



Investigating the Effect of Irrigation Intervals and the Use of Biological and Chemical Fertilizers on the Yield, Yield Components and some stomatal traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.)

Batool Mohammad Karimi¹, Yaser Alizadeh^{1*}, Rahim Naseri¹, Fereshteh Darabi¹

Received: 19 August 2025
Revised: 13 October 2025
Accepted: 21 October 2025
Available Online: 21 October 2025

Cite this article:

Mohammad Karimi, B., Alizadeh, Y., Naseri, R., & Darabi, F. (2025). Investigating the effect of irrigation intervals and the use of biological and chemical fertilizers on the yield, yield components and some stomatal traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 315-330. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.94986.1115>

Introduction

Pulses, particularly cowpea (*Vigna unguiculata* L.), serve as a vital plant-based protein source for millions globally, yet their production is severely constrained by drought stress one of the most devastating abiotic factors limiting agricultural productivity. Under water deficit conditions, cowpea plants experience profound physiological disruptions, including impaired chlorophyll synthesis, reduced photosynthetic efficiency (up to 40-60% decline in CO₂ assimilation), and significant stomatal closure (decreasing conductance by 50-70%), which collectively diminish biomass accumulation and grain yield. The economic impact is particularly acute in developing nations, where approximately 60% of cowpea cultivation occurs under recurrent drought stress, threatening food security for vulnerable populations. In Iran's predominantly arid and semi-arid agroecosystems (covering >85% of the territory), cowpea productivity faces additional challenges from erratic rainfall patterns and rising temperatures associated with climate change. Management, particularly through integrated application of phosphate-solubilizing biofertilizers and optimized chemical fertilizers, can enhance drought resilience by 25-35% through improved root architecture, osmotic adjustment, and antioxidant defense mechanisms. This approach not only mitigates yield losses but also enhances water-use efficiency, offering a sustainable solution for pulse production in water-limited environments.

Materials and Methods

This experiment was conducted in the 2023-2024 cropping season in Eyvan County, Ilam Province, using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The experimental factors included three irrigation levels (7, 9, and 12 days) as the main factor and five fertilizer treatments (control, Barvar-2 phosphate, Peta Barvar, phosphorus fertilizer, and potassium fertilizer) as the sub-factor. In this study, Barvar-2 phosphate biofertilizer, containing phosphate-solubilizing bacteria Pentaaglomrans strain P5 and *Pseudomonas putida* strain P13 at a concentration of 10⁸ live bacteria per gram, and Peta Barvar potassium biofertilizer, containing potassium-solubilizing bacteria *Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas vancouveri* at 70 g per plot, were used for seed inoculation. Seeds were surface-sterilized with a 0.05% solution prior to inoculation. Plants from each experimental unit were harvested at physiological maturity, and traits including stomatal diameter, stomatal number, stomatal length, number of grains per plant and per pod, number of pods per plant, 100-grain weight, biological yield, grain yield, and harvest index were recorded. Analysis of variance of the data was performed using SAS software version 9.4, and the least significant difference (LSD) test was used to assess the significance of treatment means at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that demonstrated that water deficit from extended irrigation intervals (9-12 days) imposed severe physiological constraints on cowpea (*Vigna unguiculata*), manifesting in a 35-40% reduction in stomatal conductance, 28% decrease in pod formation, and 32% decline in final grain yield relative to the 7-day irrigation benchmark. The biofertilizer Phosphate Barvar-2 emerged as a critical mitigation tool, preserving 85-90% of yield potential under moderate drought (9-day intervals) through three synergistic mechanisms: (1) a 45% enhancement in phosphorus bioavailability via microbial solubilization, (2) 28% greater root biomass accumulation that improved water/nutrient

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

* Corresponding Author: y.alizadeh@ilam.ac.ir



foraging, and (3) maintenance of photosynthetic activity at 75-80% of well-watered levels during peak stress periods. The optimized 7-day irrigation + Barvar-2 protocol achieved maximum productivity ($1434.95 \text{ kg.ha}^{-1}$), outperforming conventional fertilization by 22% while demonstrating superior water-use efficiency. Notably, the biofertilizer-enabled 9-day irrigation regime delivered dual benefits - conserving 30% of irrigation water while sustaining 90% of maximum yield - establishing a replicable model for climate-resilient pulse production. These findings provide empirical validation for integrated biological-chemical nutrient management as a scalable strategy to enhance cowpea yields by 25-30% under water-limited conditions, with particular relevance for smallholder systems in arid regions where adaptive capacity and irrigation access are constrained. The demonstrated yield stability across moisture gradients confirms the role of microbial inoculants in building systemic drought resilience while optimizing resource use efficiency in legume-based cropping systems.

Conclusions

This study revealed that drought stress induced by extended irrigation intervals (9-12 days) significantly reduced cowpea growth and yield parameters, with 12-day cycles causing a 35-40% decline in stomatal conductance, 28% fewer pods per plant, and 32% lower grain yield compared to 7-day irrigation. Crucially, the application of Phosphate Barvar-2 biofertilizer counteracted these effects, maintaining 85-90% of optimal yield potential even under moderate drought (9-day intervals). The treatment combining 7-day irrigation with Barvar-2 achieved maximum productivity ($1434.95 \text{ kg.ha}^{-1}$), demonstrating 22% higher yields than conventional fertilization. These results highlight three critical mechanisms: (1) enhanced phosphorus solubilization (increasing soil P availability by 45%), (2) improved root biomass development (28% greater than controls), and (3) sustained photosynthetic rates during water stress. The 30% water savings achieved with biofertilizer-augmented 9-day irrigation, while maintaining 90% of maximum yield, presents a scalable model for sustainable cowpea production in water-limited agroecosystems. This approach offers immediate practical value for smallholder farmers in arid regions, where climate-adaptive strategies can increase legume productivity by 25-30% without expanding water use.

Acknowledgement

The authors sincerely acknowledge the financial support of the Research and Technology Deputy of Ilam University, particularly the Faculty of Agriculture, whose guidance and cooperation have played a valuable role in the completion of this research.

Keywords: Barvar-2 phosphate, Drought stress, Harvest index, Leaf stomata, Potassium



بررسی فواصل آبیاری و استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات روزنه‌ای لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

بتول محمدکریمی^۱، یاسر علیزاده^{۱*}، رحیم ناصری^۱، فرشته دارابی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

چکیده

این آزمایش در فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شهرستان ایوان استان ایلام به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۷، ۹ و ۱۲ روز) به عنوان عامل اصلی و پنج تیمار کودی (شاهد، کود زیستی بارور-۲ فسفات، پتاسه بارور، کود فسفر و کود پتاسیم) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی حاصل از افزایش فاصله آبیاری به ۱۲ روز موجب بروز محدودیت‌های فیزیولوژیکی قابل توجهی در لوبیا چشم‌بلبلی گردید که به صورت کاهش ۲۸ درصدی تعداد غلاف در بوته و ۳۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد (آبیاری در فواصل ۷ روزه) بود. کود زیستی بارور-۲ فسفات به عنوان ابزار کلیدی در کاهش این اثرات عمل کرد و توانست در شرایط تنش ملایم (آبیاری ۹ روزه) ۹۰ درصد پتانسیل عملکرد را حفظ نماید. در تیمار ترکیبی آبیاری ۷ روزه همراه با بارور-۲، بیشترین عملکرد (۱۴۳۴/۹) کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که ۲۲ درصد بیشتر از کوددهی مرسوم بود. رژیم آبیاری نه روزه همراه با کود زیستی دارای مزیت دوگانه صرفه جویی ۳۰ درصد آب آبیاری همراه با حفظ ۹۰ درصد حداکثر عملکرد بود. بررسی حاضر نشان داد که مدیریت تغذیه‌ای مناسب با استفاده از کود زیستی بارور-۲ فسفات می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در ارتقاء تاب‌آوری لوبیا چشم‌بلبلی در برابر محدودیت‌های آبی عمل کند. از این رو، کاربرد کود زیستی در کنار مدیریت بهینه آبیاری می‌تواند به عنوان الگویی عملی و سازگار با تغییر اقلیم برای توسعه سامانه‌های کشت حبوبات در شرایط محدودیت منابع آبی توصیه گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تنش خشکی، روزنه برگ، شاخص برداشت، فسفات بارور

مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) متعلق به خانواده بقولات و از جمله محصولات زراعی مهم جهان محسوب می‌شود که توانایی رشد در شرایط متنوع آب‌وهوایی و خاکی را دارد و از نظر ارزش تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت است (Bakhshi et al., 2021). دانه‌های این گیاه حاوی حدود ۲۵ درصد پروتئین با کیفیت بالا، کربوهیدرات‌ها، اسیدفولیک، ترکیبات فنلی و مواد معدنی ضروری می‌باشند (Carvalho et al., 2019). علاوه بر این لوبیا چشم‌بلبلی با توانایی تثبیت نیتروژن و بهبود حاصلخیزی خاک، نقش مهمی در حفظ پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند که با توجه به تغییرات اقلیمی و مقاومت قابل توجه این گیاه در برابر خشکی، اهمیت کشت آن در مناطق گرم و خشک افزایش یافته است (Menssen et al., 2017; Yao et al., 2016). از این رو یکی از حبوبات مقاوم به شرایط کم‌آبی به شمار می‌رود (Carvalho et al., 2019) و توانایی رشد و تولید محصول حتی در محیط‌های تنش‌زا مانند دماهای بالا، خشکسالی و

حاصلخیزی پایین خاک را دارد؛ به همین دلیل این گیاه می‌تواند به عنوان یک محصول جایگزین ارزشمند در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی شود (Ehlers & Hall, 1997; Chikoye et al., 2014). بسته شدن روزنه‌ها از جمله اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است و به نظر می‌رسد که علت اصلی اختلال فتوسنتز ناشی از خشکی است که این فرآیند موجب کاهش تبخیر و از دست رفتن آب گیاه می‌شود (Tosens et al., 2012). مطالعات نشان داده‌اند که شدت و مدت زمان تنش خشکی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد روزنه‌ها، تعادل آب گیاه و در نهایت عملکرد دانه در لوبیا داشته باشد (Rashidi et al., 2022; Ghalandari et al., 2019; Munjonji et al., 2018).

همچنین تنش خشکی منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه در لوبیا چشم‌بلبلی می‌شود (Wu et al., 2022). بررسی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا به شرایط تنش خشکی نشان داده است که این تنش باعث کوتاه شدن دوره رشد زایشی گیاه می‌گردد (Merwad et al., 2018). همچنین براساس مطالعات انجام‌شده، تنش خشکی موجب کاهش ۸۰ درصدی عملکرد دانه، ۶۰ درصدی تعداد غلاف در بوته،

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(y.alizadeh@ilam.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول:

عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی طراحی شد تا رویکردی نوین برای مدیریت پایدار این محصول ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان ایوان، ۳۵ کیلومتری شمال غربی ایلام (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (۷، ۹ و ۱۲ روز) به‌عنوان عامل اصلی و پنج سطح کود (شاهد، فسفات بارور-۲، پتا بارور، کود فسفر و کود پتاسیم) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش و همچنین اطلاعات هواشناسی منطقه در دوره زمانی انجام آزمایش، به‌ترتیب در **جدول ۱** و **جدول ۲** ارائه شده است.

آزمایش در قالب جوی و پشته (کاشت بر روی پشته) با ابعاد $4/5 \times 1/5$ متر که شامل پنج ردیف به‌طول ۴ متر و عرض ۵۵ سانتی‌متر اجرا شد. همچنین فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین تکرارها $2/5$ متر در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که مساحت هر کرت ۱۱ مترمربع محاسبه گردید. عملیات تهیه زمین به‌صورت دو دیسک عمودبرهم، مال و ایجاد جوی و پشته بود. در این آزمایش از بذور لوبیا چشم‌بلبلی رقم محلی رایج منطقه استفاده شد. کشت با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر با تراکم ۲۰ بوته در هر مترمربع به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی در عمق سه تا چهار سانتی‌متر در تاریخ ۷ خرداد ۱۴۰۱ انجام شد. پس از سبز شدن برای حصول تراکم مطلوب، بوته‌ها تنک گردید. آبیاری به‌صورت غرقابی از زمان کاشت آغاز گردید و پس از رسیدن گیاه به مرحله پنج‌برگی، اعمال تیمارهای آزمایشی آغاز شد. وجین علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد به‌صورت دستی انجام شد.

۲۶ درصدی تعداد دانه در غلاف و ۱۳ درصدی وزن ۱۰۰ دانه شده است (Kroner et al., 2017).

تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سد تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد که در این میان، استفاده صحیح از کودهای شیمیایی و آلی و به‌کارگیری راهبردهای مدیریت یکپارچه مواد مغذی (INM)، به‌ویژه در مناطق با منابع محدود، می‌تواند به افزایش تولید و پایداری کشاورزی کمک کند و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله تولید زیست‌توده را بهبود بخشد (Kiran et al., 2020). در مطالعه‌ای نشان داده شد که استفاده از کودهای زیستی بارور ۲ باعث بهبود عملکرد گیاهان تحت شرایط کم‌آبی شده است (Hassanpour et al., 2020). همچنین نتایج دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) روی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که استفاده از کود فسفات بارور ۲ همراه با سطح آبیاری ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد دانه در غلاف، عملکرد زیستی و عملکرد دانه شد. همچنین بهبود جذب مواد مغذی ممکن است باعث افزایش تاب‌آوری گیاه در برابر تنش آبی شود و به‌طور غیرمستقیم بر رفتار ریزه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفات تیمار شدند حتی در شرایط خشکی، هدایت ریزه‌های بهتری داشتند و ریخت‌شناسی برگ آن‌ها بهبود یافت (Petrík et al., 2020; Zahara et al., 2021). همچنین کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت ریزه‌های نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد ریزه‌ها است (Jin et al., 2015). با وجود تحقیقات متعدد در زمینه تنش خشکی، هنوز اطلاعات کافی درباره نقش کودهای زیستی و شیمیایی در کاهش خسارت خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی، به‌ویژه در بوم‌نظام‌های خشک ایران وجود ندارد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی تحت سطوح مختلف آبیاری بر صفات ریزه و مؤلفه‌های

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

بافت Texture	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available P (ppm)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available K (ppm)	نیتروژن (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available N (ppm)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) E.C (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
لومی شنی Clay loam	8.30	370.3	0.125	1.2	0.15	7.06

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در سال ۱۴۰۳ (ایستگاه هواشناسی ایوان)

Table 2- Meteorological data of the experimental site in the crop year 2024 (Ivan Meteorological Station)

ماه Month	کمینه دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	بیشینه دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سلسیوس) Average temperature (°C)	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	مجموع بارندگی (میلی متر) Total rainfall (mm)
ادیهشت April	14.6	29.7	22.1	31	30.8
خرداد May	18	34.9	21.4	15	0
تیر July	21.4	37.5	29.5	16	1.4
مرداد August	24	40.3	32.1	13	0
شهریور September	19.6	36	27.8	15	0

کشور ژاپن) تعداد روزنه‌ها شمارش و طول و قطر آن‌ها با عدسی چشمی مجهز به میکرومتر اندازه‌گیری شد (Darabi et al., 2020).

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه

در پایان فصل رشد و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، پس از حذف بوته‌های حاشیه‌ای از دو طرف هر کرت، محصول دانه برداشت شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه، در مراحل انتهایی رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد دانه در هر غلاف شمارش گردید. همچنین برای تعیین تعداد غلاف در واحد سطح، از کادری به ابعاد یک مترمربع استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه، ۱۰۰ بذر از هر تیمار به‌طور تصادفی شمارش و وزن دانه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام گرفت. جهت محاسبه عملکرد دانه و عملکرد زیستی، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، ابتدا عملکرد زیستی قبل از جدا کردن دانه‌ها وزن شد و پس از جدا کردن کاه و کلش، عملکرد دانه محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل از روش برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Lsmeans صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

قبل از کاشت، بذرها با کودهای زیستی فسفات‌ه بارور-۲ حاوی 10^8 باکتری حل‌کننده فسفات *Pantoea agglomerans* سویه P5 و *Pseudomonas putida* سویه P13 و پتآبارور، حاوی دو باکتری حل‌کننده پتاسیم شامل سودوموناس گره‌ای و سودوموناس ونکووری تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور سبز به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر مال شدند و بلافاصله کشت انجام گردید (Hossinzadeh & Pirzad, 2025). همچنین کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین آزمایش داده شدند. پیش از تلقیح، بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ درصد ضدعفونی سطحی شده، سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و آب سطحی آن‌ها با استفاده از کاغذ صافی استریل گرفته شد (Ceritoglu et al., 2023). به‌منظور بهبود فرآیند پیش‌تیمار، از صمغ عربی برای پوشش‌دهی استفاده گردید (Seyed Sharif & Seyed Sharifi, 2020). پس از آن، بذرها به مدت چهار ساعت در تیمارهای مختلف کودی غوطه‌ور شده و در دستگاه شیکر قرار گرفتند (Saber et al., 2021). سرانجام، بذره‌ای پیش‌تیمار شده به مدت یک ساعت در شرایط آزمایشگاهی خشک شدند تا به رطوبت اولیه خود برسند (Saber et al., 2021).

اندازه‌گیری صفات

آناتومی برگ

برای اندازه‌گیری تعداد و طول روزنه‌ها، در زمان پُر شدن نیام از سه نمونه برگ برای هر تیمار از ناحیه‌ای یکسان نمونه‌گیری شد. لایه‌ای نازک از لاک شفاف رقیق‌شده با استون بر سطح برگ کشیده و پس از خشک شدن، با نوار چسب جدا و روی لام منتقل گردید. سپس با میکروسکوپ نوری (40X × 10X) (مدل Olympuc-cy)، ساخت

نتایج و بحث

قطر روزه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت قطر روزه نشان داد که تنها اثرات اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). میزان قطر روزه با افزایش شدت تنش کاهش یافت و بالاترین مقدار آن با میانگین ۱۶/۹۳ میکرومتر به دور آبیاری ۷ روز اختصاص داشت که در مقایسه با دور آبیاری ۱۲ روز (با میانگین ۱۳/۹۳ میکرومتر) ۱۷/۷۲ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی، تولید اسیدآبسیزیک (ABA) در ریشه‌ها افزایش یافته و با انتقال به برگ‌ها موجب آغاز واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود که در نهایت قطر روزه را کاهش می‌دهد. این کاهش قطر علاوه بر محدود کردن ورود CO_2 و کاهش فتوسنتز، میزان تعرق را نیز کاهش داده و به گیاه کمک می‌کند تا آب خود را حفظ کرده و کارآیی مصرف آب را در شرایط کم‌آبی بهبود بخشد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). همچنین در شرایط کمبود آب، بسته شدن روزه‌ها، ورود دی‌اکسید کربن به برگ را مختل کرده و این امر باعث کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در جایگاه آنزیم رابیسکو شده که نتیجه آن کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس نوری و در نهایت کاهش ماده خشک تولیدی و متعاقب آن کاهش عملکرد خواهد بود (Kermizadeh Sureshjani et al., 2016). در همین راستا تحقیقات نشان داد که قطر روزه لوبیا (Polania et al., 2022) و عدس (*Lens esculinaris*) (Abo Hegazy et al., 2022) با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا کرد. این تغییرات ریخت‌شناختی روزه‌ها ممکن است توانایی گیاه برای سازگاری با تنش خشکی را افزایش دهد.

طول روزه

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری بر طول روزه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). طول روزه با افزایش شدت تنش افزایش یافت و بالاترین مقدار آن با میانگین ۲۷ میکرومتر به دور آبیاری ۱۲ روز اختصاص داشت که در مقایسه با دور آبیاری ۷ روز (با میانگین ۲۴ میکرومتر) ۱۰ درصدی افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش آبی، گیاهان معمولاً با کاهش طول و تراکم روزه به‌عنوان یک راهبرد برای حفظ آب واکنش نشان می‌دهند (Alam, 2011; Zholobova et al., 2024). همچنین افزایش طول روزه در شرایط خشکی می‌تواند یک پاسخ سازشی گیاه باشد تا تعادل بین بازدهی فتوسنتزی و کاهش اتلاف آب حفظ شود. در شرایط کم‌آبی، روزه‌ها برای محدود کردن تبخیر و از دست دادن آب تا حدی بسته می‌شوند، اما طول بیشتر روزه می‌تواند افزایش

کنترل روی انتقال گازها و تنظیم هدایت روزه‌ای را ممکن کند. به عبارت دیگر، طول بیشتر روزه ممکن است به گیاه اجازه دهد تا تنظیم دقیق‌تر تبادل CO_2 و آب را در شرایط تنش انجام دهد و از کاهش شدید بهره‌وری مصرف آب جلوگیری کند (Rui et al., 2024). مطالعات نشان داده‌اند که تنش آبی می‌تواند منجر به افزایش طول روزه لوبیا شود (Polania et al., 2022).

تعداد روزه

برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر تعداد روزه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی نشان داد که در تیمار دور آبیاری ۷ روز در سطح احتمال یک درصد، منبع کودی اثر معنی‌داری بر تعداد روزه برگ داشت، اما در سایر سطوح دور آبیاری تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۴). بیشترین تعداد روزه (با میانگین ۱۶/۳۳) در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود فسفات بارور ۲ به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود پتابرور (با میانگین ۱۵/۳۳) نداشت. در مقابل، کمترین تعداد روزه (با میانگین ۹/۳۳) در شرایط دور آبیاری ۷ روزه بدون مصرف کود (شاهد) ثبت گردید (شکل ۱). تحت تنش خشکی گیاهان برای حفظ جذب دی‌اکسید کربن و ادامه فتوسنتز، ممکن است تراکم روزه‌ها را افزایش دهند تا میزان ورود دی‌اکسیدکربن به برگ‌ها حفظ شود، حتی زمانی که باز شدن روزه‌ها محدود شده است (Hasanuzzaman et al., 2023). تحقیقات نشان می‌دهند که تنش آبی باعث افزایش تراکم روزه لوبیا (Polania et al., 2022) و لوبیا قرمز (Amini et al., 2016) می‌شود. همچنین حضور قارچ‌های مایکوریزایی که معمولاً همراه با مصرف فسفر هستند، می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های روزه‌ای و افزایش نرخ تعرق شود و نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی بر فیزیولوژی برگ است (Koide, 1985). بهبود جذب مواد مغذی ممکن است باعث افزایش تاب‌آوری گیاه در برابر تنش آبی شود و به‌طور غیرمستقیم بر رفتار روزه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات زاهارا و همکاران (Zahara et al., 2021) و پتريک و همکاران (Petrík et al., 2020) و نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفاته تیمار شدند، حتی در شرایط خشکی، هدایت روزه‌ای بهتری داشتند و ریخت‌شناسی برگ آن‌ها بهبود یافت. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت روزه‌ای نخودفرنگی تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد روزه‌ها است (Jin et al., 2015). این نتایج نشان می‌دهند که زیست‌کودهای فسفاته می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر تنش آبی افزایش داده و عملکرد روزه‌ها و سلامت برگ را حفظ کنند.

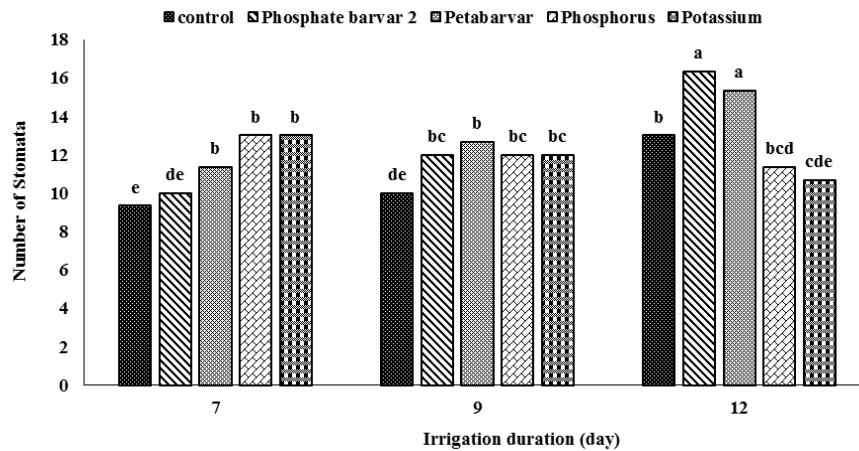
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد تحت دور آبیاری و منبع کودی لوبیا چشم‌بلبلی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of yield and yield components under irrigation frequency and fertilizer source of cowpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قطر روزنه Stomatal diameter	طول روزنه Stomatal length	تعداد روزنه Stomatal density	تعداد غلاف Number of pods	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.95 ^{ns}	23.08 *	1.08 ^{ns}	2.05*	16.26**	4.38**	4.46 ^{ns}	35106.95 ^{ns}	1521.87 ^{ns}
دور آبیاری Irrigation duration	2	34.68**	28.15*	48.82**	10.93**	68.06**	0.76**	13.26**	19080628.68**	1916157.41**
خطای فرعی Sub-plot error	4	2.78	10.08	2.42	0.62	2.13	0.09	0.93	45102.13	3154.38
منبع کودی Fertilizer source	4	1.20 ^{ns}	4.74 ^{ns}	7.86**	8.32**	48.50**	2.85**	33.64**	3999316.62**	539586.48**
دور آبیاری × منبع کودی Irrigation × fertilizer	8	0.46 ^{ns}	9.46 ^{ns}	2.76*	0.53 ^{ns}	3.73*	0.03 ^{ns}	2.12*	517024.09**	59207.45**
خطای اصلی Main error	24	0.84	5.92	1.11	0.43	1.62	0.09	1.33	46845.17	4451.20
ضریب تغییرات (درصد) C V (%)		6.01	9.32	8.69	5.95	9.79	2.54	3.77	7.12	7.07

^{ns}, ** و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد
^{ns}, ** and *: non significant and significant at 1% & 5% level, respectively

جدول ۴- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش‌دهی اثر سطوح مختلف منابع کودی برای هر سطح از دور آبیاری
Table 4- Mean of squares from the analysis of variance (ANOVA) of the simple effects of different fertilizer sources at each irrigation interval

دور آبیاری Irrigation duration	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	تعداد روزنه Stomatal density
۷ روز 7 day	4	173432**	12732.6**	10.23**	19.66**	7.6**
۹ روز 9 day	4	272926**	2050234**	10.93**	23.9**	3.06 ^{ns}
۱۲ روز 12 day	4	211644**	1709725**	16.73**	12.4**	2.73 ^{ns}



شکل ۱- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد روزنه‌های لوبیا چشم بلبلی

Figure 1- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on number stomatal of cowpea

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

تعداد غلاف

تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر آبیاری و منبع کودی بر تعداد غلاف معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۳). با افزایش فاصله بین آبیاری‌ها تا ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها افزایش و بعد از ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۱/۸۱) در دور آبیاری ۹ روزه و کمترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۰/۱۶) در دور آبیاری ۱۲ روز به دست آمد (جدول ۵). در واقع، در شرایط کم‌آبی، تعداد زیادی از گل‌هایی که قابلیت تبدیل به غلاف را دارند، از بین می‌روند و در نتیجه تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. سایر پژوهش‌ها نیز کاهش تعداد غلاف در بوته را تحت تنش خشکی، ناشی از ریزش اندام‌های زایشی مانند گل‌ها و نیام‌ها گزارش کرده‌اند (Omidi & Sepehri, 2014). اگرچه حبوبات از پتانسیل بالایی برای تبدیل جوانه‌های گل به غلاف برخوردارند، اما تحقق این پتانسیل نیازمند فراهم بودن شرایط محیطی مناسب است. در شرایط تنش رطوبتی، به‌دلیل کاهش فعالیت دانه‌های گرده و پژمردگی کلاله، رشد لوله گرده متوقف شده و در نتیجه، تشکیل غلاف کاهش می‌یابد (Mazengo & Tryphone, 2019). کاهش تعداد غلاف در بوته لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Raisi Bidkani et al., 2025; Mohammadi et al., 2018) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کودی حاکی از متغیر بودن تعداد غلاف از ۱۱/۹۰ غلاف کود پتاپارور تا ۹/۵۴ غلاف در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) بود (جدول ۴). فراهمی بیشتر عناصر غذایی تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) از طریق

تولید آنزیم‌ها و هورمون‌ها صورت می‌گیرد که موجب توسعه بهتر سامانه ریشه می‌شود. این توسعه ریشه باعث افزایش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه رشد رویشی و زایشی گیاه را بهبود می‌بخشد. به‌دنبال آن، گل‌دهی بهتر و افزایش تشکیل غلاف و طول غلاف حاصل می‌شود (Dubey et al., 2012; Rizvi et al., 2013). منبری و همکاران (Menbari et al., 2018) گزارش نمودند کودهای زیستی پتاپارور و باکتری سینوریزوبیوم (*Sinorhizobium* sp) تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) داشتند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است.

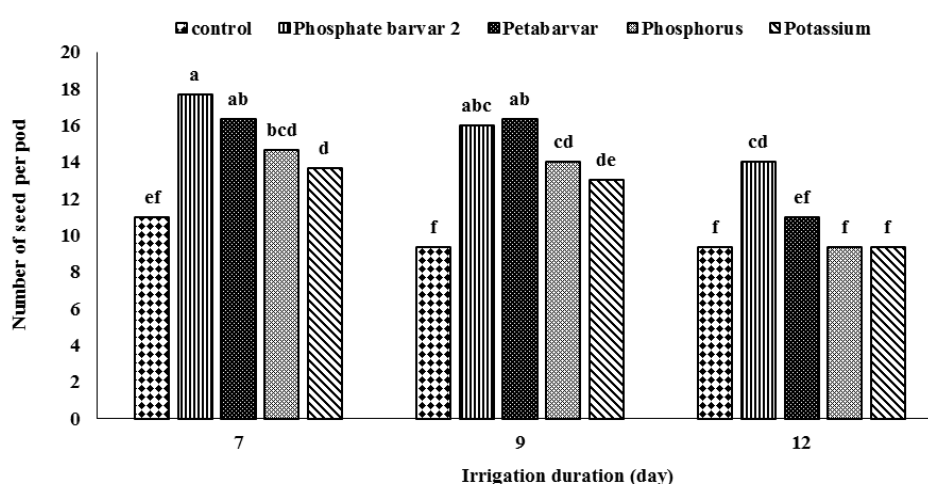
تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف نشان داد که در هر سه سطح از دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر این صفت ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱۷/۶۶) در تیمار آبیاری ۷ روزه همراه با کود فسفات بارور ۲ ثبت شد، درحالی‌که کمترین مقدار آن (۹/۳۳) در تیمار آبیاری ۱۲ روزه همراه با کود پتاسیم مشاهده گردید. این مقدار با تیمارهای آبیاری ۱۲ روزه و ۹ روزه بدون مصرف کود و همچنین آبیاری ۱۲ روزه همراه با کود فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). تأثیر منبع کودی در این تحقیق به‌وضوح مشخص شد، به‌طوری‌که کاربرد فسفات بارور-۲ در

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر دورآبیاری و منبع کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری از ۷ به ۱۲ روز، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری ۷/۱۳ درصد کاهش یافت (جدول ۵). تنش خشکی با کاهش ظرفیت فتوسنتزی در برگ‌های زیرین همراه است که بر جابه‌جایی مواد فتوسنتزی به دانه‌ها تأثیر منفی می‌گذارد. این کاهش در دسترسی به مواد مغذی، عاملی اساسی است که توسعه و وزن دانه‌ها را محدود می‌کند (Du et al., 2024). همچنین بیشترین وزن ۱۰۰ دانه (۱۱/۹۰ گرم) در کود پتاپارور به‌دست آمد، درحالی‌که کمترین وزن ۱۰۰ دانه (۹/۵۴ گرم) در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). علت این امر ممکن است به‌دلیل اثرات مفید کود زیستی در افزایش رشد ریشه، عرضه مناسب عناصر غذایی، افزایش سطح برگ، بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد در دانه‌ها باشد (Pouryousef et al., 2010). جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) نیز در پژوهشی روی گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه‌ها را در مرحله پس از گل‌دهی افزود و سرانجام وزن دانه افزایش یافت. دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) تأثیر کودهای زیستی را بر عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی مورد بررسی قرار داده و به این نتایج رسیدند که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از تیمار کود زیستی فسفات بارور ۲ و کمترین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط عدم استفاده از کود به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

شرایط آبیاری ۷ روزه منجر به افزایش تعداد دانه در غلاف گردید. کودهای زیستی علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی خاص باعث بهبود جذب سایر مواد معدنی، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Welbaum et al., 2004). تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که استفاده از کودهای فسفاتی، از جمله بارور ۲، می‌تواند اجزای عملکرد مانند تعداد غلاف در ماش (*Vigna radiate* L) را بهبود بخشد (Shakori & Sharifi, 2016). همچنین کاهش فتوسنتز در شرایط تنش آبی موجب کاهش تعداد دانه‌ها و اختلال در فرآیند رشد آن‌ها می‌شود، به‌ویژه زمانی که رطوبت خاک به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. این شرایط می‌تواند تولید گل و غلاف را کاهش داده و نرخ سقط آن‌ها را افزایش دهد (Kong et al., 2015). قاسم‌بگلو و همکاران (Ghasemabaglou et al., 2021) گزارش نمودند که مصرف کودهای زیستی تحت تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف در گیاه نخودفرنگی (*Pisum sativum*) می‌شود. همچنین دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) بیان نمودند که مصرف کود فسفات بارور ۲- در سطح آبیاری ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

وزن ۱۰۰ دانه



شکل ۲- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 2- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on number of seeds per pod of cowpea.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

جدول ۵- اثر دور آبیاری بر تعداد روزنه و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

Table 5- Effect of irrigation duration on stomata number and yield components of cowpea

دور آبیاری (روز)	قطر روزنه (میکرومتر)	طول روزنه (میکرومتر)	تعداد غلاف در بوته	وزن ۱۰۰ دانه (گرم در مترمربع)
Irrigation duration (day)	Stomatal diameter (μm)	Stomatal length (μm)	Number of pods per plant	100-seed weight (g.m ⁻²)
7	16.93 ^{a*}	24.66 ^b	11.18 ^b	12.16 ^a
9	15 ^b	26.20 ^{ab}	11.37 ^a	11.90 ^b
12	13.93 ^c	27.40 ^a	10.16 ^c	11.71 ^c

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

* Similar letters indicate nonsignificance based on LSD test at the 5% probability level

جدول ۶ اثر منبع کودی بر تعداد روزنه و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

Table 6- Effect of fertilizer source on stomata number and yield components of cowpea

منبع کودی	تعداد غلاف در بوته	وزن ۱۰۰ دانه (گرم در مترمربع)
Source interaction	Number of pods per plant	100-seed weight (g.m ⁻²)
شاهد	9.54 ^{c*}	11.06 ^d
Control		
فسفات بارور ۲	11.83 ^a	12.23 ^{ab}
Phosphate Barvar-2		
پتابارور	11.90 ^a	12.52 ^a
Petabarvar		
فسفر	11.37 ^{ab}	11.71 ^c
Phosphorus		
پتاسیم	10.93 ^b	12.10 ^b
Potassium		

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

* Similar letters indicate nonsignificance based on LSD test at the 5% probability level

شاخص برداشت

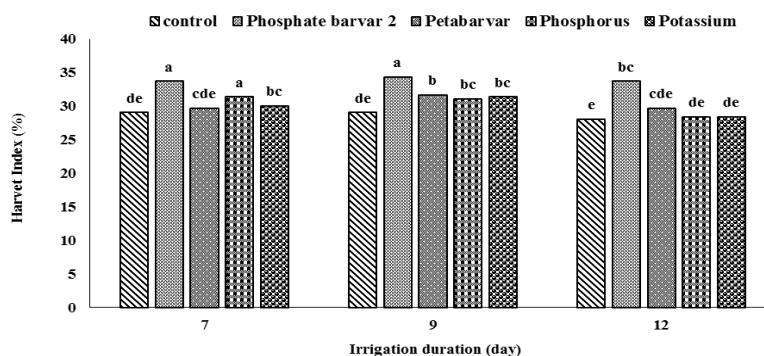
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر میزان شاخص برداشت نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر این صفت ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین میزان شاخص برداشت در دور آبیاری ۷ روز به همراه کود فسفات بارور ۲ (۳۴/۳۳ درصد) مشاهده گردید که با دور آبیاری ۷ روز به همراه فسفر و دور آبیاری ۹ روز به همراه کود فسفات بارور ۲ اختلاف معنی‌داری نداشت. در مقابل، کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط دور آبیاری ۱۲ روز بدون مصرف کود (۲۸ درصد) مشاهده گردید (شکل ۳). کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (Hasanakifard et al., 2018).

(2018). همچنین با توجه به اینکه در مراحل تشکیل دانه‌ها کمبود رطوبت باعث کاهش فتوسنتز برای پُر شدن دانه‌ها می‌شود. در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد (Ghasemabaglou et al., 2021). در مقابل، برخی دیگر از محققان گزارش کردند که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نظیر گونه‌های *Pseudomonas* و *Azotobacter* با افزایش فراهمی عناصر غذایی محلول در ناحیه ریشه و تثبیت عناصر موجود در هوا موجب افزایش سرعت و میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شوند. این فرآیند در نهایت به بهبود عملکرد و افزایش شاخص برداشت منجر می‌گردد (Kapulnik et al., 1985). محققان در مطالعه‌ای پیرامون تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر گیاه سویا تحت سطوح مختلف آبیاری دریافتند که تنش شدید رطوبتی منجر به کاهش شاخص برداشت می‌شود. با این حال، کاربرد همزمان کودهای زیستی *Pseudomonas* و *Azotobacter* توانست شاخص برداشت را به میزان ۲۲/۲۱ درصد افزایش دهد (Ghanbari et al., 2019).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی بیانگر آن است که برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیستی با ۴۵۵۴/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه به همراه کود فسفر و کمترین عملکرد زیستی ۱۱۳۱/۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود (شاهد) به دست آمد (شکل ۴). گیاه در هنگام تنش سطح برگ خود را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و به‌تبع آن سبب کاهش عملکرد زیستی می‌گردد. همچنین، کاهش تولید ماده خشک در گیاه نتیجه کوتاه‌تر شدن طول دوره رویشی و زایشی در اثر تنش رطوبتی و کاهش سطح

برگ در گیاه می‌باشد. از طرفی، خشکی باعث می‌شود تا جذب موادغذایی، انتقال یون‌ها و مواد متابولیکی کاهش یابد و سوخت‌وساز هیدرات‌های کربن و پروتئین زیادتیر شود. این امر به‌دلیل افزایش رقابت بر سر منابع و به‌ویژه آب بین گیاهان در فواصل آبیاری بیشتر بوده است (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023). همچنین کودهای زیستی که دارای چندین نوع باکتری هستند علاوه‌بر توانایی حل فسفات، قادر به تحریک رشد گیاهان و افزایش عملکرد می‌شوند (Rodriguez & Fraga, 1999). نتایج آزمایش دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) در مورد تأثیر کودهای زیستی و تنش خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی از تیمار مصرف کود فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد تخلیه مجاز و کمترین مقدار از شاهد (عدم مصرف کود زیستی) و ۹۰ درصد تخلیه مجاز حاصل گردید که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

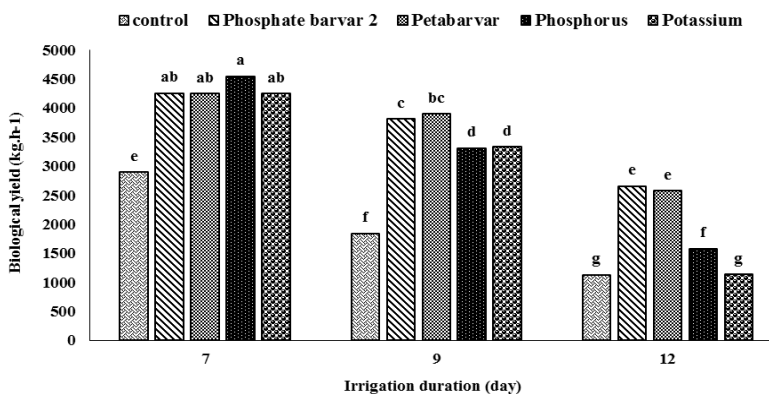


شکل ۳- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 3- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on harvest index of cowpea

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.



شکل ۴- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 4- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on biological yield of cowpea

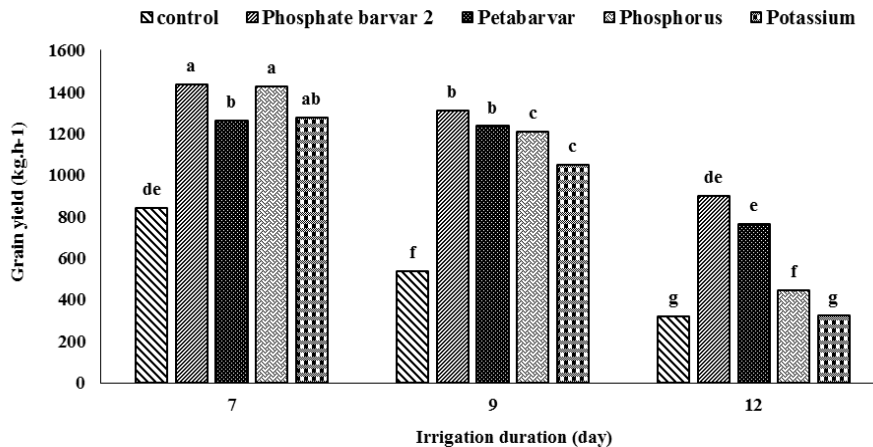
در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر میزان عملکرد دانه نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه (۱۴۳۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۷ روزه به همراه مصرف کود فسفات بارور ۲ و کمترین عملکرد دانه (۳۲۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه (بدون مصرف کود) مشاهده شد (شکل ۵). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به سایر سطوح آبیاری، وجود آب کافی در خاک است که سبب می‌شود گیاه به‌خوبی بتواند آب و عناصر غذایی مورد نیاز خود را جذب کند و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و در نتیجه، فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر و به‌تبع آن رشد و عملکرد بالاتر برخوردار باشد (Shamohammadi et al., 2024). افزون بر این، افزایش شدت تنش خشکی منجر به کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. در شرایط خشکی،

گیاه با کاهش سطح برگ، از دست دادن آب را محدود می‌کند که این امر تولید مواد فتوسنتزی را کاهش داده و در نهایت منجر به افت عملکرد دانه می‌شود. کاهش مواد فتوسنتزی ساخته‌شده، انتقال مواد به دانه را نیز کاهش می‌دهد و در نتیجه عملکرد دانه در بوته کاهش می‌یابد (Setter, 2013). از طرفی می‌توان بیان کرد که فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان است که نقش مهمی در ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی، تسریع رشد و رسیدگی محصول، و افزایش گل‌دهی ایفا می‌کند. از این‌رو، فسفر تأثیر مستقیمی بر عملکرد دانه داشته و تأمین آن به‌میزان کافی و متعادل، برای افزایش عملکرد دانه کاملاً ضروری است (Lafond et al., 2008). بدلزاده و رفیع‌الحسینی (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023) گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) (۵۹۰۷ کیلوگرم در هکتار) از رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر همراه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد. همچنین ماتا و همکاران (Mataa et al., 2019) در تحقیقات خود اعلام نمودند که افزایش فسفر خاک در شرایط تنش آبی باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه در لوبیا می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.



شکل ۵- برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 5- The interaction effect of irrigation duration $\times$ fertilizer source on grain yield of cowpea.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

صفات کاهش یافتند، ولی طول روزنه افزایش یافت. همچنین، منبع کودی نیز بر تعداد غلاف و وزن ۱۰۰ دانه تأثیرگذار بود، به‌گونه‌ای که مصرف کود زیستی پتباورر موجب بهبود این ویژگی‌ها شد. برهم‌کنش دور آبیاری و نوع کود نیز بر تعداد روزنه، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و عملکرد دانه تأثیری معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری ۷ روزه همراه با مصرف کود

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر فواصل آبیاری و منابع کودی مختلف بر ویژگی‌های آناتومی برگ و عملکرد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی بررسی شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که اثر دور آبیاری بر قطر روزنه، طول روزنه، تعداد غلاف و وزن ۱۰۰ دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش فاصله بین نوبت‌های آبیاری، این

سپاسگزاری

نویسندگان صمیمانه از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ایلام، به‌ویژه دانشکده کشاورزی، که راهنمایی و همکاری آن‌ها نقش ارزشمندی در تکمیل این پژوهش داشته است، قدردانی می‌کنند.

فسفات‌بارور ۲ به دست آمد، درحالی که کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود بود. براساس نتایج به‌دست آمده جهت حصول عملکرد مطلوب لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه مورد مطالعه، آبیاری به فواصل ۷ روز و کاربرد کود فسفات بارور ۲ مناسب خواهد بود.

References

- Abo Hegazy, S., Farag, H. M., & Yacoub, I. H. (2022). Assessment of morphological traits and yield potentiality of some Egyptian lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivars under normal and water deficit conditions. *Journal of Plant Production*, 13(4), 109-120.
- Alam, A. M. S., Kabir, G., Ud-Deen, M. M., & Hoque, E. (2011). Effect of water stress on stomatal characters of twenty one near isogenic lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bangladesh. Journal of Agricultural Research*, 36(1), 173-181.
- Amini, R., Dabbagh, M. N. A., & Ghalandarzadeh, E. (2016). Effect of mulch and water stress on some physiological traits, yield components and grain yield of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 687-699. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i4.30532>.
- Badalzadeh, A., & Rafieiohossaini, M. (2023). The effects of irrigation regimes, row spacing and phosphorous fertilizer on yield and yield components of *Nigella sativa* L. *Crop Production Journal*, 16(1), 43-60. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.19778.2479>.
- Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agro-morphological traits diversity in cowpea l and races originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(2), 85-103. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.87704>.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, E., & Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 241, 153001. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153001>.
- Ceritoglu, M., Erman, M., Çiğ, F., Ceritoglu, F., Uçar, Ö., Soysal, S., & El Sabagh, A. (2023). Enhancement of root system architecture, seedling growth, and germination in lentil under salinity stress by seed priming with silicon and salicylic acid. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4481-4491. <https://doi.org/10.15244/pjoes/168941>.
- Chikoye, D., Abaidoo, R., & Fontem, L. A. (2014). Response of weeds and soil microorganisms to imazaquin and pendimethalin in cowpea and soybean. *Crop Protection*, 65, 168-172. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.004>.
- Dahmardeh, M., Mirbahodin, M., & Khammari, E. (2018). The effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) in drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 23-33. (In Persian). <https://sid.ir/paper/399491/en>.
- Darabi, F., Abbasi, N., & Zarei, M. J. (2020). Hormones putrescine and 24-Epi-brassinolide induced tolerance mechanisms to drought stress in basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plant. Ilam University. P. 190. (In Persian).
- Du, X., Zhang, X., Chen, X., Jin, W., Huang, Z., & Kong, L. (2024). Drought stress reduces the photosynthetic source of subtending leaves and the transit sink function of podshells, leading to reduced seed weight in soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1337544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1337544>.
- Dubey, P. K., P&ey, C. S., Khanday, A. S., & Mishra, G. (2012). Effect of integrated nutrient management on nutrient uptake, protein content and yield of fenugreek. *International Journal of Food, Agriculture & Veterinary Sciences*, 2(1), 1-12.
- Ehlers, J. D., & Hall, A. E. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 187-204. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2).
- Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal Pulses Research*, 10(1), 114-125. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836>.

- Ghanbari, M., Mokhtassi, B. A., & Talebi, S. S. P. (2019). The effect of bio-fertilizers on yield component, yield, protein, and oil in soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 52, 1-15. (In Persian). <https://civilica.com/doc/912801>.
- Ghasemabaglou, M., Sedighi, M., Seyed Sharifi, R. & Farzaneh, S. (2021). The effect of biofertilizers on grain yield and yield components of pea (*Pisum sativum* L.) under different levels of irrigation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 169-180. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43011.2583>.
- Hasanakifard, A., Siadat, A., Fathi, Gh., Alami Saeid, Kh., & Daneshvar, M. H. (2018). Effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and yield components of sweet corn. *Journal Plant Ecophysiol*, 35, 1-9. (In Persian with English Abstract).
- Hasanuzzaman, M., Zhou, M., & Shabala, S. (2023). How does stomatal density and residual transpiration contribute to osmotic stress tolerance? *Plants (Basel)*, 21;12(3), 494. <https://doi.org/10.3390/plants12030494>.
- Hassanpour, A., Azizi, Kh., Feyzian, M., & Ismaeili, A. (2020). Study the effect of phosphate barvar-2 biofertilizer, iron nano-chelate and superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum*) under dry farming conditions. *Iranian Journal of Legume Research*, 11(2), 62-75. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.70978>.
- Hossinzadeh, N., & Pirzad, A. (2025). Biochemical response and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* to humic acid and phosphorus sources (Biological and Chemical) under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, 26(4), 805-824. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2024.365576.2856>.
- Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M. B., & Ehyae, H. R. (2013). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). *Journal of Agroecology*, 5(1), 85. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v5i1.21253>.
- Jin, J., Lauricella, D., Armstrong, R., Sale, P., & Tang, C. (2015). Phosphorus application and elevated CO₂ enhance drought tolerance in field pea grown in a phosphorus-deficient vertisol. *Annals of Botany*, 116(6), 975-985. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu209>.
- Kapulnik, Y., Gafny, R., & Okon, Y. (1985). Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and uptake in wheat (*Triticum aestivum* cv. Miriam) in hydroponic systems. *Canadian Journal of Botany*, 63(3), 627-631. <https://doi.org/10.1139/b85-078>.
- Kermizadeh Sureshjani, H., Nezami, A., Kafi, M., & Tadjin, M. R. (2016). Investigation of changes in stomatal conductance, canopy temperature, and leaf water content of pinto bean genotypes under deficit irrigation conditions. *Journal of Agricultural Plant Physiology*, 8(30), 105-120. (In Persian). <https://sid.ir/paper/491951/fa>.
- Kiran, B. V. S., Kalegore, N. K., Suryavanshi, V. P., Ghotmukale, A. K., & Vaidya, P. H. (2020). Integrated nutrient management and relationship studies in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) under rainfed conditions. *IJCS*, 8(4), 1411-1415. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4m.9796>.
- Koide, R. (1985). The effect of VA mycorrhizal infection and phosphorus status on sunflower hydraulic and stomatal properties. *Journal of Experimental Botany*, 36(7), 1087-1098. <https://doi.org/10.1093/jxb/36.7.1087>.
- Kong, H., Palta, J. A., Siddique, K. H. M., Stefanova, K., Xiong, Y. C., & Turner, N. C. (2015). Photosynthesis is reduced, and seeds fail to set and fill at similar soil water contents in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) subjected to terminal drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(4), 241-252. <https://doi.org/10.1111/jac.12102>.
- Kroner, N., Kotlarski, S., Fischer, E., Lüthi, D., Zubler, E., & Schär, C. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: Theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics*, 48, 3425-3440. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3276-3>.
- Lafond, G. P., Irvine, B., Johnston, A. M., May, W. E., Mc&rew, D. W., Shirliffe, S. J., & Stevenson, F. C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 485-500. <https://doi.org/10.4141/CJPS07112>.
- Mataa, M., Mph&e, K., & Munyinda, K. (2019). Interactive effects of phosphorus and water stress on plant development & yield resilience in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 14(22), 949-962. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14069>.
- Mazengo, K. D., & Tryphone, G. M. (2019). Response of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to drought for growth and yield characteristics in the southern highlands of Tanzania. *International*

- Journal of Environment. Agriculture and Biotechnology*, 4(3), 643-651. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab/4.3.8>.
- Menbari, S., Alizadeh Salte, S., Bol&nazar, S. A., & Sarikhani, M. R. (2018). Effect of potabarvar and Sinorhizobium on morphological characteristics and absorption of some nutrients in fenugreek. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(2), 151-165. (In Persian with English Abstract).
- Menssen, M., Linde, M., Omondi, E. O., Abukutsa-Onyango, M., Dinssa, F. F., & Winkelmann, T. (2017). Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entries from East Africa. *Scientia Horticulturae*, 226, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.003>.
- Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., & Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008>.
- Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohseni Fard, E. (2018). The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Crops Improvement*, 20(3), 595-608. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.249057.1913>.
- Munjonji, L., Ayisi, K. K., Boeckx, P., & Haesaert, G. (2018). Stomatal behavior of cowpea genotypes grown under varying moisture levels. *Sustainability*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.3390/su10010012>.
- Omidi, F., & Sepehri, A. (2014). Effect of sodium nitroprusside on growth, yield & components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 243-254. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2014.51903>.
- Petrík, P., Petek, A., Konôpková, A., Bosela, M., Fleischer, P., Frýdl, J., & Kurjak, D. (2020). Stomatal and leaf morphology response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances transferred to contrasting climatic conditions. *Forests*, 11(12), 1359. <https://doi.org/10.3390/f11121359>.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 1, 24-40. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch3>.
- Polania, J. A., Salazar-Chavarría, V., Gonzalez-Lemes, I., Acosta-Maspons, A., Chater, C. C., & Covarrubias, A. A. (2022). Contrasting *Phaseolus* crop water use patterns and stomatal dynamics in response to terminal drought. *Frontiers in Plant Science*, 13, 894657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.894657>
- Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaichi, M., Rahimi, A., & Tavakoli, A. (2010). Mulching the soil fertility effect of different treatments on some morphological characteristics and mucilage *Plantago psyllium* L. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(2), 193-213. (In Persian with English summary). <https://www.magiran.com/p799272>.
- Raisi Bidkani, S., & Zarea, M. J. (2025). Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis and yield components, of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1), 95-115. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100>
- Rashidi, Z., Bannayan Aval, M., Azizi, K., & Nassiri Mahallati, M. (2022). Effect of drought stress on yield and yield components and radiation use efficiency of three types of red, white and pinto beans. *Journal of Plant Production Research*, 29(3), 143-164. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19586.2884>.
- Rizvi, R., Mahmood, I., & Tiyaqi, S. A. (2013). Potential role of organic matters and phosphate solubilizing bacteria (PSB) on the growth and productivity of fenugreek. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 15, 639-647. (In Persian with English Abstract). <http://jast.modares.ac.ir/article-23-7608-en.html>.
- Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advance*, 17, 319-339. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2).
- Rui, M., Chen, R., Jing, Y., Wu, F., Chen, Z. H., Tissue, D., Jiang, H., & Wang, Y. (2024). Guard cell and subsidiary cell sizes are key determinants for stomatal kinetics and drought adaptation in cereal crops. *New Phytologist*, 242(6), 2479-2494. <https://doi.org/10.1111/nph.19757>.
- Saber, N. E., El Hosary, E. G., Mabrouk, M. E., Ghoraba, W. F., & Hassan, A. M. (2021). Influence of seed-nanoprimering treatment with Zinc oxide on growth, nutrient status, and gene expression of enzymatic antioxidants in wheat plant. *Egypt Journal Experimental Biology*, 17(1), 77-90. <https://doi.org/10.5455/egyjebb.20210705083704>.
- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., & Restrepo-Diaz, H. (2015). Effect of kaolin application on growth, water use efficiency, and leaf epidermis characteristics of *Physallis peruviana*

- seedlings under two irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17(6), 1585-1596. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.6.7.8>.
- Setter, T. L. (2013). *Transport / Harvest Index: Photosynthetic Partitioning in Stressed Plants*. p. 17-36. Stress responses in plant: Adaptation & accumulation mechanism. Wiley-Liss, Inc. New York. 14853 p.
- Seyed Sharif, 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 with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292605.2295>.
- Shakori, S., & Sharifi, P. (2016). Effect of phosphate biofertilizer and chemical phosphorus on growth and yield of *Vicia faba* L. *Electronic Journal of Biology*, 1, 47-52.
- Shamohammadi, N., Zare, M., Ordukhani, K., Aref, F., & Sharafzadeh, S. (2024). Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 23-36. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352991.654966>.
- Tosens, T., Niinemets, U., Vislap, V., Eichelmann, H., & Castro, D. P. (2012). Developmental changes in mesophyll diffusion conductance and photosynthetic capacity under different light and water availabilities in *Populus tremula*: How structure constrains function. *Journal of Plant, Cell and Environment*, 35(5), 839-856. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02457.x>
- Welbaum, G. E., Sturz, A. V., Dong, Z., & Nowak, J. (2004). Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23, 175-193. <https://doi.org/10.1080/07352680490433295>
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., & Gong, W. (2022). Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. *Forests*, 13(2), 324. <https://doi.org/10.3390/f13020324>.
- Yao, S., Jiang, C., Huang, Z., Torres-Jerez, I., Chang, J., Zhang, H., Udvardi, M., Liu, R., & Verdier, J. (2016). The *Vigna unguiculata* Gene Expression Atlas (Vu GEA) from de novo assembly and quantification of RNA-seq data provides insights into seed maturation mechanisms. *The Plant Journal*, 88(2), 318-327. <https://doi.org/10.1111/tpj.13279>.
- Zahara, M., Suwarniati, S., Aini, Q., & Muslim, M. (2021). The effect of organic fertilizers on the leaf morphology and stomatal density of *Pogostemon cablin* Benth. *Journal Natural*, 21(2), 52-56. <https://doi.org/10.24815/JN.V21I2.20989>.
- Zholobova, O. O., Mogilevskaya, I. V., & Melnik, S. V. (2024). Screening smoke tree (*Cotinus coggygria* Scop.) on osmotic stress using polyethylene glycol 6000 *in vitro*. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(1), 36-42. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-781>.