



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135>

Effect of Planting Date, and Mycorrhiza and Rhizobium Biofertilizers on some Agromorphological, Physiological and Seed Protein of Two Lentil (*Lenses culinaris* L.) Cultivars

Zahra Ahmadi¹, Mahmoud Reza Tadayon^{1*}, Mohammad Rafieiolhossaini¹, Marzieh Hassani¹

Received: 02 May 2026
Revised: 05 June 2026
Accepted: 08 June 2026
Available Online: 08 June 2026

Cite this article:

Ahmadi, Z., Tadayon, M. R., Rafieiolhossaini, M., & Hassani, M. (2026). Effect of planting date, and mycorrhiza and rhizobium biofertilizers on some agromorphological, physiological and seed protein of two lentil (*Lenses culinaris* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 97-118. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98538.1134>

Introduction

Lentil (*Lenses culinaris* L.) is 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. In recent years, biofertilizers have received increasing attention as a sustainable alternative to chemical fertilizers, particularly due to the environmental and soil-related problems associated with the excessive use of synthetic inputs. Biofertilizers can improve various soil properties while providing economic, environmental, and social benefits. Consequently, they play an important role in emerging agricultural approaches, including sustainable, organic, and biological farming systems. Biofertilizers encompass a range of biologically derived materials and processes that contribute to soil fertility and plant nutrition. In addition to organic matter derived from animal manure and plant residues, they include beneficial microorganisms involved in processes such as biological nitrogen fixation and the mobilization or increased availability of phosphorus and other essential nutrients in the soil. Through these mechanisms, biofertilizers can enhance nutrient availability, support soil health, and reduce dependence on chemical fertilizers. 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 growth and yield traits in both lentil cultivars. This treatment increased plant height, stem diameter, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, number of pods per plant, number of seeds per plant, grain yield, and grain protein content. However, no significant effect was observed on protein yield. Lentils were inoculated with the bacterium *Rhizobium leguminosarium*,

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

* Corresponding Author: tadayyon-m@sku.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

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 integrated application of biofertilizers and chemical fertilizers was more effective than the separate application of either type of fertilizer. The excessive use of chemical fertilizers alone has contributed to the deterioration of sustainable and organic agricultural systems in many regions of the world in recent decades. Government policies aimed at achieving high crop yields and increasing farmers' incomes are among the major factors contributing to the excessive use of chemical fertilizers and the subsequent degradation of soil and the environment. The cultivation of crops such as lentil, which can serve as a cover crop and fix atmospheric nitrogen while contributing to carbon sequestration, can substantially reduce the adverse effects associated with excessive fertilizer use and help address the challenges of cultivation in degraded agricultural soils. In addition, selecting an appropriate, high-quality cultivar and determining the optimal planting date are essential for achieving high crop yields, as inappropriate cultivar selection or planting time can impose substantial costs on farmers and significantly 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: Grain yield, Legumes, Nutrient uptake, Photosynthetic pigments, Plant height



اثر تاریخ کاشت، کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر برخی صفات آگرومورفولوژیک، فیزیولوژیکی و پروتئین دانه دو رقم عدس (*Lenses culinaris* L.)

زهرا احمدی^۱، محمودرضا تدین^{۱*}، محمد رفیعی‌الحسینی^{۱b}، مرضیه حسینی^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸

چکیده

با توجه به اهمیت تاریخ کاشت مناسب برای استفاده بهینه از فصل رشد و همچنین تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه عدس (*Lenses culinaris* L.)، آزمایشی به‌صورت 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 اسفند ماه سال ۱۴۰۳ و ۲۵ فروردین ماه سال ۱۴۰۴)، عامل فرعی فاکتوریل دو رقم عدس (ورزقان و بیل‌سوار) 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 اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود در صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، فسفر دانه و درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. صفات قطر ساقه و عملکرد پروتئین دانه از نظر آماری معنی‌دار نبودند. نتایج نشان داد که کاربرد کود ریزوبیوم + نیتروژن تأثیر افزایشی بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه داشت. همچنین مشخص شد که کود زیستی مایکوریزا تأثیر افزایشی بر صفت فسفر دانه داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که رقم بیل‌سوار در تاریخ کاشت اسفندماه برای تمامی صفات نام‌برده از عملکرد بهتری برخوردار بود. بنابراین برای حصول بیش‌ترین عملکرد دانه در عدس، کاشت رقم بیل‌سوار در تاریخ کاشت اسفند ماه علاوه‌بر استفاده از کودهای زیستی به‌خصوص کود ریزوبیوم همراه با کاربرد نیتروژن توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، جذب عناصر، حبوبات، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه

مقدمه

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 مؤثر 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، به‌گونه‌ای 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 بوم‌نظام‌های طبیعی هستند، تأمین شود (Kumar et al., 2018). کودهای زیستی شامل فرآورده‌های حاوی جمعیت‌های متراکم

از زمان‌های گذشته، حبوبات پس از غلات به‌عنوان دومین منبع مهم غذایی در دنیا مطرح بوده‌اند. دانه حبوبات با برخورداری از ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین، مکمل کیفی دانه غلات محسوب می‌شوند. علاوه‌بر این، هم‌زیستی بسیاری از گیاهان این خانواده با باکتری‌های مختلفی از جنس ریزوبیوم سبب تثبیت نیتروژن مولکولی هوا و در پی آن تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه و حاصلخیزی خاک می‌شود. همچنین قرارداد حبوبات در تناوب به پایداری نظام‌های زراعی کمک می‌کند. عدس از جمله حبوبات یک‌ساله با نام علمی *Lenses culinaris* L. در تیره نیام‌داران 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 تولیدکنندگان عدس در جهان هستند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱،

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(*- نویسنده مسئول: tadayyon-m@sku.ac.ir)

از ریزجاندارن 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 به‌عنوان 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. میکوریزها نیز از مهم‌ترین کودهای زیستی هستند که هم‌زیستی ریشه گیاهان با آن می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب توسعه سیستم ریشه‌ای، افزایش سرعت و طول دوره پُرشدن دانه و محتوای کلروفیل برگ‌ها شود (Kheirizadeh Arough et al., 2015). رابطه هم‌زیستی قارچ‌های میکوریزا 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 & Adl, 2024). از جمله 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 فسفوری 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 شیمیایی است. در مناطقی که حاصلخیزی خاک پایین است، استفاده از کود شیمیایی اجتناب‌ناپذیر است از این‌رو، کودهای شیمیایی باید به‌گونه‌ای مصرف شوند که ضمن تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی، آلودگی حاصل از آبهویی را به دنبال نداشته باشد (Adediran et al., 2004). طبق بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شده است که نقش اساسی قارچ‌های میکوریزا، تأمین فسفر برای گیاه است. فسفر در خاک، عنصری فوق‌العاده کم‌تحرک است، به‌طوری که حتی اگر فسفر به‌شکل محلول به خاک اضافه شود، به‌سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرپویا در می‌آید. لذا قارچ‌های 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 & Massicote, 2004). نتایج بررسی تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقویت کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک عدس نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقویت 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 داد که نشان‌دهنده نقش آن‌ها در بیوسنتز کلروفیل و تنظیم فتوسنتز است (Rufaioglu & Tunç, 2025). در پژوهشی مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه عدس (۱۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد مقادیر بالایی از نیتروژن متانول و کاربرد توأم میکوریزا با ریزوبیوم به دست آمد که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی) از افزایش ۱۰۳ درصدی برخوردار بود (Seyed Sharifi & 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 تأمین 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 (اسفند ماه) 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 به‌صورت اسپلینت 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*)؛ و 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 به‌ترتیب ۱۵ و ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از تداخل تیمارها، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر تعیین گردید. کاشت بذر به‌صورت 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 Texture	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن (درصد) N(%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	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

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

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

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

اندازه‌گیری ارتفاع بوته عدس به‌وسیله خط‌کش و قطر ساقه توسط کولیس در زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گردید. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) از روش لیچنتالر و باشمن (معادله‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) استفاده شد و در تمام کرت‌های آزمایشی از برگ‌های بالایی و جوان هر بوته در زمان گل‌دهی نمونه‌برداری انجام گردید (Lichtenthaler & Bachman, 2001). صفات تعداد غلاف در بوته و دانه در بوته به‌صورت جداسازی پنج بوته تصادفی از هر کرت انتخاب شدند و پس از شمارش آن‌ها، میانگین‌گیری صورت گرفت. در مرحله رسیدگی، مقدار فسفر دانه به‌روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبیدات وانات) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر و در آزمایشگاه فیزیولوژی گروه زراعت دانشگاه شهرکرد اندازه‌گیری شد (Salvagiotti, 2009). با محاسبه وزن دانه در سطح برداشت‌شده در هر کرت، عملکرد دانه محاسبه گردید. درصد نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری و با استفاده از ضریب تبدیل مربوطه ($N \times 6/25$) درصد پروتئین دانه محاسبه شد (Khaliq et al., 2006). از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه برای هر تیمار، عملکرد پروتئین در آن تیمار به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

عدس رقم بیل‌سوار 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 اصلاح‌شده، دانه درشت، متحمل به خشکی و مقاوم به بیماری پوسیدگی فوزاریومی است. رقم بیل‌سوار 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. این رقم 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 در نهایت عملیات برداشت بوته‌ها با زرد شدن 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، کاروتنوئیدها، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، فسفر دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین اندازه‌گیری شدند.

معادله (۱)

Chlorophyll a (mg.ml⁻¹) = 12.25 × A_{663.2} - 2.79 × A_{646.8}Chlorophyll b (mg.ml⁻¹) = 21.50 × A_{646.8} - 5.1 × A_{663.2}Chlorophyll a + b (mg.ml⁻¹) = Chlorophyll a + Chlorophyll bCarotenoids (mg.ml⁻¹) = ((1000(A₄₇₀) - 1.82(Chl.a) - 85.02(Chl.b)) / 198

جدول ۳- تجزیه واریانس برای صفات مورفوفیزیولوژیکی در دو رقم عدس (بیله‌سوار و ورزقان)

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

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئیدها Carotenoids	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant
بلوک Block	2	15.498 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.630 ^{ns}	0.111 ^{ns}	1.207 ^{ns}	0.029 ^{ns}	23.750 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (P)	1	1479.073**	1.640*	7.249*	5.580*	25.549**	2.400*	3681.666**
خطای اصلی Main error	2	1.774	0.073	0.278	0.338	0.240	0.111	39.316
رقم Cultivar (C)	1	212.440**	5.642**	15.985**	5.881**	41.259**	2.452**	256.266**
کود Fertilizer (F)	4	70.875**	2.029**	8.511**	2.003**	18.630**	0.513**	830.775**
تاریخ کاشت × رقم P × C	1	12.421 ^{ns}	0.094 ^{ns}	7.767**	5.629**	26.612**	2.434**	897.066**
تاریخ کاشت × کود P × F	4	14.936 ^{ns}	0.110*	0.462 ^{ns}	0.172**	1.023**	0.011**	108.625*
رقم × کود C × F	4	2.360 ^{ns}	0.400**	0.442 ^{ns}	0.097**	0.892**	0.024**	84.641 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم × کود P × C × F	4	29.212*	0.015 ^{ns}	0.626**	0.186**	1.491**	0.017**	120.525*
خطای فرعی Sub-plot Error	36	10.186	0.036	0.102	0.013	0.099	0.004	42.200
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.16	2.29	9.85	10.52	7.27	4.86	11.66

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

* and **: indicate significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively; ns: not significant

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

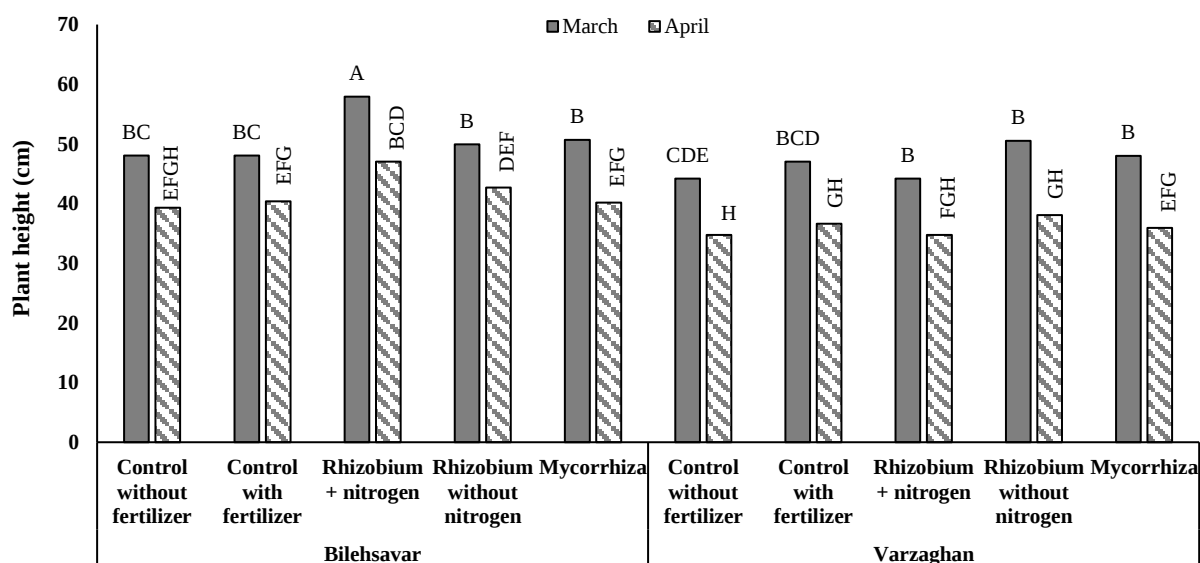
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار تاریخ کاشت، کود و رقم در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته گیاه عدس معنی‌دار بود. اما اثر برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت عدم معنی‌دار نبود. علاوه بر این اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر صفت

ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه (۵۷/۹ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته از شاهد بدون کود در رقم ورزقان در تاریخ کاشت فروردین ماه (۳۴/۷ سانتی‌متر) به دست آمد (شکل ۱). تأخیر در کاشت از ۲۵ اسفند به ۲۵ فروردین با کاهش محسوس ارتفاع بوته همراه بود. این امر را

هرچه ارتفاع بوته بیش تر باشد، کودپذیری گیاه و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی گیاه نیز بیش تر خواهد بود. ارتفاع بوته شاخص مهمی در تعیین ماده خشک تولیدی گیاه محسوب می شود (Bigonah Mikal, 2015). زیدان (Zeidan, 2007) نشان داد که کودهای آلی باعث افزایش ارتفاع بوته شدند. همچنین در پژوهش پیروتی (Pirouti, 2018) مشخص شد که بوته گروه عدس ماکروسپرما (بیله سوار) بلندتر از گروه میکروسپرما (لاین IL590) بود و کلیه تیمارهای کودی ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج این پژوهشگر نشان داد که بیش ترین ارتفاع بوته عدس (۲۲/۰۴ سانتی متر) در اثر کاربرد تیمار تلفیقی کود زیستی + ورمی کمپوست به دست آمد و کم ترین ارتفاع بوته (۱۷/۶۶ سانتی متر) مربوط به شاهد (عدم استفاده از کود) بود. نتایج مشاهده شده در این پژوهش با گزارش های ارلئه شده مطابقت دارد.

می توان 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 سانتی گراد) و رطوبت نسبی بالا (۴۳-۵۰ درصد) مواجه بود و مهم تر از آن، از حجم بارندگی قابل توجهی (۳۵/۸ میلی متر در اسفند و ۷۴/۴ میلی متر در فروردین) بهره مند شد. این شرایط، دوره رشد رویشی گیاه را طولانی تر کرده و امکان استقرار قوی تر ریشه و توسعه ساختار رویشی را فراهم آورد. در مقابل، تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، با شروع فصل گرم تر (حداقل دما از ۵/۱ درجه سانتی گراد در اردیبهشت تا ۱۵/۴ درجه سانتی گراد در تیر) و مهم تر از آن، قطع کامل بارندگی از اواسط فروردین به بعد، گیاه را در معرض تنش خشکی و گرمایی قرار داد (جدول ۲). این تنش ها باعث تسریع ورود گیاه به دوره زایشی و توقف رشد طولی ساقه شد، که نتیجه آن کاهش معنی دار ارتفاع بوته بود. یکی از شاخص های مهم در تعیین عملکرد به ویژه ماده خشک گیاهان زراعی، ارتفاع بوته است، یعنی



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر ارتفاع بوته در گیاه عدس
Figure 1- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on plant height in lentil
ستون هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

سه گانه تاریخ کاشت × رقم × کود تأثیر معنی داری بر این صفت نشان نداد (جدول ۳). بیش ترین میزان قطر ساقه در تیمار کودی ریزوبیوم + نیتروژن در تاریخ کاشت اسفند ماه (۳/۵۱ میلی متر) (شکل ۲- الف) و در همین تیمار در رقم بیله سوار (۳/۸۶ میلی متر) مشاهده شد (شکل ۲- ب) و کم ترین تأثیر را شاهد بدون کود در رقم ورزقان و تاریخ کاشت فروردین ماه نشان داد (شکل ۲ الف و ب). شهسواری و همکاران (Shahsavani et al., 2017) بیان داشتند که کاربرد کود آلی و

قطر ساقه

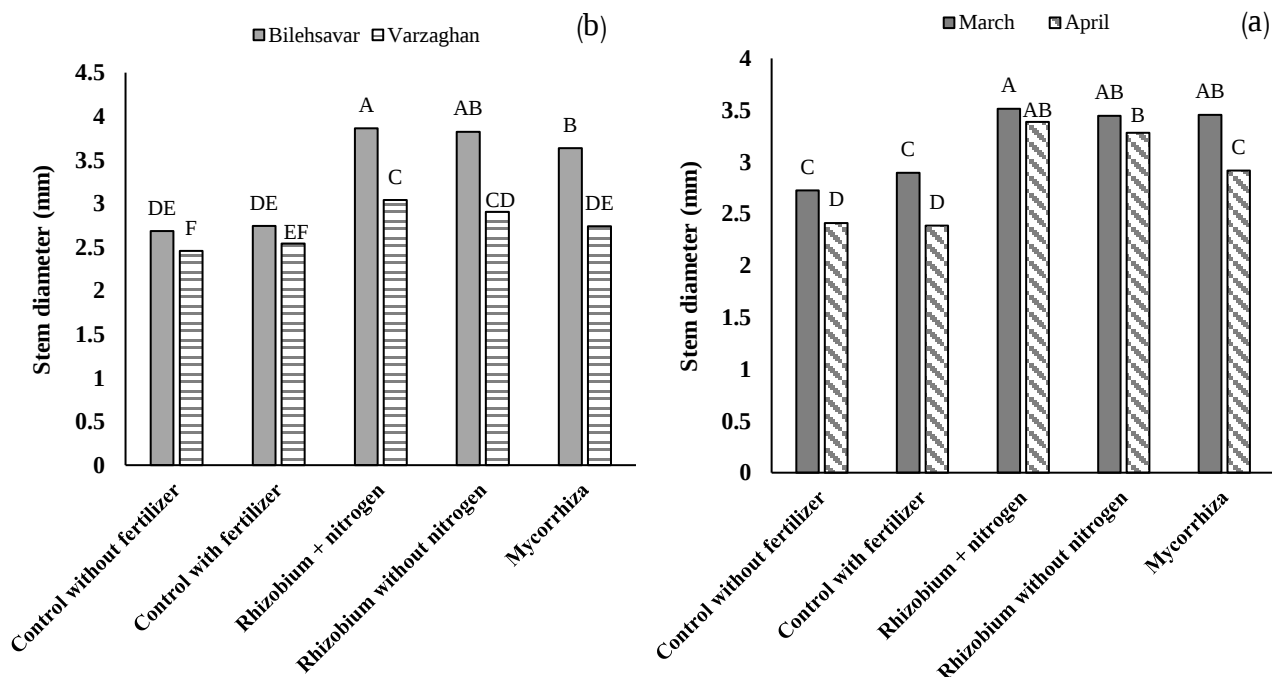
نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و همچنین تیمارهای رقم و کودی در سطح احتمال یک درصد بر صفت قطر ساقه معنی دار شد. اثر برهم کنش دو گانه تاریخ کاشت × رقم بر این صفت معنی دار نبود، اما تاریخ کاشت × کود در سطح احتمال پنج درصد و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد اثر معنی داری بر این صفت گذاشت. علاوه بر این برهم کنش اثر

زیستی روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، بادمجان (*Solanum melongena*) و لفل (*Caspicum SP*) بر قطر ساقه گیاه معنی‌دار بود که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های این پژوهشگران مطابقت داشت. کاربرد کودهای زیستی با ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد و تولید هورمون‌های رشدی و افزایش پویایی و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه‌ها شده‌اند که به‌نوبه خود سبب گسترش شاخساره و افزایش سطح فتوسنتزکننده و همچنین رشد بیشتر اندام‌های هوایی گیاه از جمله افزایش قطر ساقه در این آزمایش شدند.

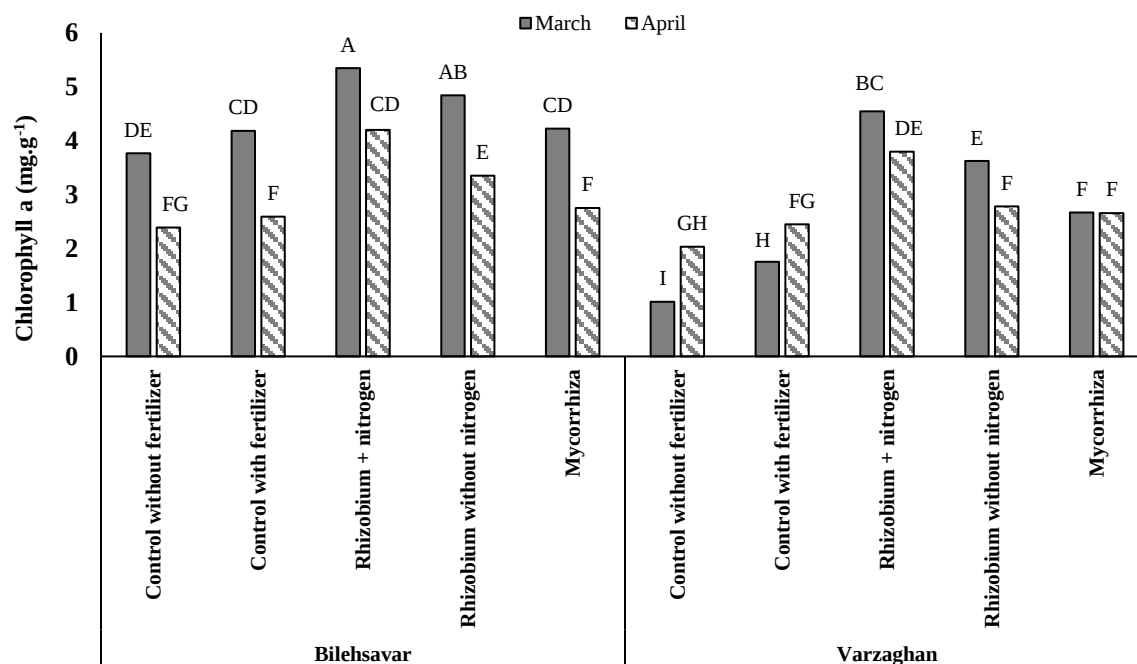
کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، اثر تیمارهای کودی و رقم، و همچنین اثرات دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر میزان

کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۵/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان از شاهد بدون کود (۱/۰۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) در اسفند ماه و رقم ورزقان حاصل شد (شکل ۳). در پژوهش سید شریفی و سید شریفی (Seyed Sharifi & Sharifi, 2020) روی گیاه عدس نشان داده شد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها به‌ترتیب به‌میزان 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 به‌ترتیب با ۱/۲۷، ۲/۳۲ و ۰/۷۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در حالت عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی به دست آمد. نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × کود (الف) و تاریخ کاشت × رقم (ب) بر قطر ساقه در گیاه عدس
Figure 2- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × fertilizer (a) and date × cultivar (b) on stem diameter in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل a در گیاه عدس
Figure 3- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on chlorophyll a in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

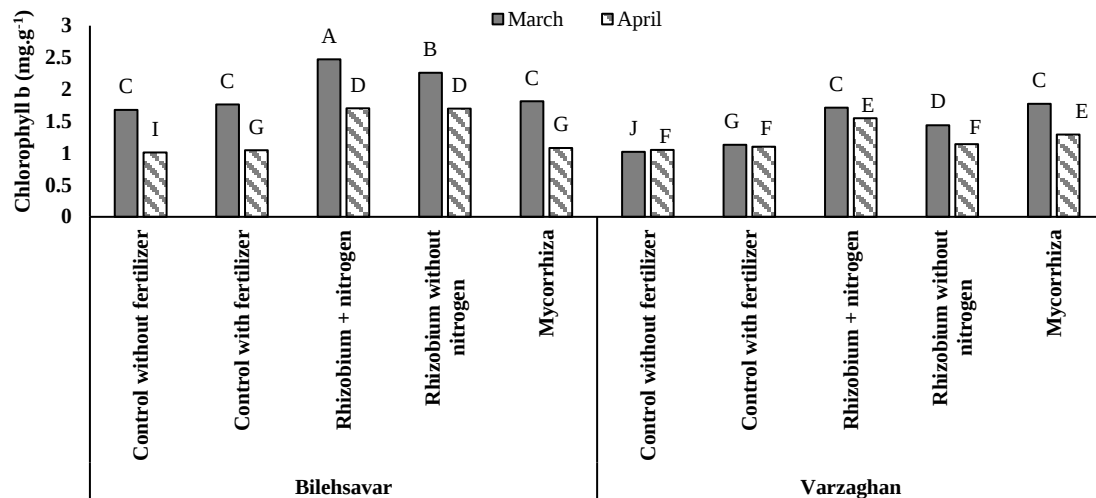
کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و اثر تیمار کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار شد. همچنین اثر برهم کنش دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۲/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۱/۰۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از شاهد بدون کود در رقم ورزقان و فروردین ماه به دست آمد (شکل ۴). پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Sayed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020) در بررسی تأثیر کودهای زیستی، نیتروژن استاتر و متانول در گیاه عدس نشان داد که بیش‌ترین محتوای این نوع کلروفیل از مصرف مقادیر بالای نیتروژن و متانول و کاربرد توأم مایکوریزا با ریزوبیوم و کم‌ترین این مقدار از تیمار عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی به دست آمد.

کلروفیل کل

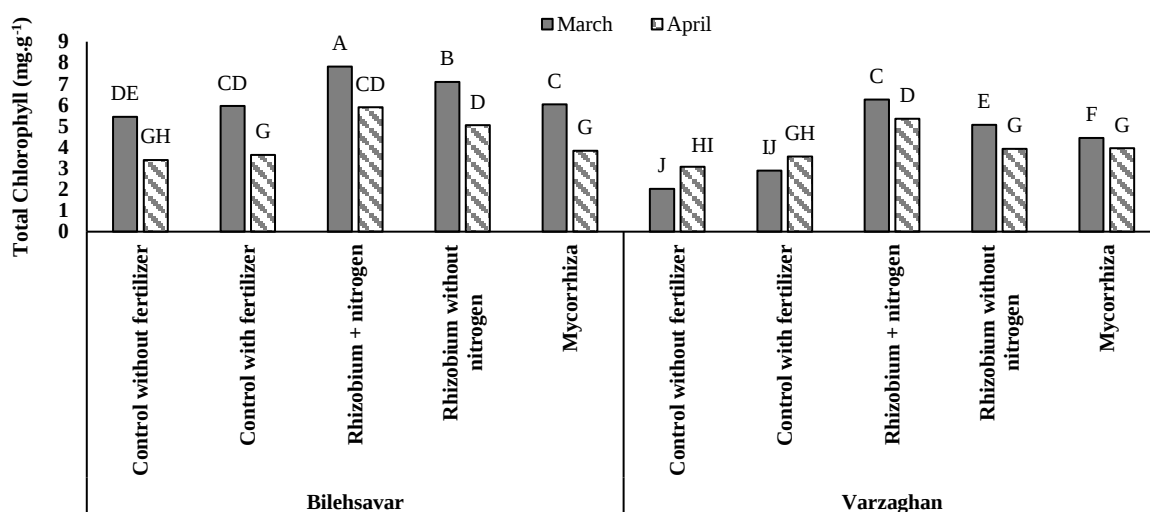
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کشت، تیمار کودی و رقم و همچنین اثر برهم کنش دوگانه و سه‌گانه تیمارها بر کلروفیل

کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۷/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه به دست آمد و کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد بدون کود در رقم ورزقان و اسفند ماه مشاهده شد (شکل ۵). در پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Sayed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020)، مقایسه میانگین اثر متانول در نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل (۷۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، در اثر کاربرد مقادیر بالای متانول و نیتروژن به دست آمد که حاکی از افزایش ۸/۴۷ درصدی محتوای کلروفیل کل در اثر کاربرد مقادیر بالای متانول و نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد این عوامل می‌باشد. همچنین در پژوهش حسنی و همکاران (Hassani et al., 2023) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار کودی در گیاه لوبیا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) 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 مقدار ۷۰/۶، ۷۰/۱ و ۶۶/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نسبت به شاهد نشان دادند.



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

Figure 4- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Chlorophyll b in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل کل در گیاه عدس

Figure 5- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on total chlorophyll in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کاروتنوئیدها

به دست آمد (شکل ۶). محتوای کاروتنوئیدها نیز با مقادیر نیتروژن ارتباط مستقیم دارد، از این رو کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش دسترسی گیاه به این عنصر موجب افزایش محتوای کاروتنوئیدها شد. بخشی از بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر 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 شکل آمونیومی) را جذب و به گیاه میزبان انتقال دهد

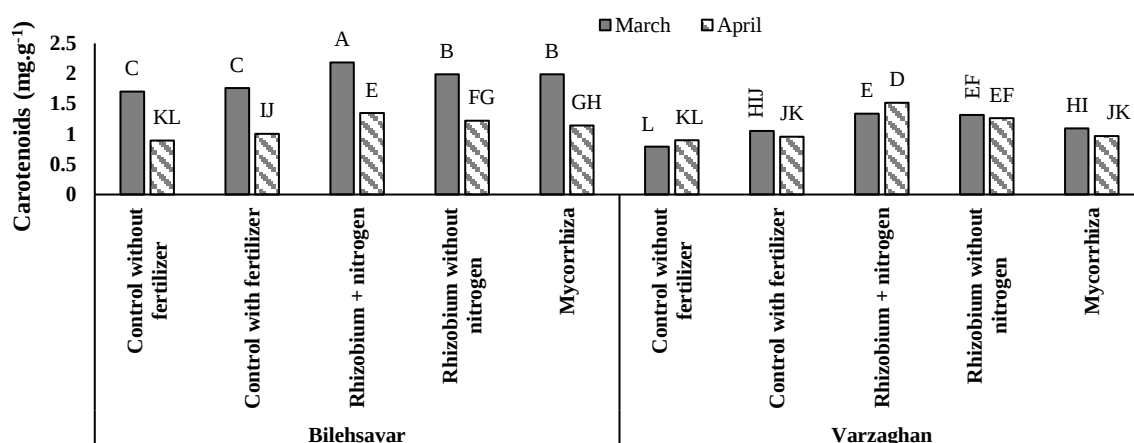
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و اثر تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کاروتنوئیدها معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کاروتنوئیدها (۲/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از شاهد بدون کود رقم ورزقان در اسفند ماه

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 به دست آمد (شکل ۷). نوری و همکاران (Nori et al., 2015) نشان دادند که در گیاه عدس، مصرف ۳۳ درصد کود آغازگر نیتروژنه و مصرف کود زیستی به‌ترتیب سبب تولید بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته (به‌ترتیب ۶/۱۵ و ۳۳/۱۴) شدند. رضائی چپانه و همکاران (Rezaei Chianneh et al., 2015) گزارش کردند که در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) تحت شرایط دیم، بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته از تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی + کود دامی به دست آمد. نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

(Kheirizadeh Arough et al., 2015). نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

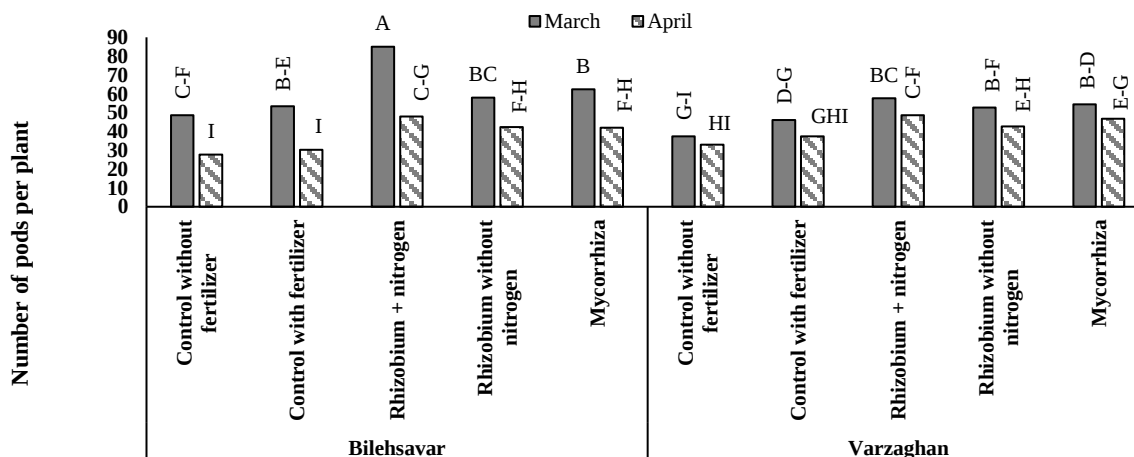
تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که 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 بر این صفت معنی‌دار نبود. همچنین اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود، و برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان تعداد غلاف در بوته (۸۵ عدد) از تیمار ترکیبی



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

Figure 6- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on carotenoids in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



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

Figure 7- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of pods per plant in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
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 (بیله‌سوار 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 C × F	4	177.808 ^{**}	121969.167 ^{ns}	39.869 ^{ns}	5.009 ^{ns}	405659102.535 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم × کود P × C × F	4	113.641 [*]	234019.167 ^{**}	68.331 [*]	7.663 [*]	215813787.078 ^{ns}
خطای فرعی Sub-plot error	36	38.385	62611.85	25.809	2.748	313896424.495
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.69	11.49	11.65	6.60	15.7

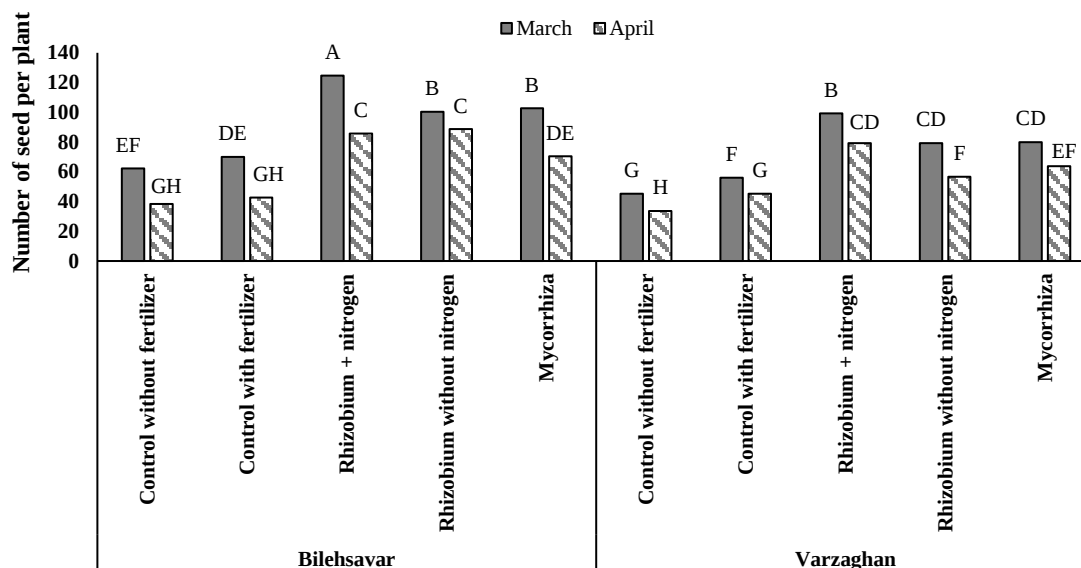
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* 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 که اثرات اصلی، و همچنین اثرات دوگانه تاریخ کاشت × رقم و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد دانه در بوته معنی‌دار شد، اما اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد. همچنین اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در بوته از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه (به مقدار ۱۲۴/۷) و کم‌ترین تعداد دانه در بوته از شاهد بدون کود در رقم ورزقان و در فروردین ماه (به مقدار ۳۳/۶۷) به دست آمد (شکل ۸). در پژوهش پیروتی (Pirouti, 2018)، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته عدس ماکروسپرما (بیله‌سوار) حدود سه برابر تعداد دانه در بوته در گونه میکروسپرما بود. با اینکه تیمارهای کودی در هر دو عدس ماکروسپرما (بیله‌سوار) و میکروسپرما تعداد دانه در هر بوته را افزایش داد، 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 صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. ولی بین کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته از تیمار کود زیستی و شاهد به دست آمد. کودهای زیستی به‌دلیل توانایی در افزایش حلالیت فسفر نامحلول خاک، در مرحله زایشی بر رشد گیاه تأثیر گذاشته و باعث افزایش دانه‌بندی می‌شوند (Estrada-Luna & Davies, 2003). به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای 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
Figure 8-Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of seed per plant in lentil

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

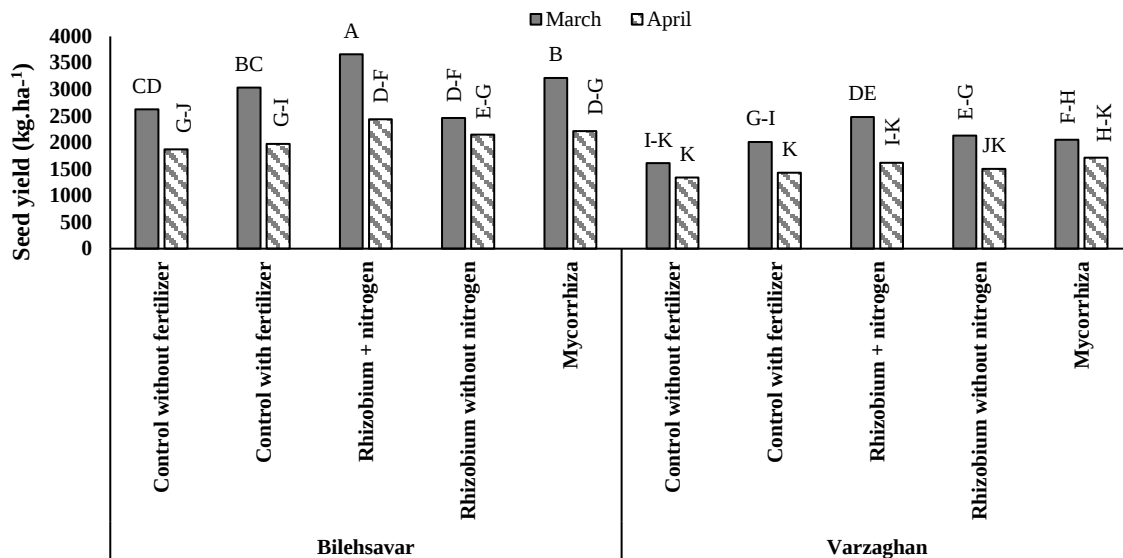
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثر دوگانه تاریخ کاشت × رقم و اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال یک درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثرات دوگانه تاریخ کاشت × کود و رقم × کود بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۶۶۰ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و تاریخ اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود و با کود در رقم ورزقان (۱۳۴۳ و ۱۴۳۰ کیلوگرم بر هکتار) در تاریخ کاشت فروردین ماه 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 که افزایش میزان نیتروژن قبل دسترس در نخود با افزایش رشد رویشی و بالابردن شاخص سطح برگ موجب تولید ماده خشک بیش‌تر و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید. رایت و همکاران (Wright et al., 1998) بیان کردند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان مایکوریزایی‌شده به قارچ‌های مایکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی

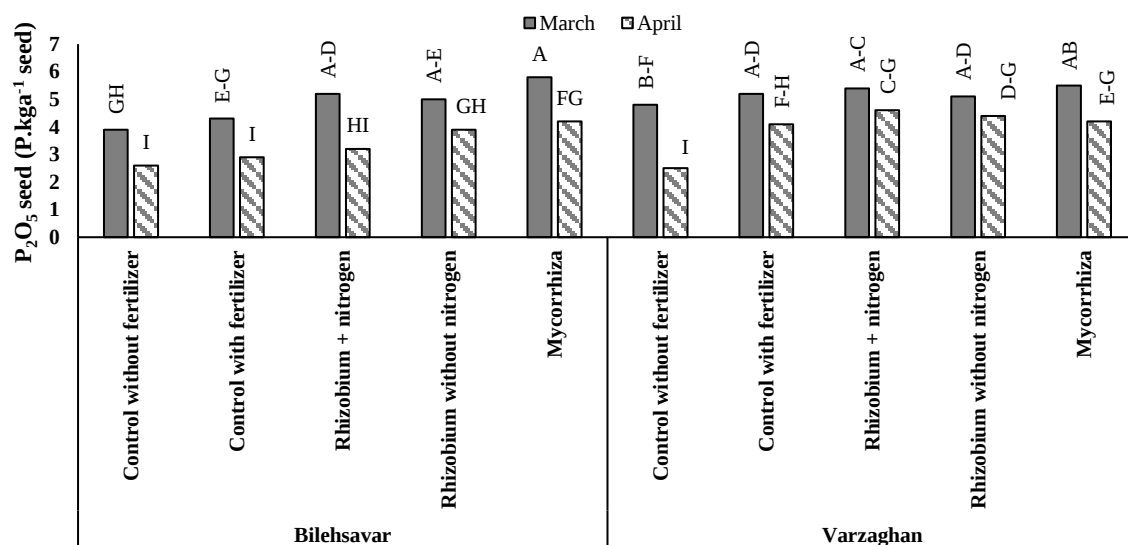
برای آسیمیلات‌ها موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد به‌ویژه عملکرد دانه کمک می‌کنند.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت و تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفت میزان فسفر دانه معنی‌دار شد. اما برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد. علاوه‌براین برهم‌کنش سه‌گانه تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین میزان فسفر دانه (۵/۸ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) مربوط به تیمار مایکوریزا در رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود در رقم ورزقان (۲/۵ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در تاریخ کاشت فروردین ماه و شاهد با و بدون کود در رقم بیله‌سوار (۲/۹ و ۲/۶ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در فروردین ماه حاصل شد (شکل ۱۰). ساکت و همکاران (Saket et al., 2014) تأثیر کود آلی و معدنی را بر شاخص‌های عملکرد عدس بررسی کردند. بررسی مطالعه آنان نشان داد که دانه‌های به‌دست‌آمده از شاهد کم‌ترین مقدار فسفر را داشتند، درحالی‌که بوته‌های تیمارشده با کود دامی و کود زیستی بالاترین میزان فسفر را داشتند.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر عملکرد دانه در گیاه عدس
 Figure 9- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Seed yield in lentil
 ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر میزان فسفر دانه در گیاه عدس
 Figure 10- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on seed phosphorus percentage in lentil
 ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 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 که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال پنج درصد بر پروتئین دانه معنی‌دار شد. اما برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان پروتئین دانه (۰/۰۶ / ۳۱ درصد) مربوط به

تیمار ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و تاریخ اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود در رقم ورزقان در فروردین و اسفند ماه (۱۷/۹۴ و ۱۹/۷۹ درصد) و شاهد بدون کود در رقم بیل‌سوار 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

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 بیش تری انجام شد؛ به طوری که تعداد روز تا سبز شدن در رقم بیله سوار بین ۱۱ تا ۱۳ روز و در رقم ورزقان بین ۱۲ تا ۱۵ روز پس از کاشت رخ داد. در مقلبل، در کاشت ۲۵ فروردین با افزایش دمای محیط، سرعت جوله زنی و خروج گیاهچه از خاک افزایش یافت و تعداد روز تا سبز شدن کاهش پیدا کرد؛ به طوری که این مرحله در بیله سوار در ۹ تا ۱۱ روز و در ورزقان در ۱۰ تا ۱۲ روز پس از کاشت ثبت شد. این موضوع نشان می دهد که افزایش دمای خاک در محدوده مطلوب می تواند با افزایش فعالیت های متابولیکی بذر، جذب آب و رشد ریشه چه و ساقه چه، سبز شدن را تسریع کند. رقم بیله سوار در هر دو تاریخ کاشت نسبت به رقم محلی ورزقان، سبز شدن سریع تری داشت که می تواند بیانگر قدرت استقرار اولیه و سازگاری بهتر این رقم باشد. کم ترین تعداد روز تا سبز شدن مربوط به تیمارهای ریزوبیوم همراه با نیتروژن و مایکوریزا بود، در حالی که بیش ترین تعداد روز تا سبز شدن در شاهد بدون کود مشاهده شد. بنابراین، اگرچه کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن شد، اما به دلیل مواجه شدن مراحل بعدی رشد با گرمای انتهای فصل، این تسریع اولیه الزاماً به عملکرد بالاتر منجر نشد.

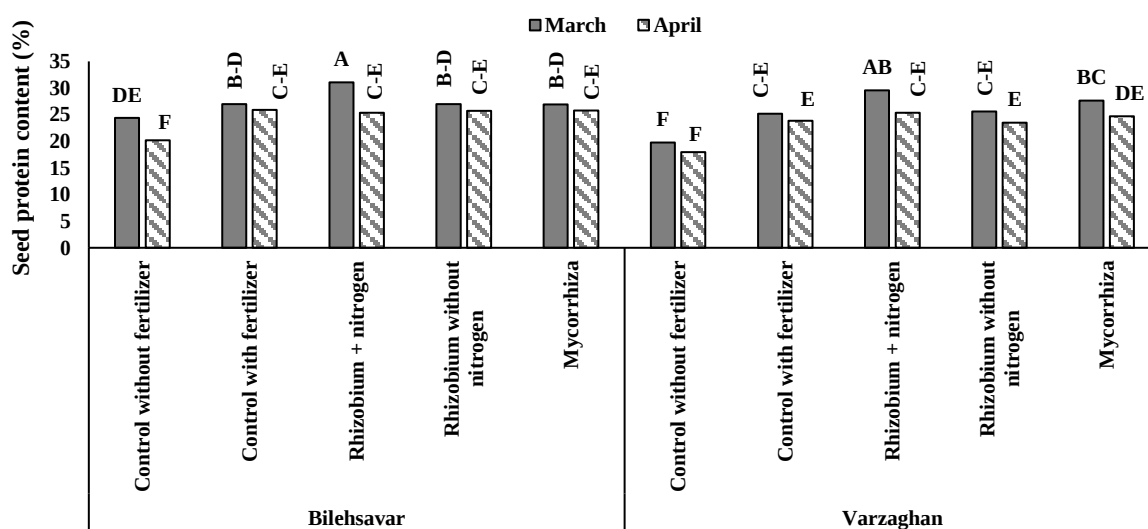
موجب بهبود درصد پروتئین دانه می شود و از آنجاکه عنصر نیتروژن ماده اولیه تشکیل دهنده پروتئین است، احتمالاً یکی از دلایل افزایش پروتئین با کاربرد قارچ مایکوریزا، افزایش در درصد نیتروژن دانه است (Mazlomi Meimandi et al., 2019).

عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه گانه آن ها بر عملکرد پروتئین معنی دار نبود (جدول ۴). در پژوهش ذبیحی محمود آباد و حسن زاده (Zabihi-e-Mahmoodabad & Hassanzadeh, 2017)، نتایج تجزیه واریانس به دست آمده برای صفت عملکرد پروتئین دانه نشان داد که عملکرد پروتئین دانه تحت تأثیر سطوح تیماری کود پتاسیم و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و تحت تأثیر اثر متقابل این دو تیمار در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین ها برای این صفت نشان داد که افزایش کود پتاسیم و نیتروژن موجب افزایش این صفت گردید، به طوری که بیش ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه به ترتیب در سطوح تیماری ۷۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد. نتایج این پژوهش با نتایج این محققان در مورد صفت عملکرد پروتئین مطابقت نداشت.

مراحل فنولوژیک

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



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

Figure 11- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on seed protein content in lentil

ستون هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

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؛ به طوری که 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؛ به طوری که 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 که ورود به مراحل بعدی رشد به‌ویژه غنچه‌دهی و گل‌دهی، دیرتر انجام شود و در نتیجه فرصت کم‌تری برای پُر شدن دانه باقی بماند (Toleikiene 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 پُر شدن دانه شد؛ بنابراین شرایط مناسب‌تری برای افزایش عملکرد فراهم کرد. در مقابل، شاهد بدون کود بیش‌ترین تعداد روز تا شاخه‌دهی 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 و در نتیجه، گل‌دهی با تأخیر، دوره پُر 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). به طور 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. به طوری که 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 ۱۲). این

تعداد روز تا ساقه‌دهی اصلی

براساس 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 ۱۲) 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 گردید. 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

اختصاص داد (شکل ۱۲). زودگل‌دهی در این تیمار یک امتیاز فیزیولوژیک محسوب می‌شود؛ گل‌دهی زود هنگام باعث می‌شود که گیاه پیش از مواجه شدن با تنش گرمای انتهایی 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 (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009). 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 ۱۲). در مقابل، شاهد بدون کود بیش‌ترین زمان تا تشکیل غلاف را داشت. تأخیر در غلاف‌دهی در این تیمار، همراه با کوتاهی دوره پُر 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 پُر شدن دانه

دوره پُر شدن دانه، که فاصله کلیدی بین گل‌دهی تا رسیدگی است، در ارقام تجاری معمولاً بین ۳۰ تا ۴۵ روز متغیر می‌باشد (Erskine et al., 2009). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار ریزوبیوم با نیتروژن در رقم بیل‌سوار، طولانی‌ترین دوره پُر شدن دانه (۴۵ روز) را ایجاد کرد. رقم ورزقان علی‌رغم طول دوره رشد بیش‌تر، دوره پُر شدن دانه کوتاه‌تری (۴۲ روز) داشت که علت اصلی، پایین بودن عملکرد آن نسبت به بیل‌سوار است (شکل ۱۲). تیمارهای کودی با تأخیر در پیری برگ و فراهم کردن مواد غذایی مداوم، دوره پُر شدن دانه را طولانی کردند، درحالی‌که در شاهد، گیاه به‌دلیل فقر غذایی دچار رسیدگی اجباری و زود هنگام شد که دوره پُر شدن دانه را به‌شدت 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 (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009). در این آزمایش، رسیدگی در محدوده ۹۲ تا ۱۱۲ روز پس از کاشت نوسان داشت. بیش‌ترین طول دوره رشد متعلق به رقم ورزقان در کاشت اسفند بود، اما این طولانی شدن به‌دلیل تأخیر در

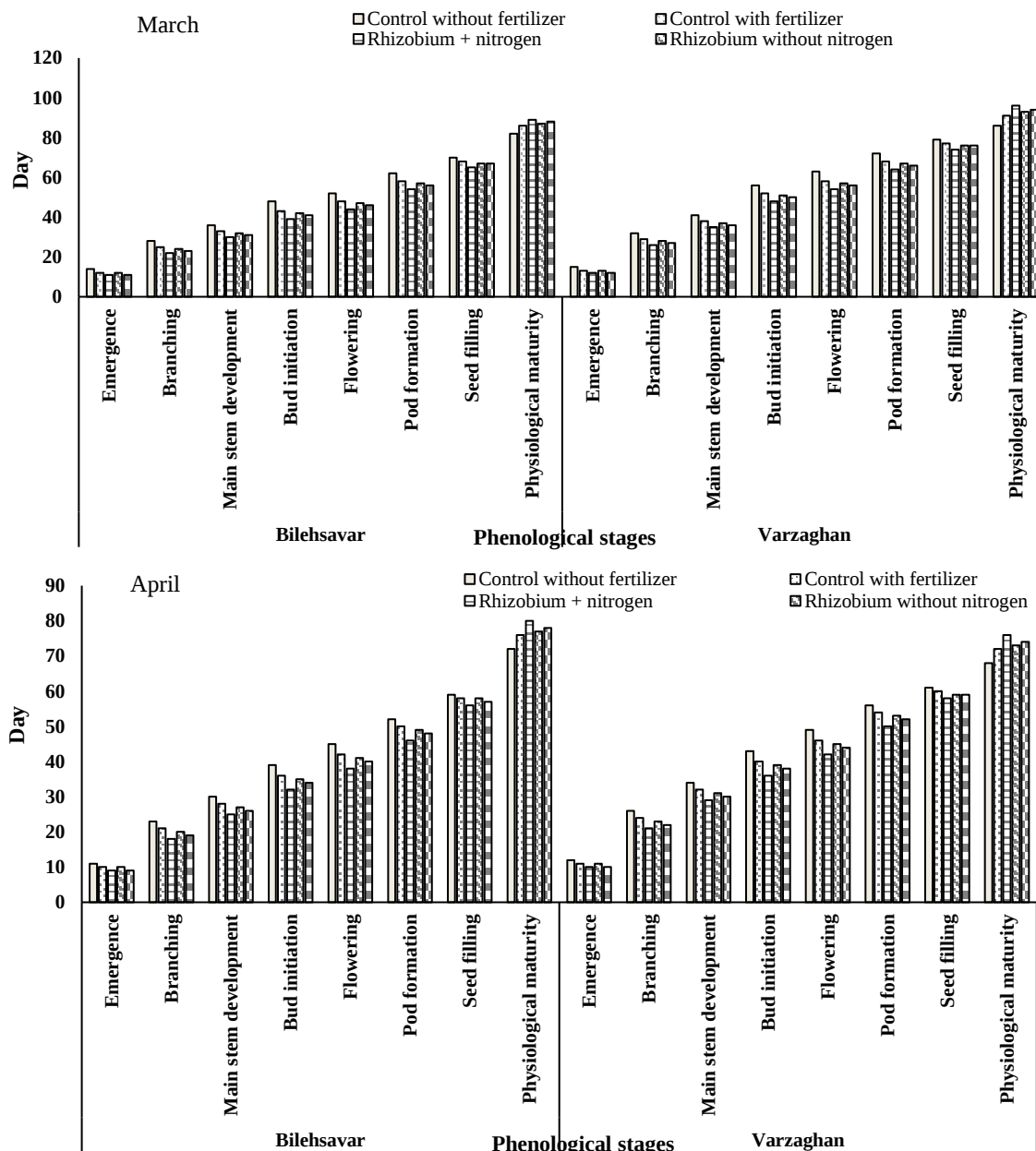
ویژگی نشان می‌دهد که بیل‌سوار مسیر گذار از رشد رویشی به زایشی را سریع‌تر طی کرده و توانسته است اندام‌های زایشی خود را زودتر تشکیل دهد. در مقابل، دیرتر رسیدن ورزقان به این مرحله باعث شد که بخشی از ظرفیت رشد زایشی آن به اواخر فصل و شرایط گرم‌تر منتقل شود؛ موضوعی که می‌تواند از کارایی تولیدی آن بکاهد. مقایسه 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 که 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 که 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 انتهایی 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 که هماهنگی مناسب‌تری میان رشد رویشی و زایشی برقرار شود. در مقابل، ورزقان و به‌ویژه 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 (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009).

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 (Toleikene et al., 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 به‌دلیل سپری شدن دوره رشد رویشی طولانی‌تر، گیاه دیرتر وارد دوره 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

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 ۱۲).

مراحل اولیه بود، نه به دلیل طولانی بودن دوره پُر 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. براساس نتایج این پژوهش، تیمار ریزوبیوم + نیتروژن باعث شد که گیاه تا حداکثر زمان



شکل ۱۲- مراحل فنولوژیکی گیاه عدس تحت تیمار کودی و تاریخ کاشت

Figure 12- Phenological stages of lentil plants under fertilizer treatment and sowing date

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؛ به‌طوری که ارتفاع بوته و قطر ساقه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

ضرایب همبستگی

نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین بسیاری از صفات مورد بررسی، روابط مثبت و معنی‌دار وجود داشت. بیشترین همبستگی‌های مثبت مربوط به صفات رنگیزه‌ای بود، به‌طوری که

عملکرد دانه و عملکرد پروتئین همبستگی مثبت و قابلت وجهی 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 از صفات مورد مطالعه عدس
Table 5- Correlation coefficients among some of the studied traits in lentil

متغیرها Variables	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئیدها Carotenoids	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	عملکرد دانه Seed yield	فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
ارتفاع بوته Plant height	1	0.644	-0.166	-0.062	-0.126	-0.071	0.831	0.717	0.848	0.643	-0.036	0.0742
قطر ساقه Stem diameter	0.644	1	-0.242	-0.256	-0.254	-0.203	0.71	0.888	0.74	0.439	0.429	0.814
کلروفیل a Chlorophyll a	-0.166	-0.242	1	0.911	0.985	0.886	-0.204	-0.227	-0.204	-0.239	-0.054	-0.23
کلروفیل b Chlorophyll b	-0.062	-0.256	0.911	1	0.968	0.954	-0.179	-0.255	-0.144	-0.241	-0.246	-0.235
کلروفیل کل Total chlorophyll	-0.126	-0.254	0.985	0.968	1	0.936	-0.198	-0.243	-0.183	-0.245	-0.136	-0.237
کاروتنوئیدها Carotenoids	-0.071	-0.203	0.886	0.958	0.936	1	-0.17	-0.197	-0.055	-0.276	-0.156	-0.128
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.831	0.71	-0.204	-0.179	-0.198	-0.17	1	0.8	0.786	0.716	0.151	0.745
تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	0.717	0.888	-0.227	-0.255	-0.243	-0.197	0.8	1	0.725	0.686	0.365	0.766
عملکرد دانه Seed yield	0.848	0.74	-0.204	-0.144	-0.183	-0.055	0.786	0.725	1	0.42	0.152	0.939
فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	0.643	0.439	-0.239	-0.241	-0.245	-0.276	0.716	0.686	0.42	1	-0.024	0.345
پروتئین دانه Seed protein content	-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 Protein Yield	0.742	0.814	-0.23	-0.235	-0.237	-0.128	0.745	0.766	0.939	0.345	0.474	1

اعداد با فونت ضخیم، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵ هستند.

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

نتیجه‌گیری

توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز به غذای بیش‌تر و با کیفیت‌تر در اقشار جامعه، توصیه می‌شود که 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

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 نشان‌داده است. با

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 که 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 زیست‌توده 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 که جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، از ترکیب کود ریزوبیوم + نیتروژن به همراه رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه استفاده شود.

سپاسگزاری

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

بیش‌تر مصرف کنندگان و در نتیجه تولید محصول با کیفیت‌تر می‌شود. ارقام عدس در تاریخ کاشت اسفند ماه 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 که تاریخ کاشت عامل اصلی تنظیم فنولوژی بود. تاریخ کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن، شاخه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی شد، اما به دلیل فشردگی دوره پر شدن دانه، پتانسیل عملکرد کاهش یافت، درحالی‌که 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، درحالی‌که 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 دوره زایشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه شد و بهترین پاسخ فنولوژیک و عملکردی را ایجاد کرد. در مقابل، 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 بالا بردن درصد

References

- Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., & Idowu, O. J. (2004). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yield. *Nigerian Journal of Plant Nutrition*, 27, 1163-1181. <https://doi.org/10.1081/PLN-120038542>
- Albayrak, S., Sevimey, C. S., & 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.
- 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.
- 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, Lorestan, Iran. (In Persian).
- 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>
- Erskine, W., Muehlbauer, F. J., Sarker, A., & Sharma, B. (2009). The Lentil: Botany, Production and Uses. 370-410 pp. CABI.
- Estrada-Luna, A. A., & 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 pos-tacclimatization. *Jornal of Plant Physiology*, 160(9), 1073-1083. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00989>
- Etesami, H., & Adl, S. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and their role in sustainable agriculture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(1), 1-32.
- Fioreze, S. L., Castoldi, G., Augusto Pivetta, L., Gustavo Pivetta, L., Maximino Fernandes, D., & Theodoro Büll, L. (2012). Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. *Maringá*, 34, 331-338. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026602014>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). FAOSTAT. Retrieved from. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

- Hassani, M., Tadayon, M. R., & Olia, M. (2023). Effect of organic and biological fertilizers on morphological characteristics and grain yield of mexican yam bean plant (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban). *Journal of Crop Production and Processing*, 13(4), 1-15. <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.4.209118>
- Khaliq, A., Abbasi, M. K., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.002>
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2015). Effects of stabilizer water deficiet (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of tritcale under water withholding. *Plant Ecophysiology*, 9(28), 37-51. (In Persian).
- Kumar, T., Prakash, A., Ahmad, V., & 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. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.392>
- Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1: F4.3.1-F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Lopez-Bellido, L. (1998). Role of grain legumes in 93 Mediterranean agricultural systems. European Conference on Grain Legumes. Valladolid Spain. pp. 127-131.
- Mazlomi Meymandi, M., Pirzad, A. R., & 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 Reserarch*, 1(10), 75-90.
- Mohammadzadeh Algho, M., Janmohammadi, M., & Sabaghnia, N. (2018). The effect of planting date and management of chemical and nano-micro-nutrients on chickpea yield. *Jornal Crop Production*, 4(11), 55-70. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.15025.2127>
- Nori, M. J., Mozafari, A., & 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.
- Petero, R. L., & 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. <https://doi.org/10.1139/b04-071>
- 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, Urmia, Iran. (In Persian).
- Rezaei Chianeh, A., Tajbakhsh, M., Ghiasi, M., & 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.
- Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., & Tandon, H. L. (2006). Plant Nutrition for Food Security. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Food and Agricultural Organization, Rome, p. 16-348.
- Rufaioglu, S. B., & 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-x>
- 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). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.61850>
- 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.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop Research*, 113, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
- Seyed Sharifi, R., & 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). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292605.2295>
- Shahsavani, S., Qaranjik, S., & Jadid-ol-Islam, N. (2017). Effect of mycorrhiza, *Pseudomonas* bacteria, and humic acid on growth indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 97-112. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.50327>
- 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>

- 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.
- Wright, D. P., Scholes, J. D., & 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>
- Zabihi-e-Mahmoodabad, R., & Hassanzadeh, M. (2017). Effects of nitrogen and potassium levels on some qountitative and qualitative traits and agronomical fertilizer use efficiency in lenti cultivation. *Jornal of Plant Ecophysiology*, 38, 11. (In Persian).
- 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.