. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on plant height in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، تیمارهای رقم و کودی در سطح احتمال یک درصد بر صفت قطر ساقه معنی‌دار شد. اثر برهمکنش دوگانه تاریخ کاشت × رقم عدم معنی‌داری، تاریخ کاشت × کود در سطح احتمال پنج درصد و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود و برهمکنش اثر سه گانه تاریخ کاشت × رقم × کود غیر معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار کودی ریزوبیوم + نیتروژن در تاریخ کاشت اسفندماه (۳/۵۱ میلی‌متر) (شکل ۲- الف) و در همین تیمار در رقم بیله سوار (۳/۸۶ میلی‌متر) بود (شکل ۲- ب) و کمترین تاثیر را شاهد بدون کود در رقم ورزقان و تاریخ کاشت فروردین ماه نشان داد (شکل ۲ الف و ب). شاهسونی و همکاران (Shahsoni et al., 2017) بیان داشتند که کاربرد کود آلی و زیستی بر روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) بادمجان (*Solanum melongena*) و فلفل (*Capsicum SP*) بر قطر ساقه گیاه معنی‌دار بوده است که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های این

پژوهشگران مطابقت داشت. کاربرد کودهای زیستی با ترشح ترکیبات تحریک کننده رشد و تولید هورمون های رشدی و افزایش پویایی و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک، موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه ها شده اند که به نوبه خود سبب گسترش شاخساره و افزایش سطح فتوسنتز کننده و همچنین رشد بیشتر اندام های هوایی گیاه از جمله افزایش قطر ساقه در این آزمایش شدند.



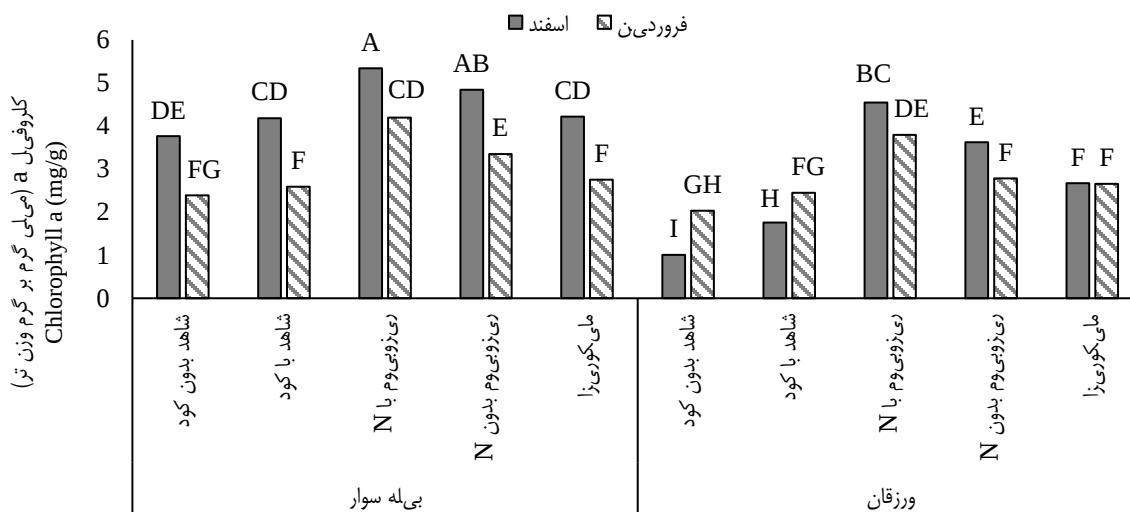
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × کود (الف) و تاریخ کاشت × رقم (ب) بر قطر ساقه در گیاه عدس
ستون هایی که حداقل دارای یک حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی دار ندارند.

Figure 2. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × fertilizer (a) and date × cultivar (b) on Stem diameter in lentil.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، تیمارهای کودی و رقم، همچنین اثرات دوگانه و سه گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل a معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان کلروفیل a (۵/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیلہ سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کمترین میزان را از تیمار شاهد بدون کود (۱/۰۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) در اسفند ماه و رقم ورزقان حاصل شده است (شکل ۳). در پژوهش سید شریفی و سید شریفی (Seyed sharifi and Seyed sharifi, 2018) بر روی گیاه عدس نشان داده شد که بیشترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئیدها به ترتیب ۲/۵۲، ۴/۲۴ و ۱/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در بالاترین سطح از مصرف نیتروژن و کاربرد توأم مایکوریزا با ریزوبیوم و کمترین این مقادیر به ترتیب ۱/۲۷ و ۲/۳۲

و ۰/۷۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در حالت عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی به دست آمد. نتایج مشاهده شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده مطابقت دارد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل a در گیاه عدس

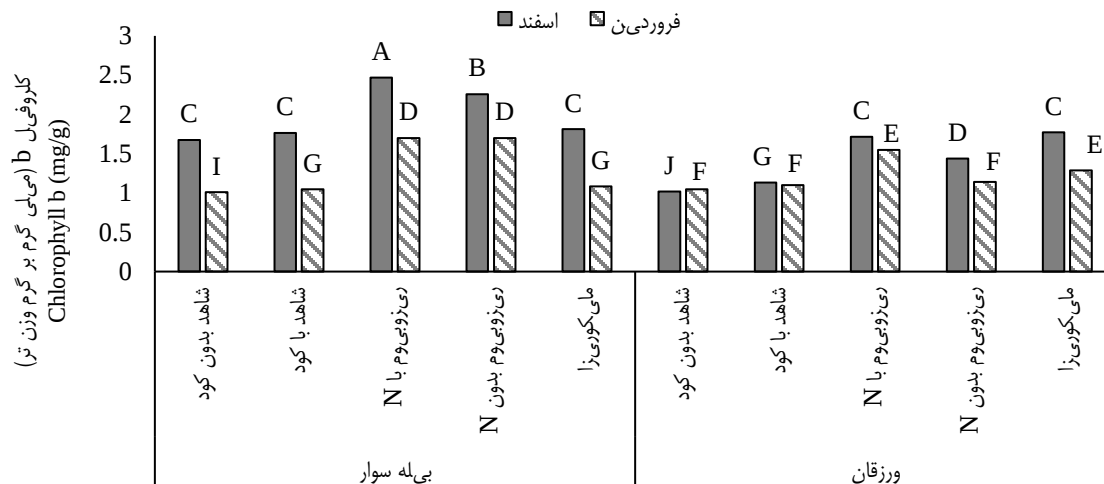
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Chlorophyll a in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، تیمار کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار شد. همچنین اثر برهمکنش دوگانه و سه گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۲/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۱/۰۱۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان و فروردین ماه به‌دست آمده است (شکل ۴). پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed sharifi & Seyed sharifi., 2018) در بررسی تأثیر کودهای زیستی، نیتروژن استارتر و متانول در گیاه عدس نشان داد که بیش‌ترین محتوای این نوع کلروفیل در مصرف مقادیر بالایی از نیتروژن و متانول و کاربرد توام مایکوریزا با ریزوبیوم و کم‌ترین این مقدار در تیمار عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی به‌دست آمد.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل b در گیاه عدس

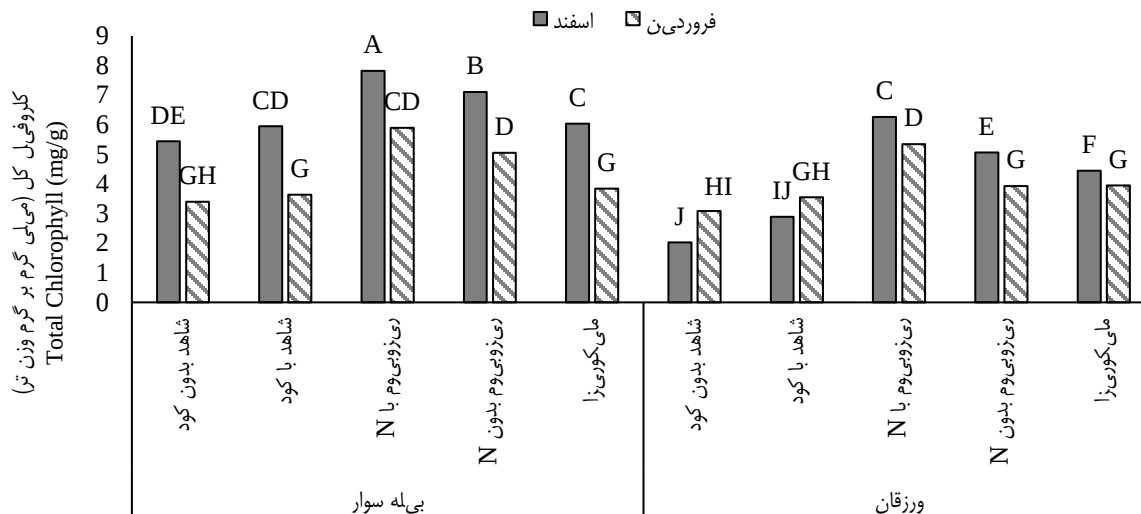
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 4. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Chlorophyll b in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کشت، تیمار کودی و رقم همچنین اثر برهمکنش دوگانه و سه‌گانه تیمارها بر کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۷/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوییوم + نیتروژن در رقم بیلہ‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه به‌دست آمده است و کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان و اسفند ماه به‌دست آمده است (شکل ۵). در پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed Sharifi and Seyed Sharifi., 2019) مقایسه میانگین اثر متانول در نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل (۷۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در کاربرد مقادیر بالایی از متانول و نیتروژن به دست آمد که حاکی از افزایش ۸/۴۷ درصدی محتوای کلروفیل کل در کاربرد مقادیر بالایی از متانول و نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد این عوامل می‌باشد همچنین در پژوهش حسنی و همکاران (Hasani et al., 2023) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار کودی بر رنگی‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار ترکیبی کود زیستی و آلی، بیش‌ترین افزایش را در صفات کلروفیل a، b و کل به ترتیب با ۷۰/۶، ۷۰/۱ و ۶۶/۹ نسبت به شاهد نشان دادند.

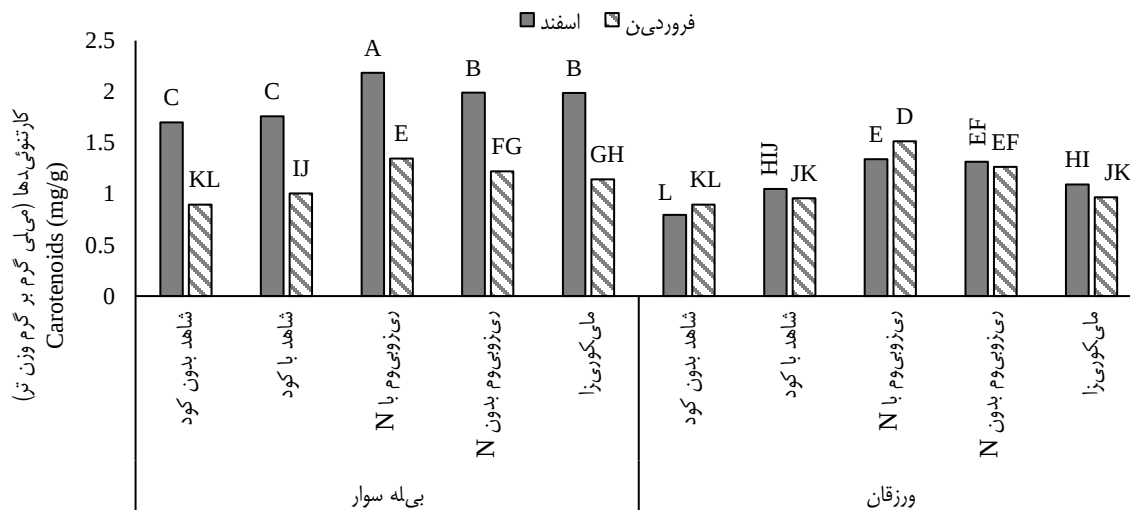


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل کل در گیاه عدس
 ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 5. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Total Chlorophyll in lentil.
 Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کارت‌نوئیدها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد برای صفت کارت‌نوئیدها معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان کارت‌نوئیدها (۲/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار شاهد بدون کود رقم ورزقان در اسفند ماه به‌دست آمده است (شکل ۶). محتوای کاروتنوئیدها نیز با مقادیر نیتروژن ارتباط مستقیم دارد از این‌رو کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش دسترسی گیاه به این عنصر، موجب خواهد شد محتوای کارت‌نوئیدها هم افزایش یابد. بخشی از بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی در کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به نقش این کودها در جذب و انتقال نیتروژن به گیاه میزبان نسبت داد. در این راستا مایکوریزا می‌تواند به‌طور مستقیم نیتروژن (بیشتر به فرم آمونیومی) را جذب و به گیاه میزبان انتقال دهد (Kheirizadeh Arough et al., 2015). نتایج مشاهده شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده مطابقت دارد.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کارتنوئیدها در گیاه عدس

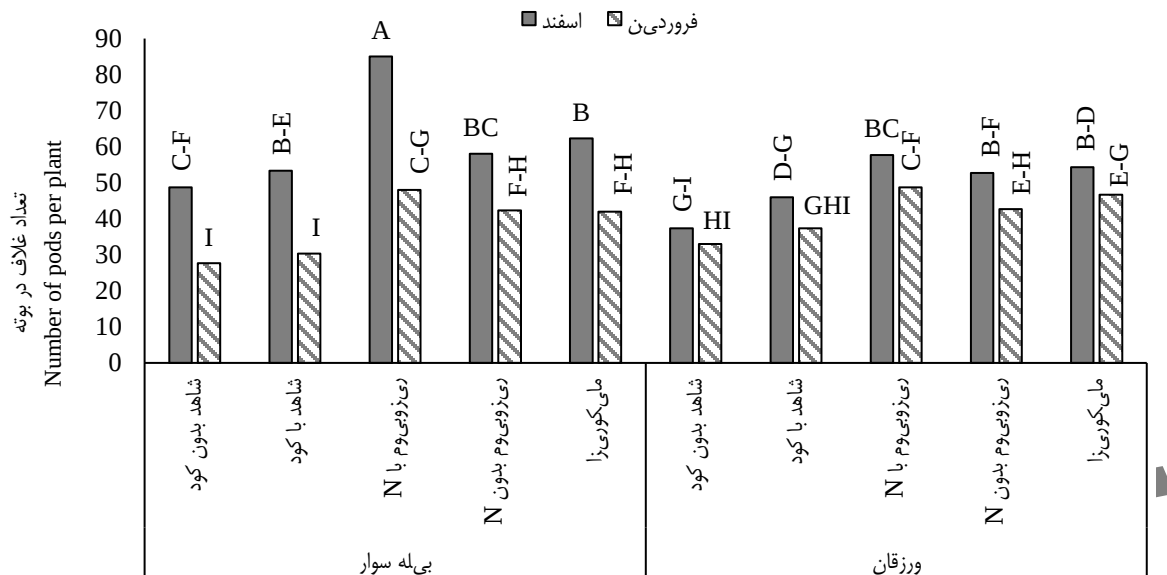
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 6. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Carotenoids in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت، تیمار کودی و رقم و نیز اثر دوگانه تاریخ کاشت × رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود. اثر برهمکنش دوگانه تیمارهای رقم × کود برای این صفت عدم معنی‌داری را نشان داد همچنین اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود، و برهمکنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود برای این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان تعداد غلاف در بوته (۸۵ عدد) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین تعداد غلاف در بوته از تیمار شاهد با و بدون کود (۲۷/۶۷ و ۳۰/۳۳) در فروردین ماه در رقم بیله‌سوار به‌دست آمد (شکل ۷). نوری و همکاران (Nori et al., 2015) نشان دادند که در گیاه عدس مصرف ۳۳ درصد کود آغازگر نیتروژن و مصرف کود زیستی، به ترتیب سبب تولید بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته به ترتیب ۶/۱۵ و ۳۳/۱۴ شدند. رضائی‌چیانه و همکاران (Rezaei Chianneh et al., 2015) گزارش کردند که در گیاه نخود تحت شرایط دیم، بیش‌ترین تعداد نیام در بوته در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی + کود دامی به دست آمده است. نتایج مشاهده شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه شده مطابقت دارد.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر تعداد غلاف در بوته در گیاه عدس

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 7. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of pods per plant in lentil. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۴- تجزیه واریانس برای صفات عملکرد و کیفیت دانه در دو رقم عدس (بیل‌سوار و ورزقان)

Table 4. Analysis of variance for yield and grain quality traits in two lentil cultivars (Bile Savar and Varzeghan)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	عملکرد دانه Seed yield	فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	درصد پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین دانه Protein Yield
بلوک Block	2	16.016 ^{ns}	53681.667 ^{ns}	203.063 ^{ns}	0.537 ^{ns}	305020101 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (P)	1	6976.816 ^{**}	7413135 ^{**}	2730.782 ^{**}	99.488 ^{**}	113270584.884 ^{ns}
خطای اصلی Main error	2	131.716	444005	203.680	1.610	1688939751.039
رقم Cultivar (C)	1	3241.350 ^{**}	9024881.667 ^{**}	322.763 ^{**}	39.141 ^{**}	797356747.266 ^{ns}
کود Fertilizer (F)	4	5541.525 ^{**}	714714.167 ^{**}	371.983 ^{**}	83.475 ^{**}	34294125.714 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم P × C	1	421.350 ^{**}	421681.667 ^{**}	18.182 ^{ns}	0.136 ^{ns}	265082563.568 ^{ns}
تاریخ کاشت × کود P × F	4	82.858 ^{ns}	115597.500 ^{ns}	43.041 ^{ns}	5.841 ^{ns}	142797106.372 ^{ns}
رقم × کود	4	177.808 ^{**}	121969.167 ^{ns}	39.869 ^{ns}	5.009 ^{ns}	405659102.535 ^{ns}

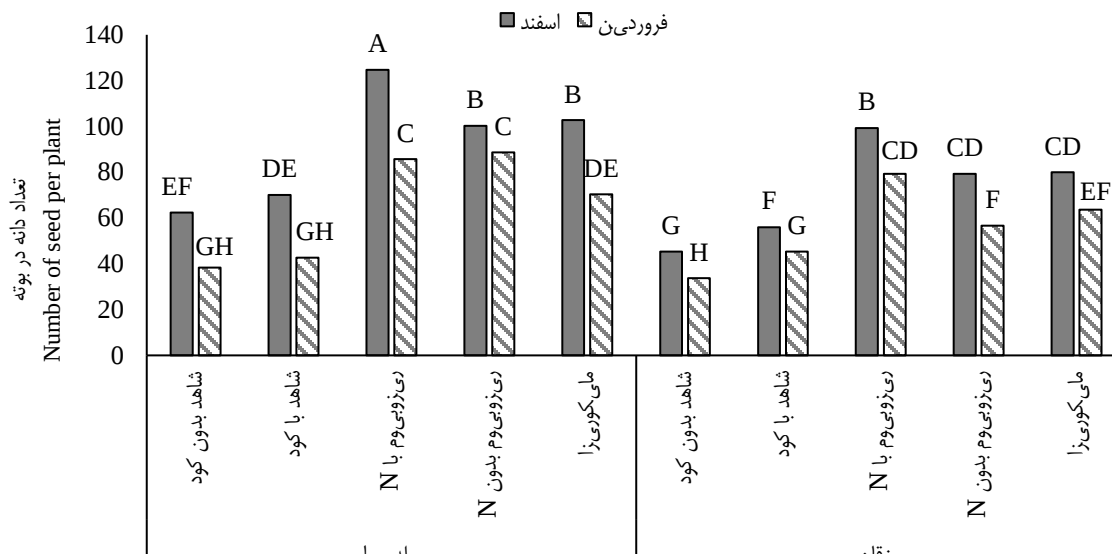
215813787.078 ^{ns}	7.663*	68.331*	234019.167**	113.641*	4	C × F تاریخ کاشت × رقم × کود
313896424.495	2.748	25.809	62611.85	38.385	36	P × C × F خطای فرعی Sub-plot error
15.7	6.60	11.65	11.49	8.69	-	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: indicate significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively; ns: not significant

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات اصلی، اثرات دو گانه تاریخ کاشت × رقم و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد برای صفت تعداد دانه در بوته معنی‌دار شد اما اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود، عدم معنی‌داری را نشان داد. همچنین اثر برهمکنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود برای صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد نیز معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در بوته در تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه با ۱۲۴/۷ و کم‌ترین تعداد دانه در بوته در تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان و در فروردین ماه با ۳۳/۶۷ به‌دست آمد (شکل ۸). در پژوهش پیروتی (Pirouti., 2017) نتایج مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته عدس ماکروسپرما (بیل‌سوار) حدود سه برابر تعداد دانه در بوته در گونه میکروسپرما بود. با اینکه تیمارهای کودی در هر دو عدس ماکروسپرما (بیل‌سوار) و میکروسپرما تعداد دانه در هر بوته را افزایش داده اما این افزایش در عدس ماکروسپرما همواره بیش‌تر از عدس میکروسپرما بود. بیش‌ترین افزایش‌ها در دانه هر بوته عدس ماکروسپرما مربوط به ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی و تیمارهای تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود زیستی و کود شیمیایی بود. در پژوهش محمدزاده آلقو و همکاران (Mohammadzadeh algho et al., 2018) مشخص شد که اثر تیمار کودی بر روی صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است. ولی بین کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشته و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته از تیمار کود زیستی و شاهد به‌دست آمد. کودهای زیستی به دلیل توانایی در افزایش حلالیت فسفر نامحلول خاک، در مرحله زایشی بر رشد گیاه تأثیر گذاشته و باعث افزایش دانه‌بندی می‌شوند (Estrada-Luna and Davies., 2003). به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه ای و همچنین افزایش آب در دسترس گیاه ناشی از بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک در اثر مصرف کودهای آلی، و زیستی باعث افزایش قدرت رشد گیاه شده و در نتیجه تعداد دانه در بوته را افزایش داده است.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تاریخ کاشت × رقم × کود بر تعداد دانه در بوته در گیاه عدس

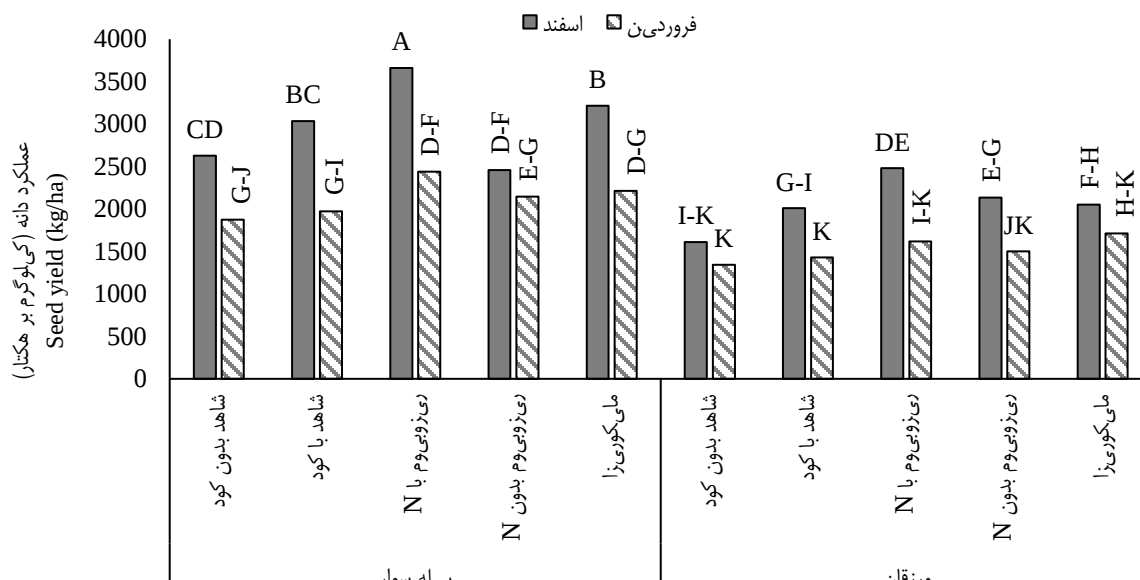
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 8. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of seed per plant in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثر دو گانه تاریخ کاشت × رقم و اثر برهمکنش سه گانه تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال یک درصد برای صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود اما اثرات دو گانه تاریخ کاشت × کود و رقم × کود برای این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۶۶۰ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و تاریخ اسفندماه و کم‌ترین میزان این صفت به ترتیب از تیمار شاهد بدون کود و با کود در رقم ورزقان (۱۳۴۳ و ۱۴۳۰ کیلوگرم بر هکتار) در تاریخ کاشت فروردین‌ماه حاصل شد (شکل ۹). آلبایراک و همکاران (Albayrak et al., 2006) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری ریزوبیوم منجر به افزایش ۷/۶ درصدی عملکرد دانه گیاه عدس شد. همچنین در پژوهش آمانی (Amany., 2007) مشخص شد افزایش میزان نیتروژن قابل دسترس در نخود با افزایش رشد رویشی و بالابردن شاخص سطح برگ، موجب تولید ماده خشک بیش‌تر و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود. رایت و همکاران (Wright et al., 1998) بیان کردند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان مایکوریزایی شده به قارچ‌های مایکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی برای آسیمیلات‌ها موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد به‌ویژه عملکرد دانه کمک می‌کنند.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر عملکرد دانه در گیاه عدس

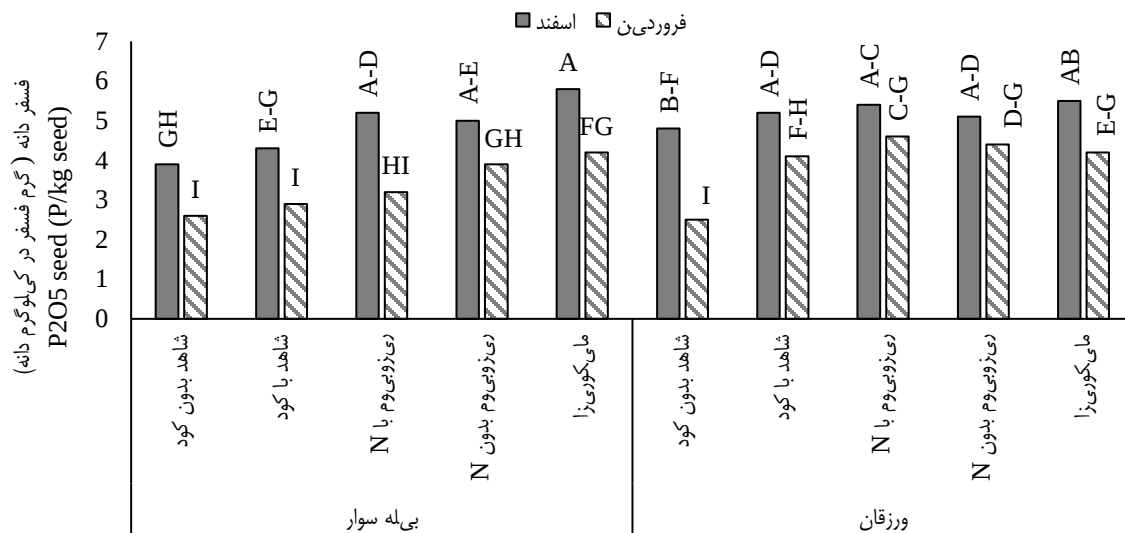
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حروف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 9. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Seed yield in lentil.

Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت و تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفت میزان فسفر دانه معنی‌دار شد. برهمکنش دوگانه تیمارها عدم معنی‌داری را نشان دادند و برهمکنش سه‌گانه تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌تر میزان فسفر دانه (۵/۸ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) مربوط به تیمار مایکوریزا در رقم بیل‌سوار و تاریخ کاشت اسفندماه و کم‌ترین میزان این صفت، به‌ترتیب از تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان (۲/۵ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در تاریخ کاشت فروردین‌ماه و تیمار شاهد با و بدون کود در رقم بیل‌سوار (۲/۹ و ۲/۶ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در فروردین‌ماه حاصل شد (شکل ۱۰). ساکت و همکاران (Saket et al., 2014) تأثیر کود آلی و معدنی را بر پارامترهای عملکرد در عدس بررسی کردند. بررسی مطالعه آنان نشان داد که دانه‌های به‌دست آمده از تیمار شاهد کم‌ترین مقدار فسفر را داشتند، در حالی که بوته‌های تیمار شده با کود دامی و کود زیستی بالاترین میزان فسفر را داشتند.



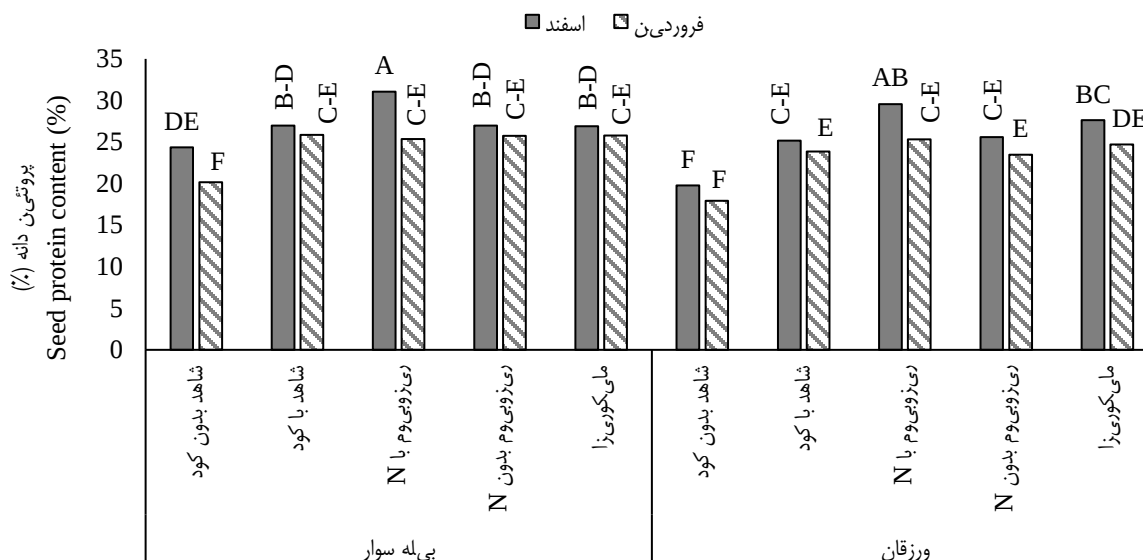
شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر میزان فسفر دانه در گیاه عدس

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 10. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on seed phosphorus percentage in lentil. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهمکنش تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال پنج درصد برای صفت پروتئین دانه معنی دار شد. برهمکنش دوگانه تیمارها برای این صفت عدم معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان پروتئین دانه (۳۱/۰۶ درصد) مربوط به تیمار ریزونیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و تاریخ اسفندماه و کم‌ترین میزان این صفت به ترتیب از تیمار شاهد بدون کود در رقم ورزقان در فروردین و اسفندماه (۱۷/۹۴ و ۱۹/۷۹ درصد) و تیمار شاهد بدون کود در رقم بیله‌سوار در فروردین ماه (۲۰/۱۷ درصد) حاصل شد (شکل ۱۱). گزارش شده است که روابط مایکوریزایی از طریق تأثیر بر قدرت جذب و نوع عناصر غذایی مانند نیتروژن بر درصد پروتئین دانه اثر گذاشته و موجب بهبود درصد پروتئین دانه می‌شود و از آن‌جا که عنصر نیتروژن ماده اولیه تشکیل‌دهنده پروتئین است احتمالاً یکی از دلایل افزایش پروتئین با کاربرد قارچ مایکوریزا افزایش در درصد نیتروژن دانه است (Mazlomi et al., 2019).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر پروتئین دانه در گیاه عدس

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند.

Figure 11. Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Seed protein content in lentil. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه گانه آن‌ها بر عملکرد پروتئین معنی‌دار نبود (جدول ۴) در پژوهش ذبیحی محمود آباد و حسن‌زاده (Zabihi-e-Mahmoodabad & Hassanzadeh., 2017) نتایج تجزیه واریانس به دست آمده برای صفت عملکرد پروتئین دانه نشان داد که عملکرد پروتئین دانه برای سطوح تیماری کود پتاسیم و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل این دو تیمار در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. میانگین‌ها برای این صفت نشان داد که افزایش کود پتاسیم و نیتروژن موجب افزایش این صفت شد به طوری که بیش‌ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه به ترتیب در سطوح تیماری ۷۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد. نتایج این پژوهش مطابقتی با نتایج این محققان در مورد صفت عملکرد پروتئین، نداشت.

مراحل فنولوژیک

نتایج نشان داد که تعداد روز تا کلیه مراحل فنولوژیک تحت تأثیر تاریخ کاشت، رقم و تیمار تغذیه‌ای قرار گرفت.

تعداد روز تا سبز شدن

سبز شدن عدس بسته به دمای خاک و رطوبت معمولاً ۷ تا ۱۴ روز پس از کاشت گزارش شده است (Erskine et al., 2009). در کاشت ۲۵ اسفند، به دلیل پایین تر بودن دمای خاک و هوا، سبز شدن با تأخیر بیش‌تری انجام شد؛ به‌طوری‌که در رقم بیل‌سوار بین ۱۱ تا ۱۳ روز و در رقم ورزقان بین ۱۲ تا ۱۵ روز پس از کاشت رخ داد. در مقابل، در کاشت ۲۵ فروردین با افزایش دمای محیط، سرعت جوانه‌زنی و خروج گیاهچه از خاک افزایش یافت و تعداد روز تا سبز شدن کاهش پیدا کرد؛ به‌طوری‌که این مرحله در بیل‌سوار در ۹ تا ۱۱ روز و در ورزقان در ۱۰ تا ۱۲ روز پس از کاشت ثبت شد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش دمای خاک در محدوده مطلوب می‌تواند با افزایش فعالیت‌های متابولیکی بذر، جذب آب و رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه، سبز شدن را تسریع کند. رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت نسبت به رقم محلی ورزقان سبز شدن سریع‌تری داشت که می‌تواند بیانگر قدرت استقرار اولیه و سازگاری بهتر این رقم باشد. کم‌ترین تعداد روز تا سبز شدن مربوط به تیمارهای ریزوبیوم همراه با نیتروژن و مایکوریزا بود، در حالی‌که بیش‌ترین تعداد روز تا سبز شدن در تیمار شاهد بدون کود مشاهده شد. بنابراین، اگرچه کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن شد، اما به دلیل مواجهه مراحل بعدی رشد با گرمای انتهایی فصل، این تسریع اولیه الزاماً به عملکرد بالاتر منجر نشد.

تعداد روز تا شاخه‌دهی

مطالعات فنولوژی عدس نشان می‌دهد که مرحله شاخه‌دهی معمولاً در حدود ۲۰ تا ۳۵ روز پس از کاشت رخ می‌دهد (Erskine et al., 2009). در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند، به دلیل خنک‌تر بودن شرایط ابتدای فصل، رسیدن گیاه به مرحله شاخه‌دهی دیرتر انجام شد؛ به‌طوری‌که در رقم بیل‌سوار شاخه‌دهی در حدود ۲۲ تا ۲۶ روز پس از کاشت و در رقم ورزقان در حدود ۲۶ تا ۳۲ روز پس از کاشت رخ داد. اما در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، به دلیل افزایش دما و تسریع رشد رویشی، این مرحله زودتر اتفاق افتاد؛ به‌طوری‌که در بیل‌سوار شاخه‌دهی در حدود ۱۸ تا ۲۳ روز و در ورزقان در حدود ۲۱ تا ۲۶ روز پس از کاشت ثبت شد. رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت زودتر از ورزقان وارد مرحله شاخه‌دهی شد. این موضوع نشان‌دهنده استقرار اولیه بهتر، رشد رویشی سریع‌تر و توان بیش‌تر این رقم برای تولید شاخه‌های فرعی است. شاخه‌دهی زودتر می‌تواند باعث افزایش تعداد گره، سطح برگ، تعداد محل‌های بالقوه تشکیل گل و در نهایت افزایش اجزای عملکرد شود. در مقابل، تأخیر در شاخه‌دهی در رقم ورزقان باعث شد ورود به مراحل بعدی رشد، به‌ویژه غنچه‌دهی و گل‌دهی، دیرتر انجام شود و در نتیجه فرصت کم‌تری برای پر شدن دانه باقی بماند (Tolaikeiene et al., 2025). بهترین تیمار، ریزوبیوم همراه با نیتروژن بود؛ زیرا در هر دو رقم و هر دو تاریخ کاشت، این تیمار باعث زودتر وارد شدن گیاه به مرحله شاخه‌دهی شد. این تیمار علاوه بر شاخه‌دهی زودتر، در مراحل بعدی نیز موجب گل‌دهی زودتر، رسیدگی دیرتر و طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه شد؛ بنابراین شرایط مناسب‌تری برای افزایش عملکرد فراهم کرد. در مقابل تیمار شاهد بدون کود بیش‌ترین تعداد روز تا شاخه‌دهی را نشان داد. تأخیر در شاخه‌دهی در این تیمار نشان‌دهنده ضعف رشد اولیه و محدودیت تغذیه‌ای بود و در ادامه باعث گل‌دهی دیرتر، کوتاه‌تر شدن دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر ناشی از پیری زودرس شد (شکل ۱۱).

تعداد روز تا ساقه‌دهی اصلی

بر اساس گزارش‌های فیزیولوژی رشد عدس، مرحله شروع رشد فعال ساقه معمولاً در حدود ۲۵ تا ۴۰ روز پس از کاشت مشاهده می‌شود (Erskine et al., 2009). در این آزمایش (شکل ۱۱) نیز مقادیر به‌دست‌آمده در همین محدوده قرار داشت. در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند، به دلیل پایین‌تر بودن دمای ابتدای دوره رشد، گیاهان مدت زمان بیش‌تری را در مراحل اولیه رشد رویشی سپری کردند و ساقه‌دهی اصلی دیرتر آغاز شد. در این تاریخ کاشت، رقم بیل‌سوار در حدود ۳۰ تا ۳۴ روز پس از کاشت و رقم ورزقان در حدود ۳۵ تا ۴۱ روز پس از کاشت وارد مرحله ساقه‌دهی اصلی شدند. در مقابل، در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، افزایش دما باعث سرعت گرفتن رشد رویشی شد و این مرحله زودتر اتفاق افتاد؛ به‌طوری‌که ساقه‌دهی اصلی در بیل‌سوار حدود ۲۵ تا ۳۰ روز و در ورزقان حدود ۲۹ تا ۳۴ روز پس از کاشت مشاهده شد. رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت زودتر از ورزقان به مرحله ساقه‌دهی اصلی رسید. این موضوع نشان می‌دهد که رقم بیل‌سوار پس از سبز شدن و شاخه‌دهی، توان بیش‌تری در ادامه رشد رویشی و گسترش ساختار گیاهی داشته است. آغاز زودتر ساقه‌دهی اصلی می‌تواند موجب افزایش ارتفاع مناسب بوته، توسعه بهتر گره‌ها، افزایش سطح فتوسنتزکننده و فراهم شدن زمینه مناسب‌تر برای ورود به مراحل زایشی شود (Erskine et al., 2009; Toleikiene., 2025). در مقابل، تأخیر ورزقان در ساقه‌دهی اصلی باعث شد انتقال این رقم از رشد رویشی به رشد زایشی دیرتر انجام شود و بخش بیش‌تری از فصل رشد مطلوب از دست برود. در بین تیمارها، ریزوبیوم همراه با نیتروژن بهترین وضعیت را داشت؛ زیرا در هر دو رقم و هر دو تاریخ کاشت، کم‌ترین تعداد روز تا ساقه‌دهی اصلی مربوط به این تیمار بود. این موضوع احتمالاً به دلیل بهبود تغذیه نیتروژنی، افزایش رشد ریشه، تقویت رشد رویشی و فراهم شدن شرایط مناسب‌تر برای توسعه اندام‌های هوایی گیاه بوده است. این تیمار نه‌تنها ساقه‌دهی اصلی را زودتر کرد، بلکه در ادامه باعث گل‌دهی زودتر، رسیدگی دیرتر و افزایش طول دوره پر شدن دانه شد؛ بنابراین نقش مهمی در بهبود عملکرد نهایی داشت. در مقابل، شاهد بدون کود ضعیف‌ترین تیمار بود و بیش‌ترین تعداد روز تا ساقه‌دهی اصلی را نشان داد. تأخیر در این مرحله بیانگر کندی رشد رویشی و ضعف تغذیه‌ای گیاه بود. در این تیمار، گیاه دیرتر ساختار رویشی لازم را تشکیل داد، اما به دلیل تنش تغذیه‌ای و گرمای اواخر فصل، فرصت کافی برای جبران این تأخیر نداشت؛ در نتیجه گل‌دهی با تأخیر، دوره پر شدن دانه کوتاه‌تر و رسیدگی زودتر اتفاق افتاد (Chauhan et al., 2025).

تعداد روز تا غنچه‌دهی

در شرایط مختلف اقلیمی، تشکیل غنچه در عدس معمولاً حدود ۳۰ تا ۴۵ روز پس از کاشت گزارش شده است (Erskine et al., 2009). به‌طور کلی، در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دلیل خنکی نسبی ابتدای فصل، بوته‌ها با آهنگ ملایم‌تری رشد کردند و در نتیجه ورود به مرحله غنچه‌دهی با فاصله زمانی بیش‌تری پس از کاشت رخ داد. در این شرایط، رقم بیل‌سوار حدود ۳۶ تا ۴۰ روز پس از کاشت و رقم ورزقان حدود ۴۲ تا ۴۸ روز پس از کاشت به غنچه‌دهی رسیدند. در مقابل، در کاشت ۲۵ فروردین به علت دمای بالاتر و سرعت بیشتر رشد، این مرحله زودتر ظاهر شد؛ به‌طوری‌که غنچه‌دهی در بیل‌سوار در حدود ۳۰ تا ۳۵ روز و در ورزقان در حدود ۳۵ تا ۴۰ روز پس از کاشت ثبت شد. از نظر تفاوت بین ارقام، رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت زودتر از رقم ورزقان وارد مرحله غنچه‌دهی شد (شکل ۱۱). این ویژگی نشان می‌دهد که بیل‌سوار مسیر گذار از رشد رویشی به زایشی را سریع‌تر طی کرده و توانسته است اندام‌های زایشی خود را زودتر تشکیل دهد. در مقابل، دیرتر رسیدن ورزقان به این

مرحله باعث شد بخشی از ظرفیت رشد زایشی آن به اواخر فصل و شرایط گرم‌تر منتقل شود؛ موضوعی که می‌تواند از کارایی تولیدی آن بکاهد. مقایسه تیمارها نیز نشان داد که ریزوبیوم همراه با نیتروژن مناسب‌ترین شرایط را برای تسریع غنچه‌دهی فراهم کرده است. در این تیمار، گیاه از نظر رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و تأمین نیتروژن در وضعیت بهتری قرار داشت و همین امر موجب شد تشکیل اندام‌های زایشی با تأخیر کم‌تری انجام شود. نکته مهم این است که برتری این تیمار تنها به غنچه‌دهی محدود نماند، بلکه در ادامه نیز با تسریع گل‌دهی و طولانی‌تر شدن فاصله بین گل‌دهی تا رسیدگی همراه شد؛ الگویی که با افزایش عملکرد سازگار است. اگرچه کاشت دیرتر موجب شد غنچه‌دهی در تعداد روز کم‌تری پس از کاشت رخ دهد، اما این پدیده بیش‌تر نتیجه افزایش دما و فشرده شدن کل چرخه رشد بود تا یک مزیت واقعی از نظر تولید. در واقع، گیاه در کاشت فروردین با سرعت بیش‌تری به مراحل زایشی وارد شد، ولی تداوم این مراحل تحت تأثیر گرمای انتهای فصل کاهش یافت. به همین دلیل، صرف کاهش تعداد روز تا غنچه‌دهی را نمی‌توان نشانه برتری دانست. در این میان، کاشت ۲۵ اسفند با فراهم کردن بستر زمانی مناسب‌تر، امکان شکل‌گیری متعادل‌تر مراحل زایشی را ایجاد کرد و از این نظر برای عملکرد نهایی مطلوب‌تر بود. در مجموع می‌توان گفت که زودرسی نسبی بیل‌سوار در ورود به غنچه‌دهی، همراه با پاسخ بهتر این رقم به تیمار ریزوبیوم همراه با نیتروژن، موجب شد هماهنگی مناسب‌تری میان رشد رویشی و زایشی برقرار شود. در مقابل، ورزقان و به‌ویژه تیمار شاهد بدون کود با تأخیر در آغاز غنچه‌دهی، وارد روندی شدند که در ادامه به کوتاه‌تر شدن دوره مؤثر زایشی و افت توان تولیدی منجر شد. (Erskine et al., 2009; Toleikiene., 2025).

تعداد روز تا گل‌دهی

در منابع معتبر زراعی، مرحله آغاز گل‌دهی عدس بسته به اقلیم و رقم، معمولاً بین ۳۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت گزارش شده است (Toleikiene., 2025; Erskine et al., 2009). در این تحقیق، گل‌دهی در بازه ۳۸ تا ۵۵ روز رخ داد که کاملاً با گزارش‌های جهانی مطابقت دارد. در تاریخ کاشت اسفند به دلیل سپری شدن دوره رشد رویشی طولانی‌تر، گیاه دیرتر وارد فاز گل‌دهی شد، اما در مقابل، گیاهانی که در فروردین کشت شدند تحت تأثیر افزایش دما سریع‌تر به گل رفتند. رقم بیل‌سوار با میانگین ۴۰ روز، نسبت به ورزقان با میانگین ۴۷ روز، زودگل‌ده‌تر بود. تیمار ریزوبیوم + نیتروژن با تسریع در تکامل اندام‌های زایشی، کم‌ترین زمان تا گل‌دهی را به خود اختصاص داد (شکل ۱۱). زودگل‌دهی در این تیمار یک امتیاز فیزیولوژیک محسوب می‌شود؛ گل‌دهی زود هنگام باعث می‌شود گیاه پیش از مواجهه با تنش گرمای انتهای فصل، بخش عمده‌ای از تلقیح خود را انجام دهد (Erskine et al., 2009).

تعداد روز تا غلاف‌دهی

به‌طور معمول، تشکیل اولین غلاف‌ها در عدس حدود ۵ تا ۱۰ روز پس از شروع گل‌دهی (تقریباً ۵۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت) آغاز می‌شود (Erskine et al., 2009; Toleikiene., 2025). نتایج این بررسی نشان داد که در رقم بیل‌سوار، غلاف‌دهی حدود ۴۵ تا ۵۲ روز و در رقم ورزقان حدود ۵۰ تا ۵۸ روز پس از کاشت به ثبات رسید. تسریع در غلاف‌دهی در تیمارهای برتر (به‌ویژه ریزوبیوم و مایکوریزا) نشان‌دهنده کارایی بالای

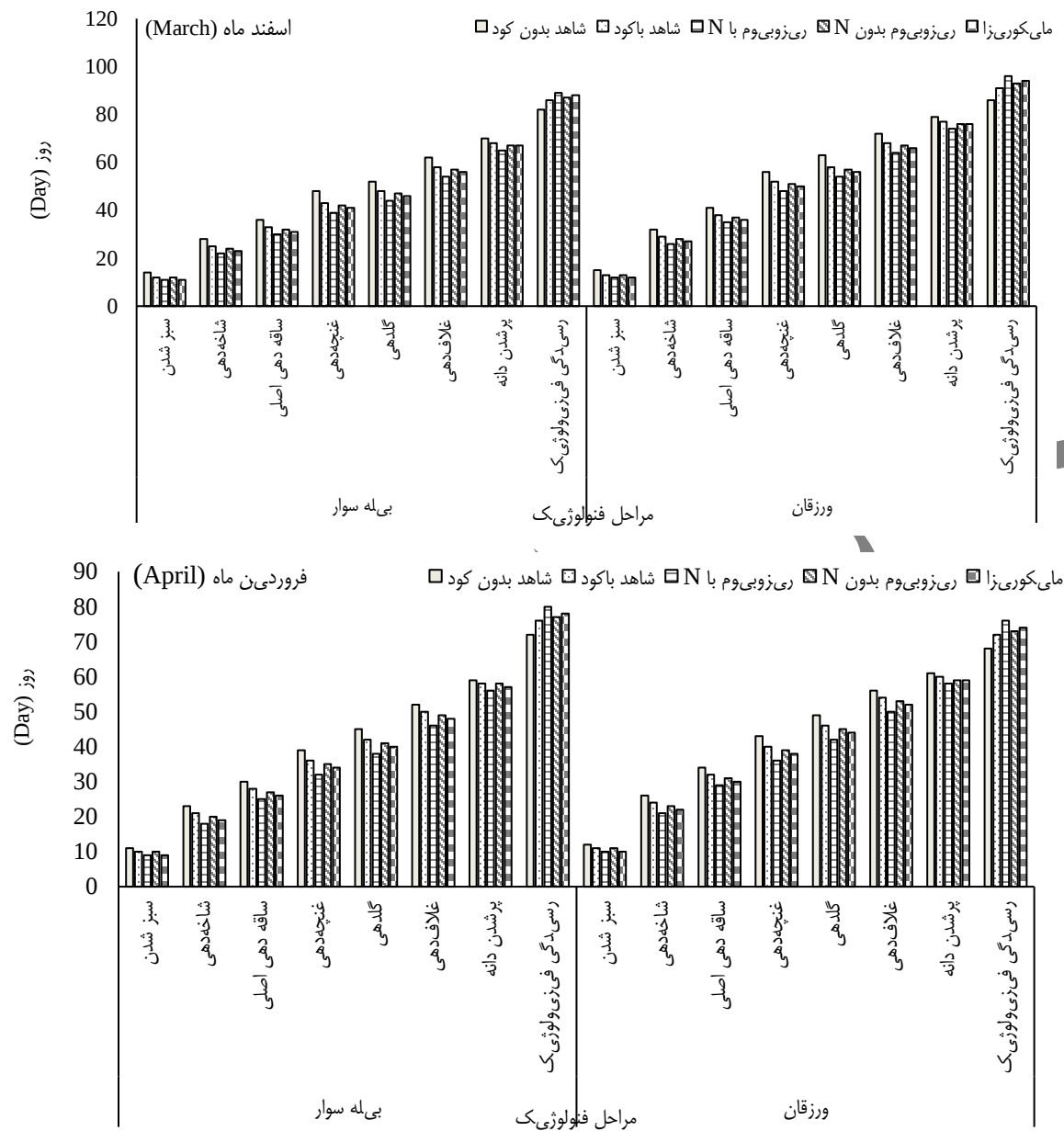
فتوسنتزی و انتقال سریع مواد پرورده از منبع به مخزن است (شکل ۱۱). در مقابل، تیمار شاهد بدون کود بیشترین زمان تا تشکیل غلاف را داشت. تأخیر در غلافدهی در این تیمار، همراه با کوتاهی دوره پر شدن دانه، باعث شد که غلافها در معرض دمای بالای خرداد ماه و تیر ماه قرار گرفته و تعداد دانه در غلاف کاهش یابد. این یافته با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر اهمیت تقارن غلافدهی با دمای معتدل برای حفظ عملکرد، همخوانی دارد (Chauhan et al., 2025).

تعداد روز تا پر شدن دانه

دوره پر شدن دانه، که فاصله‌ی کلیدی بین گل‌دهی تا رسیدگی است، در ارقام تجاری معمولاً بین ۳۰ تا ۴۵ روز متغیر است (Erskine et al., 2009). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار ریزوبیوم با نیتروژن در رقم بیل‌سوار، طولانی‌ترین دوره پر شدن دانه (۴۵ روز) را ایجاد کرد. رقم ورزقان علی‌رغم طول دوره رشد بیش‌تر، دوره پر شدن دانه کوتاه‌تری (۴۲ روز) داشت که علت اصلی پایین بودن عملکرد آن نسبت به بیل‌سوار است (شکل ۱۱). تیمارهای کودی با تأخیر در پیری برگ و فراهم کردن مواد غذایی مداوم، دوره پر شدن دانه را طولانی کردند، در حالی که در تیمار شاهد، گیاه به دلیل فقر غذایی دچار رسیدگی اجباری و زود هنگام شد که دوره پر شدن دانه را به شدت کوتاه کرد.

تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

طول دوره رشد عدس از کاشت تا رسیدگی کامل در منابع علمی بین ۹۰ تا ۱۳۰ روز ذکر شده است (Erskine et al., 2009; Toleikienė, 2025). در این آزمایش، رسیدگی در محدوده ۹۲ تا ۱۱۲ روز پس از کاشت فوسان داشت. بیش‌ترین طول دوره رشد متعلق به رقم ورزقان در کاشت اسفند بود، اما این طولانی شدن به دلیل تأخیر در مراحل اولیه بود، نه به دلیل طولانی بودن دوره پر شدن دانه. در مقابل، رقم بیل‌سوار با وجود اینکه زودتر به گل رفت، اما به دلیل تأثیر مثبت تیمارهای بیولوژیک، دیرتر به مرحله پیری رسید. بر اساس نتایج، تیمار ریزوبیوم + نیتروژن باعث شد گیاه تا حداکثر زمان ممکن به ذخیره ماده خشک در دانه ادامه دهد. این تفاوت در رسیدگی فیزیولوژیک، توجیه‌کننده برتری عملکرد در تاریخ کاشت اول نسبت به کاشت فروردین است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. مراحل فنولوژیکی گیاه عدس تحت تیمار کودی و تاریخ کاشت

Figure 11. Phenological stages of lentil plants under fertilizer treatment and sowing date

ضرایب همبستگی

نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین بسیاری از صفات مورد بررسی، روابط مثبت و معنی‌دار وجود دارد. بیشترین همبستگی‌های مثبت مربوط به صفات رنگیزه‌ای بود، به‌طوری‌که کلروفیل a با کلروفیل کل، کلروفیل b با کلروفیل کل و کلروفیل b با کاروتنوئیدها همبستگی

بسیار بالایی نشان دادند. همچنین بین صفات رویشی و اجزای عملکرد روابط مثبت و معنی‌دار مشاهده شد؛ به‌طوری‌که ارتفاع بوته و قطر ساقه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین همبستگی مثبت و قابل‌توجهی داشتند. از میان صفات عملکردی، عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد پروتئین نشان داد که بیانگر ارتباط نزدیک این دو صفت است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که بهبود صفات رویشی و اجزای عملکرد می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه و عملکرد پروتئین در عدس داشته باشد.

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین برخی صفات مورد مطالعه عدس

Table 5. Correlation coefficients among some of the studied traits in lentil

Variables	ارتفاع بوته	قطر ساقه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئیدها	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه	فسفر دانه	پروتئین دانه	عملکرد پروتئین
ارتفاع بوته	1	0.644	-0.166	-0.062	-0.126	-0.071	0.831	0.717	0.848	0.643	-0.036	0.742
قطر ساقه	0.644	1	-0.242	-0.256	-0.254	-0.203	0.710	0.888	0.740	0.439	0.429	0.814
کلروفیل a	-0.166	-0.242	1	0.911	0.985	0.886	-0.204	-0.227	-0.204	-0.239	-0.054	-0.230
کلروفیل b	-0.062	-0.256	0.911	1	0.968	0.958	-0.179	-0.255	-0.144	-0.241	-0.246	-0.235
کلروفیل کل	-0.126	-0.254	0.985	0.968	1	0.936	-0.198	-0.243	-0.183	-0.245	-0.136	-0.237
کاروتنوئیدها	-0.071	-0.203	0.886	0.958	0.936	1	-0.170	-0.197	-0.055	-0.276	-0.156	-0.128
تعداد غلاف در بوته	0.831	0.710	-0.204	-0.179	-0.198	-0.170	1	0.800	0.786	0.716	0.151	0.745
تعداد دانه در بوته	0.717	0.888	-0.227	-0.255	-0.243	-0.197	0.800	1	0.725	0.686	0.365	0.766
عملکرد دانه	0.848	0.740	-0.204	-0.144	-0.183	-0.055	0.786	0.725	1	0.420	0.152	0.939
فسفر دانه	0.643	0.439	-0.239	-0.241	-0.245	-0.276	0.716	0.686	0.420	1	-0.024	0.345
پروتئین دانه	-0.036	0.429	-0.054	-0.246	-0.136	-0.156	0.151	0.365	0.152	-0.024	1	0.474
عملکرد پروتئین	0.742	0.814	-0.230	-0.235	-0.237	-0.128	0.745	0.766	0.939	0.345	0.474	1

Values in bold are different from 0 with a significance level $\alpha=0.05$

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که رقم اصلاح‌شده بیل‌سوار نسبت به رقم محلی ورزقان تحت تیمارهای ریزوبیوم + نیتروژن در تمامی صفات مورد بررسی عملکرد بالاتر و بهتری از خود نشان داده است. با توجه به افزایش روز افرون جمعیت جهان و نیاز به غذای بیش‌تر و با کیفیت تر در اقشار جامعه، توصیه می‌شود از این رقم برای تولید با عملکرد و کیفیت بالاتر استفاده شود. زیرا که این ویژگی‌های مطلوب سبب صرف انرژی کم‌تر توسط تولید کنندگان، بازدهی بالاتر، رضایت بیش‌تر مصرف کنندگان و در نتیجه تولید محصول با کیفیت‌تر می‌شود. ارقام عدس در تاریخ کاشت اسفندماه به دلیل مواجه نشدن مراحل رشدی با دماهای بالای اواخر فصل، به‌ویژه در زمان‌های حساسی مانند گل‌دهی و غلاف‌دهی، از طول

دوره‌ی رشد بلندتری در منطقه شهرکرد برخوردار شدند و در نتیجه عملکرد بالاتری از صفات مورد بررسی نسبت به تاریخ فروردین ماه داشتند. نتایج نشان داد تاریخ کاشت عامل اصلی تنظیم فنولوژی بود؛ تاریخ کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن، شاخه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی شد اما به دلیل فشرده شدن دوره پر شدن دانه، پتانسیل عملکرد کاهش یافت، در حالی که کاشت ۲۵ اسفند چرخه رشد متعادل‌تری ایجاد کرد. رقم بیله‌سوار در اکثر مراحل (سبز شدن تا گل‌دهی) زودرس‌تر از ورزقان بود و با طولانی‌تر بودن نسبی دوره پر شدن دانه، عملکرد بهتری نشان داد، در حالی که ورزقان با تأخیر در گل‌دهی و کوتاه‌تر بودن دوره پر شدن دانه، ضعیف‌تر ظاهر شد. از نظر تغذیه‌ای، تیمار ریزوبیوم همراه نیتروژن موجب تسریع مراحل رویشی، تنظیم بهتر ورود به فاز زایشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه شد و بهترین پاسخ فنولوژیک و عملکردی را ایجاد کرد. در مقابل، تیمار شاهد بدون کود بیش‌ترین تأخیر در مراحل اولیه و کوتاه‌ترین دوره مؤثر پر شدن دانه را داشت و در مجموع ضعیف‌ترین وضعیت فنولوژیک و عملکردی را نشان داد. در این پژوهش نقش قارچ میکوریزا در بالابردن درصد نیتروژن اندام هوایی و دانه عدس مثبت ارزیابی شد. میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و برخی عناصر مانند فسفر و افزایش سطح جذب آب سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه میزبان در سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌شود. بنابراین می‌توان اظهار داشت کاربرد قارچ میکوریزا از طریق بهبودی که در مقدار جذب عناصر غذایی از طریق توسعه ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک و نیز افزایشی که به دنبال آن بر روی رشد، نمو و بیوماس گیاه عدس ایجاد می‌کند سبب بهبود عملکرد این گیاه شده است. در مجموع به دلیل افزایش اکثر صفات رشدی و عملکردی گیاه عدس تحت تأثیر کود ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در تاریخ کاشت اسفند ماه و رقم بیله‌سوار، توصیه می‌شود جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، از ترکیب کود ریزوبیوم + نیتروژن به همراه رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفندماه استفاده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه شهرکرد، همچنین مرکز تحقیقات خاک و آب کشور برای تامین کودهای زیستی و سازمان جهاد کشاورزی اردبیل برای تامین بذر ارقام گیاه عدس، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

1. Adediran, J.A., Taiwo, L.B., Akande, M.O. Sobulo, R.A., and Idowu, O.J. (2004). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yield. *Nigerian Journal of Plant Nutrition*, 27: 1163-1181.
2. Akhtar, M. S., and Siddiqui, Z. A. (2008). Glomus intraradices, Pseudomonas alcaligenes and Bacillus pumilus as effective biocontrol agents for the root-rot disease complex of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of General Plant Pathology*, 74: 53-60.
3. Albayrak, S., Sevimey, C. S., and Tongel, O. (2006). Effect of inoculation with rhizobium on seed yield and yield components of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Turkish Journal of Agricultural Forestry*, 30: 31-37.
4. Amany, A. B. (2007). Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 3(4), 220-223.

5. Bigonah Mikal, A. (2015). Effect of organic biological and chemical fertilizers on growth characteristics and quantitative and qualitative of lentil (*Lens culinaris Medik*). MSc. Thesis. University of Lorestan. Iran. (In Persian with English Abstract).
6. Chauhan, Y. S., Lake, L., Williams, R., Palta, J., & Sadras, V. O. (2025). Accounting for soil water improves prediction of lentil phenology for improved frost and heat stress management. *European Journal of Agronomy*, 164, 127486. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127486>
7. Erskine, W., Muehlbauer, F. J., Sarker, A., & Sharma, B. (2009). The lentil: Botany, production and uses. CABI.
8. Estrada-Luna, A. A., and Davies, F. T. (2003). Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and postacclimatization. *Journal of Plant. Physiology*, 160(9), 1073-1083.
9. Etesami, H., & Adl, S. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and their role in sustainable agriculture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(1), 1-32.
10. Fioreze, S. L., Castoldi, G., Augusto Pivetta, L., Gustavo Pivetta, L., Maximino Fernandes, D., and Theodoro Büll, L. (2012). Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. *Maringá*, 34, 331-338..
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2021). *FAOSTAT*. Retrieved from. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
12. Khaliq, A., Abbasi, M. K., and Hussain, T. (2006). Effect of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology Journal*, 97, 967-972.
13. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2015). Effects of stabilizer water deficit (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of triticale under water withholding. *Plant Ecophysiology*, 9(28), 37-51. (In Persian).
14. Kumar Tiwari, A., Prakash, V., Ahmad, & Singh, R.P. (2018). Effect of biofertilizers and micronutrients on nutrient uptake, growth, yield and yield attributes of lentil (*Lens culinaris L.*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 3269-3275.
15. Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., An, H., Decker, E.A., 30. Manjitinder, S.D., C. S. Kahlon and K, Kaur, 2007. Effect of phosphate solubilizing bacteria farmyard manure, and phosphorus on growth and yield of lentil (*Lens culinaris Medik.*). Department of Agronomy, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar.
16. Lopez-Bellido L. (1998). Role of grain legumes in 93 Mediterranean agricultural systems. European conference on grain legumes. Valladolid Spain. pp. 127-131.
17. Mazlomi-e- Meymandi, M., Pirzad, A.R and Jalilian, J. (2019). effect of mycorrhizal coexistence and complementary irrigation on the yield and grain elements and plant residues of chickpea (*Cicer arietinum*). *Iranian Journal of Pulses Research*, (1)10, 75-90.
18. Mohammadzadeh Algho, M., Janmohammadi, M and Sabaghnia, N. (2018). The effect of planting date and management of chemical and nano-micro-nutrients on chickpea yield. *Journal Crop Production*, 4(11), 55-70. <http://ejcp.gau.ac.ir> DOI: 10.22069/ejcp.2019.15025.2127

19. Nori, M.J., Mozafari, A and Mirzaie Heydari, M. (2015). Evaluation of yield and components of lentil seed under the influence of biofertilizer levels of nitrogen and complementary irrigation in Kermanshah province. *Agronomy and Plant Breeding*. (1)12, 1-14.
20. Peterso, R. L., and Massicotte, H. B. (2004). Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*, 82 (8): 1074-1088.
21. Pirouti, M. (2018). The effect of bio, organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of lentil under rainfed condition. MSc. Thesis. University of Urmia. Iran. (In Persian with English Abstract).
22. Praharaj, s., and Maitra, S. (2020). Important of Legumes in Agricultural Production System: an Overview. *AgroEconomist*, 7(2): 69–71. DOI 10.1186/s40538-016-0085-1
23. Rezaei-e-Chianeh, A., Tajbakhsh, M., Ghiasi, M and Amirnia., V. (2015). Investigation of the effect of organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea plant. *Jornal of Research Crop Sciences*, 4 (1), 55-69.
24. Roy, R. N., Finck, A., Blair, G .J., and Tandon, H .L. (2006). Plant Nutrition for Food Security. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Food and Agricultural Organization*, Rome, p. 16-348.
25. Rufaioğlu, S. B., and Tunç, M. (2025). Sensor-based assessment of fertilizer strategies in soybean: Linking SPAD, NDVI, plant height, and thermal imaging with biomass accumulation. *BMC Plant Biology*, 25, Article 1626. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07628>
26. Sabaghpour, S. H., Shahbazi, H & Rezakhanlou, R. (2017). The effect of using biological and chemical nitrogen fertilizers on yield and yield components in lentil cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(1), 40-51. (In Persian with English Abstract).
27. Saket, S., Singh, S .B., Namdeo, K.N., Parihar, S .S. (2014). Effect of organic and inorganic fertilizers on yield, quality and nutrients uptake of lentil. *Annals of Plant and Soil Research*, 16(3), 238-241.
28. Salvagiotti F. Castellarin J.M. Miralles D.J. and Pedrol H.M. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop Research* 113: 170-177.
29. Seyed Sharifi, R., and Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of Starter Nitrogen, Methanol and Bio Fertilizers Application on Yield, Nodulation and Grain Filling Period of Rainfed Lentil. *Journal of Crops Improvement*, 22(3), 445-460. (In Persian with English Abstract).
30. Toleikiene, M., Arlauskienė, A., Sarunaite, L., Kadziulienė, Z., Deveikyte, I., & Supragonas, A. (2025). Adaptation of lentil to Northern European agro-climatic conditions: effect of sowing time and sowing rate on lentil development, productivity and weed suppression. *BMC Plant Biology*, 25(1), 931. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06961-5>
31. Yadav, A. N., Kour, S., & Kaur, T. (2025). Biofertilizers: A sustainable tool for soil health and crop productivity. *Sustainable Agriculture Reviews*, 62(1), 115-148.
32. Wright, D .P., Scholes, J .D., and Read, D .J. (1998). Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of (*trifolium repense* L.). *Plant, Cell and Environment*, 209-216. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00280.x>

33. Zabihi-e-Mahmoodabad, R., and Hassanzadeh, M. (2017). Effects of nitrogen and potassium levels on some quantitative and qualitative traits and agronomical fertilizer use efficiency in lentil cultivation. *Journal of Plant Ecophysiology*, (38)11. (In Persian with English Abstract).
34. Zeidan, M. S. (2007). Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 748–752.

پایان کار