

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

Betool Mohammadkarimi¹, Yaser Alizadeh^{2*}, Rahim Naseri², and Fereshteh Darabi³

1- M.Sc. student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran (Email: y.alizadeh@ilam.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3- Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Introduction: Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is one of the major sources of plant protein in arid and semi-arid regions, and its production is highly constrained by drought stress. This stress reduces chlorophyll synthesis, decreases photosynthetic efficiency, and ultimately lowers yield. The use of phosphate-solubilizing biofertilizers in combination with chemical fertilizers can alleviate drought effects by improving root characteristics and enhancing plant defense mechanisms..

Materials and methods: The experiment was conducted during the 2023–2024 growing season in Ivan County, Ilam Province, using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments included three irrigation intervals (7, 9, and 12 days) as the main plots and five fertilizer treatments (control, Barvar-2 phosphate biofertilizer, Barvar potassium biofertilizer, phosphorus fertilizer, and potassium fertilizer) as the subplots. Traits measured at physiological maturity included stomatal diameter, stomatal density, stomatal length, number of grains per pod and per plant, number of pods per plant, 100-seed weight, biological yield, grain yield, and harvest index. Data were analyzed using SAS software version 9.4, and mean comparisons were performed with the LSD test at a 5% probability level.

Results and discussion: Results indicated that drought stress caused by longer irrigation intervals (9–12 days) imposed severe physiological constraints on cowpea, manifested as a 40% reduction in stomatal conductance, a 28% reduction in pod formation, and a 32% decline in final grain yield compared with the control (7-day irrigation). Barvar-2 phosphate biofertilizer played a key role in mitigating these effects and was able to maintain 90% of yield potential under mild stress (9-day irrigation). This effect was achieved through three synergistic mechanisms: (1) a 45% increase in phosphorus uptake via microbial solubilization, (2) a 28% increase in root biomass leading to improved water and nutrient absorption, and (3) maintenance of 80% photosynthetic activity during peak stress periods. The combined treatment of 7-day irrigation with Barvar-2 biofertilizer produced the highest yield (1434.95 kg ha⁻¹), which was 22% higher than conventional fertilization and showed greater water-use efficiency. Interestingly, the 9-day irrigation regime combined with biofertilizer provided a dual advantage of 30% irrigation water saving while retaining 90% of the maximum yield.

Conclusions: The present study demonstrated that appropriate nutrient management using Barvar-2 phosphate biofertilizer can serve as an effective strategy to enhance cowpea resilience

under water-limited conditions. The findings revealed that integrating irrigation management with biofertilization not only compensates for yield losses caused by drought but also improves water- and nutrient-use efficiency, thereby creating a sustainable basis for cowpea production in arid regions. Importantly, this approach allows higher productivity without additional water consumption, reducing production risks for smallholder farmers. Therefore, the application of biofertilizers alongside optimized irrigation can be recommended as a practical and climate-resilient model for developing legume-based cropping systems under limited water resources.

Keywords: Barvar-2 phosphate, Biological yield, Harvest index, Irrigation interval, Stomata

پیش از انتشار

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

بتول محمد کریمی^۱، یاسر علیزاده^{۲*}، رحیم ناصری^۲ و فرشته دارابی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

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

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۴- دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده

مقدمه: لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک است که تولید آن به شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد. این تنش موجب کاهش سنتز کلروفیل، افت کارایی فتوسنتزی و در نهایت کاهش عملکرد می‌شود. استفاده از کودهای زیستی حل‌کننده فسفات در ترکیب با کودهای شیمیایی می‌تواند با بهبود ویژگی‌های ریشه و سازوکارهای دفاعی گیاه، اثرات خشکی را تعدیل کند.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در فصل زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در شهرستان ایوان استان ایلام با استفاده از آزمایش کرت‌های خرد شده 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. صفات مورد اندازه‌گیری در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک شامل قطر روزه، تعداد روزه، طول روزه، تعداد دانه در گیاه و غلاف، تعداد غلاف در گیاه، وزن صد دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث:

نتایج 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 ۴۰ درصدی هدایت روزه‌ای، ۲۸ درصد کاهش در تعداد غلاف‌های تشکیل شده و افت ۳۲ درصدی عملکرد نهایی دانه در مقایسه با تیمار شاهد (آبیاری در فواصل ۷ روزه) بروز یافت.

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. این عملکرد از طریق سه سازوکار هم افزا: (۱) افزایش ۴۵ درصد در قابلیت جذب فسفر از طریق حل‌کنندگی میکروبی، (۲) افزایش ۲۸ درصد زیست توده ریشه‌ای که منجر به بهبود جذب آب و مواد مغذی شد و (۳) حفظ ۸۰ درصد فعالیت فتوسنتزی در دوره‌های اوج تنش حاصل شد. تیمار ترکیبی آبیاری ۷ روزه همراه با بارور-۲ به بیشترین عملکرد (۱۴۳۴/۹۵ کیلوگرم در هکتار) دست یافت که ۲۲ درصد بیشتر از کوددهی مرسوم بود و کارایی مصرف آب بالاتری را نشان داد. جالب توجه اینکه، رژیم آبیاری ۹ روزه همراه با کود زیستی دارای مزیت دوگانه صرفه‌جویی ۳۰ درصد آب آبیاری همراه با حفظ ۹۰ درصد حداکثر عملکرد بود.

نتیجه‌گیری کلی: بررسی حاضر نشان داد که مدیریت تغذیه‌ای مناسب با استفاده از کود زیستی بارور-۲ فسفات می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر در ارتقای تاب‌آوری لوبیا چشم‌بلبلی در برابر محدودیت‌های آبی عمل کند. یافته‌ها آشکار ساختند که تلفیق راهبردی آبیاری و تغذیه زیستی نه تنها کاهش عملکرد ناشی از کم‌آبی را جبران می‌کند، بلکه با بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی، بستر مناسبی برای تولید پایدار این محصول در مناطق خشک فراهم می‌آورد. اهمیت این رویکرد در آن است که بدون نیاز به افزایش مصرف آب، امکان افزایش بهره‌وری و کاهش ریسک تولید برای کشاورزان خرده‌مالک فراهم می‌شود. از این‌رو، کاربرد کود زیستی در کنار مدیریت بهینه آبیاری می‌تواند به‌عنوان الگویی عملی و سازگار با تغییر اقلیم برای توسعه سامانه‌های کشت حبوبات در شرایط محدودیت منابع آبی توصیه گردد.

کلمات کلیدی: تنش خشکی، حبوبات، خصوصیات روزه ای، کشاورزی پایدار، مدیریت تلفیقی کود

مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) از خانواده بقولات، یکی از محصولات زراعی مهم جهان است که توانایی رشد در شرایط متنوع آب و هوایی 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، اسید فولیک، 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 در رشد و تولید محصول حتی در محیط‌های استرس‌زا مانند دماهای بالا، خشکسالی و حاصلخیزی پایین خاک را دارد؛ به همین دلیل این گیاه می‌تواند به‌عنوان یک محصول جایگزین ارزشمند در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی شود (Ehlers & Hall, 1997; Chikoye et al., 2014). بسته شدن روزنه‌ها از 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، بر اساس مطالعات

انجام شده، تنش خشکی موجب کاهش ۸۰ درصدی عملکرد دانه، ۶۰ درصدی تعداد غلاف در بوته، ۲۶ درصدی تعداد دانه در غلاف و ۱۳ درصدی وزن صد 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 استراتژی‌های مدیریت یکپارچه مواد مغذی (INM)، به‌ویژه در مناطق با منابع محدود، می‌تواند به افزایش تولید و پایداری کشاورزی کمک کند و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه، نظیر تولید بیوماس، 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 روزنه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفاته تیمار شدند حتی در شرایط خشکی هدایت روزنه‌ای بهتری داشتند و مورفولوژی برگ آن‌ها بهبود یافت (Zahara, 2021; Petrik, 2020). همچنین کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت روزنه‌ای نخود فرنگی تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد روزنه‌ها 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 اکوسیستم‌های خشک ایران، وجود ندارد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر کودهای زیستی و شیمیایی تحت سطوح مختلف آبیاری بر صفات روزنه و مؤلفه‌های عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی طراحی شد تا رویکردی نوین برای مدیریت پایدار این محصول ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان ایوان، ۳۵ کیلومتری شمال‌غربی 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 به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایشی شامل آبیاری درسه سطح (۷، ۹ و ۱۲ روز) به عنوان عامل اصلی و پنج سطح کود (شاهد، فسفات بارور-۲، پتا بارور، کود فسفر و کود پتاسیم) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش و همچنین اطلاعات هواشناسی منطقه در دوره زمانی انجام آزمایش، به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

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

اسیدیته pH	شوری (دیسی زیمنس بر متر) E.C (dS m ⁻¹)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن (میلی گرم کیلوگرم خاک) Available N (ppm)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم خاک) Available K (ppm)	فسفر (میلی گرم کیلوگرم خاک) Available P (ppm)	بافت خاک Soil texture
7.06	0.15	1.2	0.125	370.3	8.30	Clay loam

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 Minimum temperature (°C)	بیشینه دما Maximum temperature (°C)	میانگین دما Average temperature (°C)	رطوبت نسبی Relative humidity(%)	مجموع بارندگی 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

آزمایش در قالب جوی و پشته (کاشت بر روی پشته) با ابعاد $4/5 \times 1/5$ متر که شامل پنج ردیف به طول ۴ متر و عرض ۵۵ سانتی‌متر اجرا شد. همچنین فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که مساحت هر کرت ۱۱ متر مربع محاسبه گردید. عملیات تهیه زمین به صورت دو دیسک عمود بر هم، ماله و ایجاد جوی و پشته بود. در این آزمایش از بذور لوبیاچشم‌بلیبی 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 به روش خشکه‌کار و به‌صورت دستی در عمق ۳ تا ۴ سانتی‌متر در تاریخ ۷ خرداد ۱۴۰۱ انجام شد. پس از سبز شدن برای حصول تراکم مطلوب، تنک بوته‌ها انجام شد. آبیاری به صورت 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 به صورت دستی انجام شد.

قبل از کاشت، بذرها با کودهای زیستی (فسفات بارور-۲ حاوی 10^8 باکتری حل‌کننده فسفات *Pantoea agglomerans* سویه P5 و *Pseudomonas putida* سویه P13 و پتابارور، حاوی دو باکتری حل‌کننده پتاسیم شامل سودوموناس گره‌ای و سودوموناس ونکووری تهیه شده از شرکت زیست فناوری سبز به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بذرمال شدند و بلافاصله کشت شدند (Hossinzadeh and Pirzad, 2025). همچنین کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین آزمایش داده شدند.

پیش از تلقیح، بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۰.۵٪ ضدعفونی سطحی شده، سپس با آب مقطر شستشو داده شدند و با استفاده از کاغذ صافی استریل آب سطحی آن‌ها گرفته شد (Ceritoglu et al., 2023). به‌منظور بهبود فرآیند پیش‌تیمار، از صمغ عربی برای پوشش‌دهی استفاده شد (Seyed Sharif & Seyed Sharifi, 2020). پس از آن، بذرها به مدت ۴ 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 پر 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 ($40X \times 10X$) (مدل Olympus-cy، ساخت 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 متر مربع استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری وزن صد 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 سپس 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 بر اساس 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.

نتایج و بحث

قطر روزنه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت قطر روزنه نشان داد که تنها اثرات اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). میزان قطر روزنه 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 درصدی کاهش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی، تولید آبسزیک اسید (ABA) در ریشه‌ها افزایش یافته و با انتقال به برگ‌ها موجب آغاز واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود که در نهایت قطر روزنه 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 کارایی مصرف آب را در شرایط کم‌آبی بهبود بخشد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). همچنین در شرایط کمبود آب، بسته شدن روزنه‌ها، ورود دی‌اکسید کربن به برگ را مختل کرده و این امر باعث کاهش غلظت دی‌اکسید کربن 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 قطر روزنه لوبیا (Polania et al., 2022) و عدس (Abo Hegazy et al., 2022) با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا کرد. این تغییرات مورفولوژیکی روزنه‌ها ممکن است توانایی گیاه برای سازگاری با تنش خشکی را افزایش دهد.

طول روزنه

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری بر طول روزنه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). طول روزنه با افزایش شدت تنش افزایش یافت و بالاترین مقدار آن با میانگین ۲۷/۴۰ میکرومتر به دور آبیاری ۱۲ روز اختصاص داشت که در مقایسه با دور آبیاری ۷ روز (با میانگین ۲۴/۶۶ میکرومتر) ۱۰ درصدی افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش آبی، گیاهان معمولاً با کاهش طول و تراکم روزنه به‌عنوان یک راهبرد برای حفظ آب واکنش نشان می‌دهند (Alam, 2011; Zholobova, 2023). همچنین افزایش طول روزنه در شرایط خشکی می‌تواند یک پاسخ سازشی گیاه باشد تا تعادل بین بازدهی فتوسنتزی و کاهش اتلاف آب حفظ شود. در شرایط کم‌آبی، روزنه‌ها برای محدود کردن تبخیر و از دست دادن آب تا حدی بسته می‌شوند، اما طول بیشتر روزنه می‌تواند افزایش کنترل روی انتقال گازها و تنظیم هدایت روزنه‌ای را ممکن کند. به عبارت دیگر، طول بیشتر روزنه ممکن است به گیاه اجازه دهد 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 روزنه لوبیاشد (Polania et al., 2022).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد تحت دور آبیاری و منبع کودی لوبیا چشم بلبلی

Table 3. Analysis of variance (mean square) 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 صد 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**
خطا 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**
خطا اصلی Main Error	24	0.84	5.92	1.11	0.43	1.62	0.09	1.33	46845.17	4451.20
ضریب تغییرات C V (%)		6.01	9.32	8.69	5.95	9.79	2.54	3.77	7.12	7.07

^{ns}, **, * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد
^{ns}, **, * non significant and significant at 1% & 5% level, respectively

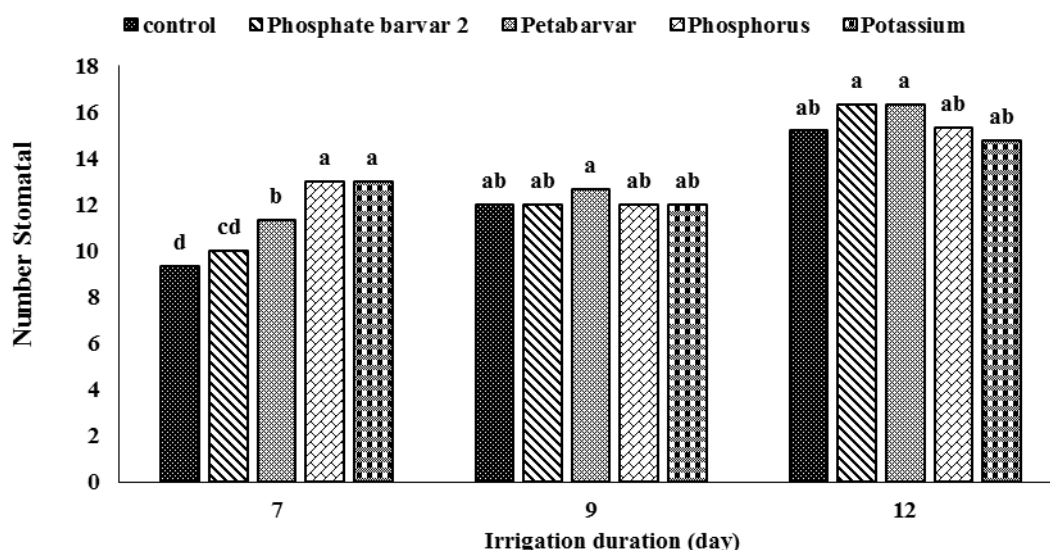
جدول ۴. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس برش دهی اثر سطوح مختلف منابع کودی برای هر سطح از دور آبیاری
Table 4. Mean squares from the analysis of variance (ANOVA) of the simple effects of different fertilizer sources at each irrigation interval.

تعداد روزنه Stomatal Density	تعداد دانه در غلاف Seeds per Pod	شاخص برداشت Harvest Index	عملکرد زیستی Biological Yield	عملکرد دانه Grain Yield	درجه آزادی (df)	دور آبیاری Irrigation duration
۷/۶**	۱۹/۶۶**	۱۰/۲۳**	۱۲۷۳۲۰۶**	۱۷۳۴۳۲**	۴	۷ روز
۳/۰۶ ^{ns}	۲۳/۹**	۱۰/۹۳**	۲۰۵۰۴۳۴**	۲۷۲۹۲۶**	۴	۹ روز
۲/۷۳ ^{ns}	۱۲/۴**	۱۶/۷۳**	۱۷۰۹۷۲۵**	۲۱۱۶۴۴**	۴	۱۲ روز

تعداد روزنه

برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد روزنه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی دار بود (جدول ۲). نتایج برش دهی 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 معنی داری بر تعداد روزنه برگ داشت اما در سایر سطوح دور آبیاری تفاوت معنی داری ایجاد نشد (جدول ۴). بیشترین تعداد روزنه (با میانگین ۱۶/۳۳) در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود فسفات بارور ۲ به دست آمد که اختلاف معنی داری با تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود پتاپارور (با میانگین ۱۵/۳۳) نداشت. در

مقابل، کمترین تعداد روزنه (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 CO_2 و ادامه فتوسنتز، ممکن است تراکم روزنه‌ها را افزایش دهند تا میزان ورود دی‌اکسید کربن به برگ‌ها حفظ شود، حتی زمانی که باز شدن روزنه‌ها محدود شده است (Hasanuzzaman et al., 2023). تحقیقات نشان می‌دهند که تنش آبی باعث افزایش تراکم روزنه لوبیا (Polania et al., 2022) و لوبیا قرمز (Amini et al., 2016) می‌شود. همچنین حضور قارچ‌های میکوریزی که معمولاً همراه با مصرف فسفر هستند، می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های روزنه‌ای 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 روزنه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات Petrik (2020) و Zahara (2021) نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفاته تیمار شدند، حتی در شرایط خشکی، هدایت روزنه‌ای بهتری داشتند و مورفولوژی برگ آن‌ها بهبود یافت. همچنین مطالعات نشان داده‌اند کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت روزنه‌ای نخود فرنگی تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد روزنه‌ها است (Jin et al., 2015). این نتایج نشان می‌دهند که زیست‌کودهای فسفاته می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر تنش آبی افزایش داده و عملکرد روزنه‌ها و سلامت برگ را حفظ کنند.



شکل ۱. برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد روزنه

Figure 1. The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on Number Stomatal.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس 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

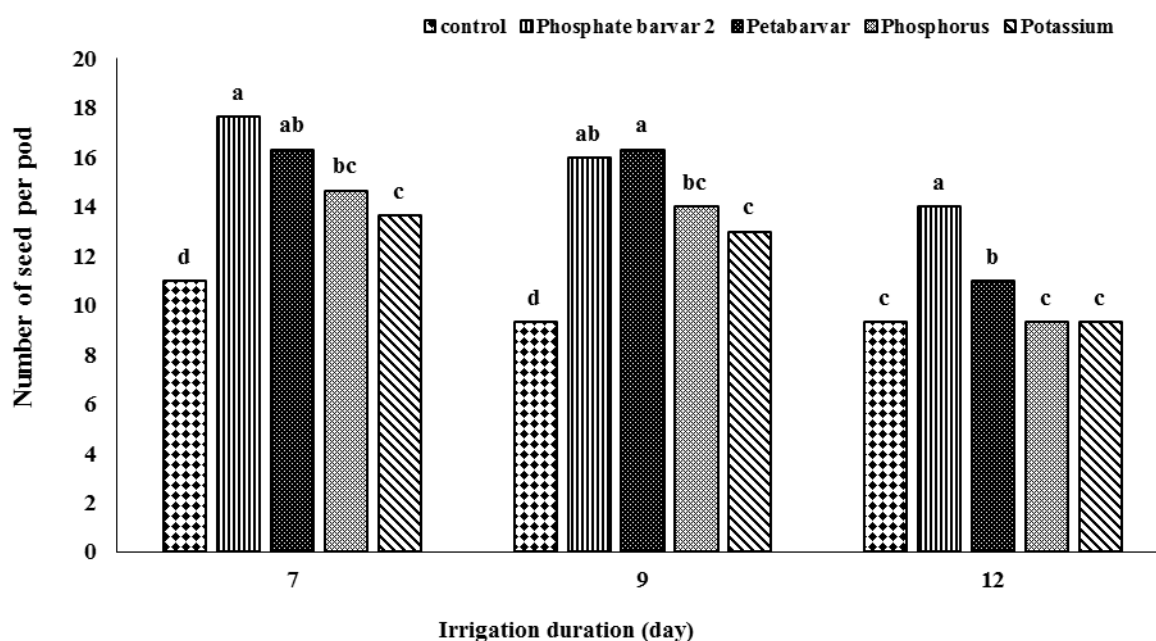
تجزیه واریانس صفات نشان داد اثر آبیاری و منبع کودی از لحاظ تعداد غلاف اختلاف معنای داری ($P < 0.01$) وجود دارد (جدول ۳). با افزایش فاصله بین آبیاری‌ها تا ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها افزایش و بعد از ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها کاهش یافت. بطوریکه بیشترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۱/۸۱) در دور آبیاری ۹ روزه و کمترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۰/۱۶) در دور آبیاری ۱۲ روز بدست 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، به دلیل کاهش فعالیت دانه‌های گرده و پژمردگی کلالة، 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 پتابرور 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. به دنبال 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 پتابرور و باکتری سینوریزوبیوم تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شنبلیله داشتند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستاست.

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم بلبلی 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، در حالی که 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 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 عملکردی مانند تعداد غلاف در ماش را بهبود بخشد (Shakori & Sharifi, 2016). همچنین کاهش فتوسنتز در شرایط تنش آبی موجب کاهش تعداد دانه‌ها و اختلال در فرایند رشد آن‌ها می‌شود، به‌ویژه زمانی که رطوبت خاک به طور 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). قاسم‌گلو و همکاران (Ghasemabaglo et al., 2021) گزارش نمودند 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* L.) می‌شود. همچنین دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) بیان نمودند مصرف کود فسفات بارور-۲ در سطح آبیاری ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد دانه در غلاف لوبیاچشم بلبلی می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۲. برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف

Figure 2. The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on Number of seeds per pod.
در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس 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.

وزن صدانه

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد وزن صددانه لوبیا چشم بلبلی تحت تاثیر 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 صد دانه به طور 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 صد دانه (۱۱/۹۰ گرم) در کود پتابرور به‌دست آمد، در حالی که کمترین وزن صد دانه (۹/۵۴ گرم) در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). علت این امر ممکن است به دلیل اثرات مفید کود زیستی در افزایش رشد ریشه، عرضه مناسب عناصر غذایی، افزایش سطح برگ و بهبود فتوسنتز، تسهیم بهتر مواد در دانه‌ها باشد (Pouryousef et al., 2010). جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) نیز در پژوهشی بر روی گیاه کنگد مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها را در مرحله پس از گلدهی افزود و سرانجام وزن دانه افزایش یافت. دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) تاثیر کودهای زیستی را بر عملکرد لوبیا چشم بلبلی مورد بررسی قرار داده و به این نتایج رسیده بیشترین وزن صد دانه از تیمار کود زیستی فسفات بارور ۲ و کمترین وزن صد دانه در شرایط عدم استفاده از کود به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

جدول ۵ اثر دور آبیاری بر تعداد روزنه و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی

Table ۵. Effect of irrigation duration on stomata number and yield components of cowpea

دور آبیاری (روز)	فطر روزنه	طول روزنه	تعداد غلاف در بوته	وزن صددانه (گرم در مترمربع)
Irrigation duration (day)	Stomatal Diameter	Stomatal Length	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 چشم بلبلی

Table ۶. Effect of fertilizer source on stomata number and yield components of cowpea

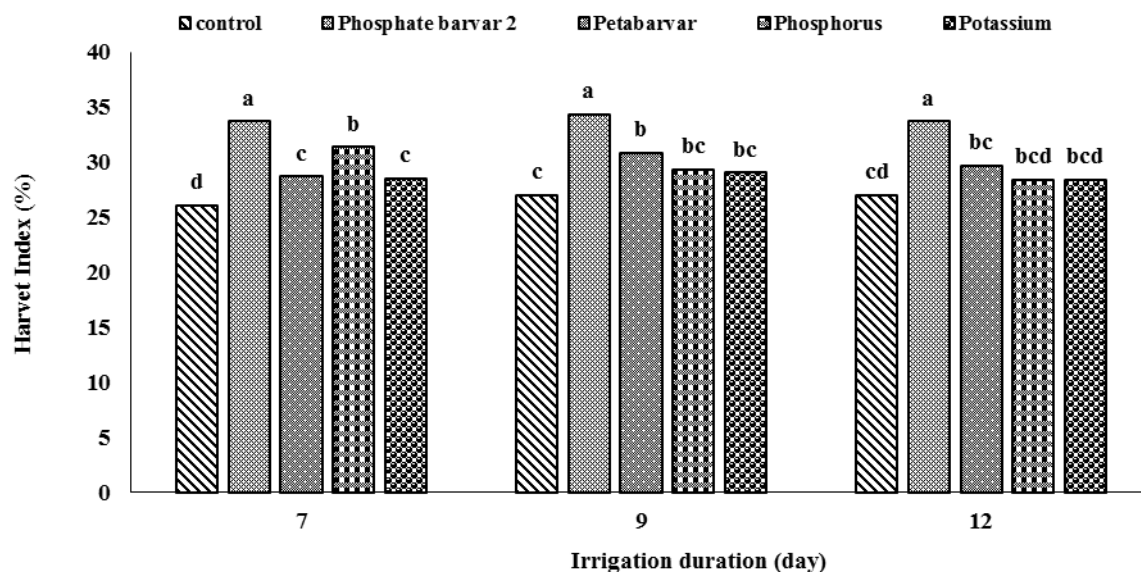
منبع کودی	تعداد غلاف در بوته	وزن صددانه (گرم در مترمربع)
source interaction	Number of Pods per Plant	100-Seed Weight (g/m ²)
شاهد Control	9.54 ^c	11.06 ^d
Phosphate Barvar-2 فسفات بارور ۲	11.83 ^a	12.23 ^{ab}
Petabarvar پتابرور	11.90 ^a	12.52 ^a
Phosphorus فسفر	11.37 ^{ab}	11.71 ^c
Potassium پتاسیم	10.93 ^b	12.10 ^b

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 شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی تحت تاثیر برهمکنش دورآبیاری × 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 معنی داری 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). همچنین با توجه به اینکه در مراحل تشکیل دانه‌ها کمبود رطوبت باعث کاهش فتوسنتز برای پر شدن دانه‌ها می‌شود. در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد (Ghasemabaghloou et al., 2021). در مقابل، برخی دیگر از محققان گزارش کردند که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نظیر گونه‌های سودوموناس و ازتوباکتر 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 فرایند 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 ازتوباکتر و سودوموناس توانست شاخص برداشت را به میزان ۲۲/۲۱ درصد افزایش دهد (Ghanbari et al., 2019).



شکل ۳. برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر شاخص برداشت

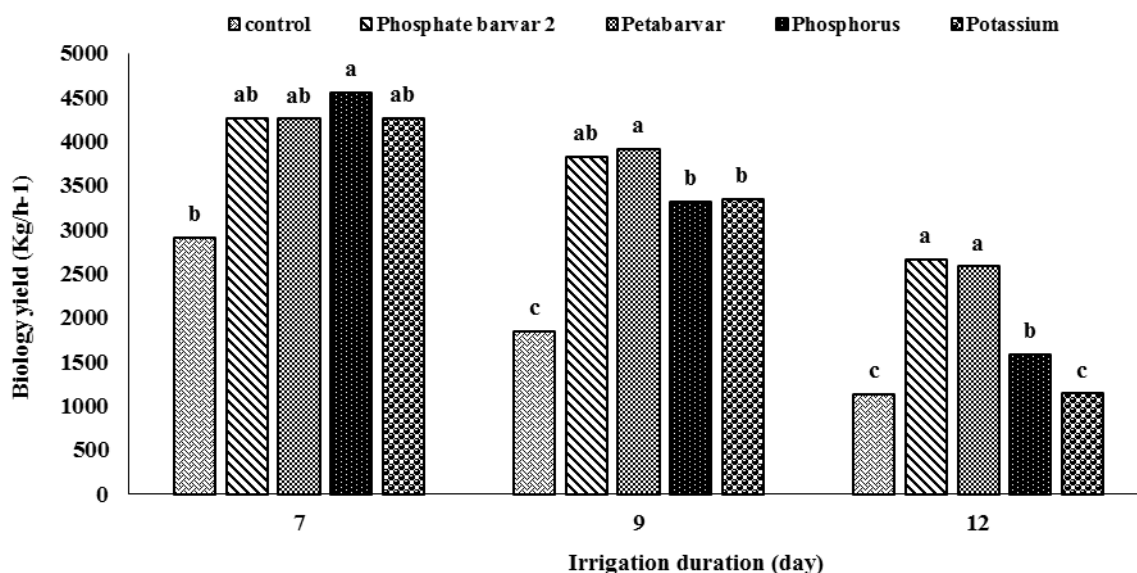
Figure 3. The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on Harvest index

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس 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 زیستی

نتایج تجزیه واریانس عملکرد زیستی لوبیاچشم بلبی بیانگر آن است که برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهمکنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی نشان داد که در تمامی سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیستی با ۴۵۵۴/۶۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه به همراه کود فسفر و کمترین عملکرد زیستی ۱۱۳۱/۸۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود (شاهد) بود (شکل ۴). گیاه در هنگام تنش سطح برگ خود را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و به تبع آن سبب کاهش عملکرد زیستی می‌گردد. همچنین، کاهش تولید ماده خشک در گیاه را 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 مواد غذایی، انتقال یون‌ها و مواد متابولیکی کاهش یابد و سوخت و ساز هیدرات‌های کربن و پروتئین زیادتر شود. این امر به دلیل افزایش رقابت بر سر منابع و به ویژه آب بین گیاهان در فواصل آبیاری بیشتر بوده است (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023). همچنین کودهای زیستی که دارای چندین نوع باکتری هستند علاوه بر توانایی حل فسفات قادر به تحریک رشد گیاهان و افزایش عملکرد می‌شوند (Rodriguez et al., 1999). نتایج آزمایش دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) در مورد تاثیر کودهای

زیستی و تنش خشکی در لوبیا چشم بلبلی نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیکی از تیمار مصرف کود فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد تخلیه مجاز کمترین از تیمار شاهد (عدم مصرف کود زیستی) و ۹۰ درصد تخلیه مجاز حاصل گردید که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.



شکل ۴. برهمکنش دور آبیاری × منبع کودی بر عملکرد زیستی

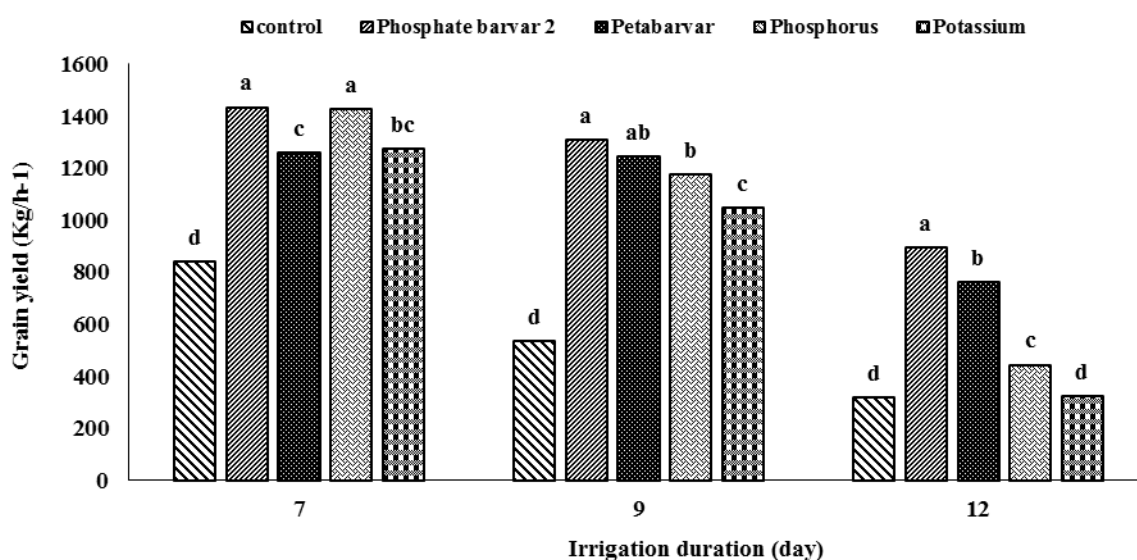
Figure 4. The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on Biological yield

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس 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 × 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 همه‌ی سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه (۱۴۳۴/۹۵ 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 شاهد (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 به خوبی بتواند آب و عناصر غذایی مورد نیاز خود را جذب کند و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و در نتیجه، فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر و به تبع 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 این رو، فسفر تأثیر مستقیمی بر عملکرد دانه داشته و تأمین آن به میزان کافی و متعادل، برای افزایش عملکرد دانه کاملاً ضروری است (Lafond et al., 2008). بدلزاده و رفیع‌الحسینی (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023) گزارش نمودند بیشترین عملکرد دانه سیاهدانه (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 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 × منبع کودی بر عملکرد دانه

Figure 5. The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on Grain yield.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس 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.

نتیجه گیری کلی

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

افزایش یافت. همچنین، منبع کودی نیز بر تعداد غلاف و وزن صد دانه تأثیرگذار بود، به گونه‌ای که مصرف کود زیستی پتاباورر 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 فسفات‌بارور ۲ به‌دست آمد، در حالی که کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده جهت حصول عملکرد مطلوب لوبیاچشم‌بلبلی در منطقه مورد مطالعه، آبیاری به فواصل ۷ روز و کاربرد کود فسفات بارور ۲ مناسب خواهد بود.

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.

منابع

- 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.
<https://doi.org/10.21608/jpp.2022.133012.1106>.
- 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.
<http://dx.doi.org/10.3329/bjar.v36i1.9241>.
- 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. & Rafieiolhossaini, 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. <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&aces 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>.
- Barzegari, M., Emam, Y., & Zamani, A. (2020). Yield components & grain yield responses of four wheat cultivars to growth retardant cycocel under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(3), 139-156. (In Persian with English Abstract).
<http://jcnp.iut.ac.ir/article-1-2960-fa.html>.

- 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*, 153001. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153001>.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, V., & 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., Çığ, 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. *Pol J Environ Stud*. 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. <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.
- Darabi, M. , Dashti, F. , Gholami, M. , Mosadeghi, M. and Mirfatah, S. M. (2011). Effects of Drought Stress on Yield and some Morphological and Physiological Characteristics of Tareh Irani (*Allium ampeloprasum* Tareh Group). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(1), 95-103. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008482.1390.42.1.9.0>.
- Driesen, E., De Proft, M., & Saeys, W. (2023). Drought stress triggers alterations of adaxial and abaxial stomatal development in basil leaves increasing water-use efficiency. *Horticulture Research*, 10(6), uhad075. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad075>.
- 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., Kh&ay, 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. <http://www.cibtech.org/jfav.htm>.

- 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. and 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. <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, 52, 1-15. (In Persian). <https://civilica.com/doc/912801>.
- Ghasembaglou, 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>.
- Ghassemi-Golezani, K., Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., & Mohammadi, A. (2010). Response of pinto bean cultivars to water deficit at reproductive stages. Journal of Food, Agriculture and Environment, 8(2), 801-804.
- Goufo, P., Moutinho-Pereira, J. M., Jorge, T. F., Correia, C. M., Oliveira, M. R., Rosa, E. A., António, C., & Trindade, H. (2017). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) metabolomics: osmoprotection as a physiological strategy for drought stress resistance and improved yield. Frontiers in Plant Science, 8, 586. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00586>.
- 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. DOI: <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 with English Summary).
- 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. <https://sid.ir/paper/491951/fa>. (In Persian).
- Khalili, M., Naghav, M. R., & Talebzade, S. J. (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological & biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. Crop Breeding Research Journal, 51(2), 15-28. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.250429.654438>.
- 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.
- Koide, R. (1985). The effect of VA mycorrhizal infection & phosphorus status on sunflower hydraulic and stomatal properties. Journal of Experimental Botany, 36(7), 1087-1098.
- Kong, H., Palta, J. A., Siddique, K. H. M., Stefanova, K., Xiong, Y. C., & Turner, N. C. (2015). Photosynthesis is reduced, & 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.
- Lafond, G.P., Irvine, B., Johnston, A.M., May, W.E., McCreew, D.W., Shirliffe, S.J., & Stevenson, F.C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation & quality in flax. Canadian Journal of Plant Science. 88, 485–500. <https://doi.org/10.4141/CJPS07112>.
- Li, Q., Gao, Y., Hamani, A. K. M., Fu, Y., Liu, J., Wang, H., & Wang, X. (2023). Effects of warming and drought stress on the coupling of photosynthesis and transpiration in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Applied Sciences, 13(5), 2759. <https://doi.org/10.3390/app13052759>.

- Mataa, M., Mph&e, K., & Munyinda, K. (2019). Interactive effects of phosphorus & 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/10.1046/j.1365-3040.2002.00832.x>.
- Mazengo, K. D., & Tryphone, G. M. (2019). Response of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to drought for growth & 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 & 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., Dmssa, 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>.
- Nakhzari Moghaddam, A., Ghelichi Yanghagh, H., Biabani, A., & Taliey, F. (2020). The effect of nitrogen & irrigation interval on quantity traits & protein of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under non fixation of nitrogen. Journal of Crops Improvement, 22(2), 205-215. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2019.281865.2221>.
- 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.
- 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-Chavarria, 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].
- Raisi Bidkani S., & Zarea, M. J. (2025). Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis & 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.2024.90074.1100Views>.
- Rashidi, Z. , Bannayan aval, M. , Azizi, K. and Nasiri Mahalati, 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.
<https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19586.2884>.
- Ratnayaka H.H., & Kincaid D. 2005. Gas exchange and leaf ultrastructure of Tinnevely senna, *Cassia angustifolia*, under drought and nitrogen stress. *Crop Science*, 45: 840-847.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2003.737>.
- Rizvi, R., Mahmood, I., & Tiyaqi, S. A. (2013). Potential role of organic matters and phosphate solubilizing bacteria (PSB) on the growth & 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 & their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advance*. 17, 319-339.
- Rouhani, L., Zamani, M. J., & Fotovat, R. (2015). Variation in stomatal size & density of barley genotypes under drought stress and normal conditions. *Journal of Plant Research*, 28 (5), 986-994. (In Persian with English Abstract). <https://www.magiran.com/p1588521>.

- 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-nanoprimer treatment with Zinc oxide on growth, nutrient status, and gene expression of enzymatic antioxidants in wheat plant. *Egypt Journal Experimental Experimental Biology*, 17(1), 77-90. doi=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, & leaf epidermis characteristics of *Physalis peruviana* seedlings under two irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17(6), 1585-1596.
- 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. 14853p.
- 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 & chemical phosphorus on growth & 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>.
- Shekari, F., Soltani, bB. & V., Javanmard, A., & Abbasi, A. (2016). The impact of drought stress at different stages of development on water relations, stomatal density and quality changes of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iran Agricultural Research*, 34(2), 81-90.
- Spence, R. D., Wu, H., Sharpe, P. J. H., & Clark, K. G. (1986). Water stress effects on guard cell anatomy and the mechanical advantage of the epidermal cells. *Plant, Cell & Environment*, 9(3), 197-202. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11611639>.
- 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>.
- Welbaum, G.E., Sturz, A.V., Dong, Z. & Nowak, J. (2004). Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Crit. Revolution of Plant. Science*. 23, 175–193.

- 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 & 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. Doi 10.18805/IJARE.AF-781.