



Effect of Planting Date and Fertilizer Resources on Grain Yield and Quality of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under Water Deficit Conditions

Kamyar Kazemi¹, Seyed Nader Mosavian¹, Hamdollah Eskandari^{1*}

Received: 10 September 2025
Revised: 14 October 2025
Accepted: 14 October 2025
Available Online: 14 October 2025

Cite this article:

Kazemi, K., Mosavian, S. N., & Eskandari, H. (2025). Effect of planting date and fertilizer resources on grain yield and quality of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 331-347. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95353.1116>

Introduction

Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is particularly important due to its versatility in human nutrition, animal feed, and its critical role in nutrient cycling within farming systems, owing to its ability to biologically fix atmospheric nitrogen. Due to climate change, areas experiencing water scarcity are expected to increase, as precipitation becomes less frequent and its spatiotemporal patterns shift. Consequently, reduced access to water resources in agriculture is inevitable. One strategy for managing water resource use in agricultural systems is to schedule irrigation based on supplying the specific water volume required by the plant at each irrigation event. Given the varying results from different studies, there is a need for precise location-specific investigation into cowpea's response to water deficit stress. However, research has shown that applying fertilizer and adjusting of planting dates can improve crop grain yield even under water-deficient conditions, thereby mitigating the effects of drought stress on crops. This study aimed to determine the response of cowpea yield and water productivity to reduced irrigation while evaluating the potential of nutrient sources and planting dates to ameliorate the effects of water deficit.

Materials and Methods

The experiment was conducted using a split-split plot design based on a randomized complete block design with three replications. The treatments included three planting dates (June 15, July 5, and July 25), three irrigation regimes (100%, 80%, and 40% of the crop's water requirement), and four fertilizer treatments (control or no fertilizer application, application of chemical fertilizer including 100 kg.ha⁻¹ urea + 100 kg.ha⁻¹ triple superphosphate + 100 kg.ha⁻¹ potassium sulfate, animal manure at 30 tons.ha⁻¹, and compost at 30 tons.ha⁻¹). Planting dates were assigned to the main plots, irrigation regimes to the subplots, and fertilizer treatments to the sub-subplots. Cowpea was manually sown at the specified planting dates (according to the treatments) at a density of 20 plants per square meter. At harvest, morphological trait (plant height), grain yield and related traits (number of pods per plant, number of seeds per pod, number of seeds per plant, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, and harvest index) were measured. Seed quality traits, including seed protein content (percentage) and protein yield, were also measured. Water use efficiency for grain production was calculated using the amount of water consumed and grain yield. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) based on the split-split plot design and the underlying randomized complete block design with MSTATC software. Analysis of variance of the data was performed based on the split-split plot experiment and the underlying randomized complete block design using MSTATC software. Mean comparisons were performed using Tukey's test.

Results and Discussion

The highest plant height, 1000-seed weight, number of seeds per plant, and seed yield of cowpea were obtained on the second planting date (July 5) under 100% water requirement supply and with chemical fertilizer application. However, this treatment showed no significant difference in the number of leaves per plant compared to the first planting date across all irrigation and fertilizer regimes (except for the no-fertilizer treatment under the 40% water requirement irrigation regime). The lowest plant height (61 cm) was recorded on the third planting date with 40% water requirement supply and no fertilizer application, which was not significantly different from other irrigation and fertilizer treatments at the same planting date. The difference between the highest (2845 kg.ha⁻¹) and the lowest (647 kg.ha⁻¹, recorded on July 25 with

1- Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

* Corresponding Author: eskandari@pnu.ac.ir



40% water requirement supply and no fertilizer application) seed yields exceeded 400%. In other words, planting cowpea on July 25 with only 40% of its water requirement supplied and no fertilizer application results in a more than fourfold decrease in grain production. The absence of fertilizer application on July 25 resulted in cowpea seeds produced under the 40% water requirement irrigation regime being not only smaller (lower 1000-seed weight) but also having a lower protein percentage compared to other treatments. Under these conditions, seed weight decreased by more than 50%. Fertilizer application combined with reduced water consumption under the 40% water requirement irrigation regime led to the highest water use efficiency for grain production in cowpea at the second planting date (July 5). The lowest water use efficiency for grain production was observed on the third planting date under both 80% and 100% water requirement supply conditions, and fertilizer application could not improve water use efficiency at this planting date and under these irrigation regimes. Cowpea achieved the highest protein yield on the second planting date (July 5), which was not significantly different from the first planting date (June 15). The lowest protein yield was recorded on the third planting date (July 25).

Conclusions

Considering growth- and seed-related traits (plant height, number of leaves per plant, biological yield, grain yield, and harvest index) as well as seed quality (protein content and yield), planting on July 5th with 100% water supply and chemical fertilization is recommended as the optimal treatment for achieving the highest grain and protein yield in cowpea. However, in the cases of water scarcity, the water supply for cowpea can be reduced to 80% of its requirement. In this scenario, by applying chemical fertilizer, a satisfactory grain yield (approximately 2450 kg per hectare, with about a 14% decrease compared to supplying 100% of the water requirement) and a protein yield comparable to that obtained with 100% water supply and chemical fertilizer application can be obtained.

Keywords: Fertilizer, Grain protein, Pulses, Water productivity



اثر تاریخ کاشت و منابع کودی بر عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) در شرایط کم‌آبیاری

کامیار کاظمی^{۱*}، سید نادر موسویان^۱، حمداله اسکندری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

چکیده

برای ارزیابی عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تأثیر نوع کود، میزان آبیاری و تاریخ کاشت، یک پژوهش مزرعه‌ای در سال ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز شادگان اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده با سه تکرار انجام شد. تاریخ کاشت (۲۵ خرداد، ۱۵ تیر و ۲۵ تیر) در کرت اصلی، آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) در کرت‌های فرعی و نوع کود (شاهد؛ کود شیمیایی شامل اوره + سوپرفسفات تریپل + سولفات پتاسیم به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از هر منبع؛ کود حیوانی به‌میزان ۳۰ تن در هکتار و کمپوست حاصل از مخلوط کود گاوی و تفاله نیشکر به نسبت ۱:۱ به‌میزان ۳۰ تن در هکتار) در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۵ تیرماه و ۴۰ درصد نیاز آبی، لوبیا چشم‌بلبلی با افت چهار برابری تولید دانه (از ۲۸۴۵ به ۶۴۷ کیلوگرم در هکتار) مواجه شد. با تأمین ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود شیمیایی، بیشترین عملکرد پروتئین (حدود ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. به‌طور کلی، تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه همراه با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود شیمیایی برای دستیابی به بالاترین عملکرد دانه و پروتئین در لوبیا چشم‌بلبلی قابل توصیه است. در صورت بروز کم‌آبی، می‌توان تأمین نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی را به ۸۰ درصد کاهش داد تا با کاربرد کود شیمیایی، عملکرد دانه مطلوب (حدود ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار با افت حدود ۱۴ درصدی) و همچنین عملکرد پروتئینی برابر با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود شیمیایی به دست آید.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، پروتئین دانه، حبوبات، کود

مقدمه

حبوبات، به‌صورت «دسته‌ای از گیاهان خانواده بقولات (*Leguminosae*) که با هدف برداشت دانه زیر کشت می‌روند» تعریف می‌گردد و به‌دلیل ارزش تغذیه‌ای و زراعی به‌طور گسترده‌ای در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شوند (Hughes et al., 2023). در بین حبوبات، لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) به‌دلیل چندمنظوره بودن (تغذیه انسان، تغذیه دام و نقش مهم آن در چرخه عناصر غذایی در سیستم‌های زراعی به‌دلیل توانایی آن در تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی هوا) اهمیت ویژه‌ای دارد (Gomes et al., 2020). دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی دارای ۳۲-۲۳ درصد پروتئین هستند که به‌دلیل داشتن ۱۷ نوع اسیدآمین (که برخی از آن‌ها نظیر والین، لوسین، لیزین و فنیل‌آلانین اسیدهای آمینه ضروری هستند) ارزش اقتصادی بالایی دارد (Bondok et al., 2024). به‌علاوه، لوبیا چشم‌بلبلی از نظر مواد معدنی نیز بر برخی حبوبات نظیر نخود (*Cicer*)

(*Vigna radiata*) و ماش (*Lens culinaris*)، عدس (*arientinum*)، برتری دارد (Hall et al., 2017).

به‌دلیل تغییرات اقلیمی، انتظار می‌رود مناطقی که در معرض کمبود آب قرار می‌گیرند روبه‌افزایش باشند، چرا که بارش‌ها کمتر و الگوی زمانی و مکانی آن نیز دچار تغییر شده است. در همین راستا، به نظر می‌رسد که کاهش دسترسی به منابع آبی در کشاورزی غیرقابل اجتناب باشد (Yu et al., 2020). به همین دلیل، تلاش‌های بسیاری برای حفاظت از منابع آبی در سیستم‌های زراعی صورت پذیرفته که عملاً بر مبنای روش‌های آبیاری قرار گرفته است. یک روش برای مدیریت مصرف منابع آب در سیستم‌های زراعی، تنظیم برنامه آبیاری براساس تأمین حجم آب مورد نیاز گیاه در هر نوبت آبیاری است که در گیاهان مختلف از جمله ماش (Danaei Rad et al., 2023) و لوبیا قرمز (Jahan & Behzad Amiri, 2020) مورد استفاده قرار گرفته است. از طرف دیگر، لوبیا چشم‌بلبلی هر چند به‌عنوان یک گیاه با تحمل نسبی به کمبود رطوبت معرفی شده (Nunes et al., 2019)،

۱- گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(*) - نویسنده مسئول: eskandari@pnu.ac.ir

ولی گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در آن رخ می‌دهد که به کاهش رشد و عملکرد دانه منجر می‌شود (Melo et al., 2024). در یک پژوهش که تنش خشکی از طریق قطع آبیاری بر لوبیا چشم‌بلبلی اعمال گردید، نتیجه گرفته شد که قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی ۲۵ درصد و قطع آبیاری در مرحله تشکیل نیام ۱۵ درصد عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را کاهش داد (Keramati et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر که برنامه آبیاری براساس تبخیر از تشتک تبخیر تنظیم گردید، گزارش شد که تنش خشکی می‌تواند تا ۴۶ درصد عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را کاهش دهد (Akbari & Maleki, 2018).

اثر مثبت کاربرد منابع تغذیه‌ای در بهبود رشد و عملکرد دانه گیاهان زراعی در پژوهش‌های مختلف به اثبات رسیده است. در باقلا (*Vicia faba*) نتیجه گرفته شد که کاربرد کود دامی علاوه بر افزایش دو برابری عملکرد دانه، محتوای عناصر غذایی در دانه را نیز بهبود بخشید (Zeinvand, et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر اعلام شد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی نیتروژنه از منبع اوره باعث می‌شود عملکرد دانه ماش بیش از ۸۰ درصد بیشتر گردد (Amirriyan Chelan et al., 2019). بااین‌حال، پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد کود در شرایط کمبود آب نیز می‌تواند عملکرد دانه گیاهان زراعی را بهبود بخشد و به عبارت دیگر، اثرات تنش خشکی بر گیاهان زراعی را تعدیل کرد. برای مثال، در باقلا گزارش شد که کاربرد کودهای شیمیایی، کود دامی و کمپوست می‌تواند در شرایط تنش خشکی (اعمال شده از طریق آبیاری بخشی ریشه) عملکرد دانه را به ترتیب ۷۳، ۶۶ و ۴۴ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد کود، افزایش دهد (Kazemi & Mosavian, 2022). در عدس نیز مشاهده شد که در صورت عدم استفاده از منبع تغذیه، با اعمال تنش خشکی (با افزایش فاصله آبیاری از ۷۰ به ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) عملکرد دانه ۲۵ درصد کاهش پیدا کرد، اما زمانی که در همین شرایط (تنش خشکی) کود شیمیایی استفاده شد، کاهش عملکرد دانه تنها پنج درصد بود (Mohammadi et al., 2019). بنابراین، نتیجه تحقیقات مختلف نشان‌دهنده اثر مثبت کاربرد منابع تغذیه در تعدیل اثرات منفی تنش کمبود آب بر گیاهان زراعی می‌باشد. بااین‌حال، اثر منابع تغذیه مختلف بر گیاهان زراعی متفاوت باید به‌صورت جداگانه برای هر گیاه زراعی کمی‌سازی و مورد ارزیابی قرار گیرد.

تاریخ کاشت، یک عامل مهم در تولید گیاهان زراعی است. تاریخ کاشت، تولید را نه تنها با اثر بر روند رشد گیاهان زراعی متأثر می‌سازد (Shafaroodi et al., 2010)، بلکه با تأثیر بر سایر عوامل مؤثر، از جمله جمعیت آفات گیاهی (Mohseni Amin et al., 2021)، عامل مهمی در پرورش گیاهان زراعی محسوب می‌شود. در لوبیا قرمز،

پژوهش انجام شده در منطقه الیگودرز نشان داد که تاریخ کاشت عامل مهمی در عملکرد دانه است، به‌طوری که تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت نسبت به تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت و ۱۴ خرداد به ترتیب ۲۵ و ۴۱ درصد عملکرد دانه بیشتری داشت (Rahmani et al., 2012). براساس پژوهشی که در منطقه کرج اجرا گردید، گزارش شد که در عدس، تاریخ کاشت اواسط آذر نسبت به اواسط دی و اواسط بهمن به ترتیب ۳۵ و ۷۳ درصد از نظر تولید دانه برتری داشت (Yazdi Samadi & Peyghambari, 2000). براساس نتایج تحقیقات، تاریخ کاشت حتی در شرایط تنش خشکی نیز می‌تواند بر عملکرد دانه گیاهان زراعی مؤثر باشد، به‌طوری که در پژوهشی در منطقه کاشمر نتیجه گرفته شد که در شرایط تنش خشکی (تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی)، تغییر تاریخ کاشت گندم (*Triticum aestivum*) از یک مهر به یک آبان به‌طور متوسط عملکرد دانه را تا حدود ۱۷ درصد بهبود بخشید (Mokari et al., 2020). بااین‌حال، با توجه به اینکه شرایط اقلیمی در هر منطقه متفاوت است و اثر تاریخ کاشت بر عملکرد گیاهان زراعی با برهم‌کنش با شرایط اقلیمی نمود پیدا می‌کند، ضروری است تاریخ کاشت هر گیاه، برای هر منطقه به‌طور ویژه تعیین گردد.

کم‌آبیاری می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریتی مناسب جهت صرفه‌جویی در آب در نظر گرفته شود. از آنجاکه در بسیاری از مناطق کشور، گیاهان زراعی در طول دوره رشد با محدودیت آب مواجه می‌شوند، با انجام تحقیقات و مطالعات آبیاری محدود می‌توان حد بهینه کاهش مصرف آب در مناطق خشک و کم‌آب را تعیین نمود و در نتیجه، بهره‌وری استفاده از آب را افزایش داد. بر این اساس، در این پژوهش کوشش شده است تا ضمن تعیین پاسخ عملکرد و بهره‌وری آب لوبیا چشم‌بلبلی به کاهش آبیاری، اثرات منابع تغذیه‌ای و تاریخ کاشت در کاهش احتمالی اثرات کم‌آبیاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز شادگان واقع در استان خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. منطقه دارای اقلیم گرم و خشک بوده که متوسط دما و بارندگی سالیانه آن به ترتیب ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۲۰ میلی‌متر است. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ و داده‌های هواشناسی در طول اجرای پژوهش در جدول ۲ درج شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبرار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی

هکتار) بود. تاریخ کاشت در کرت‌های اصلی، رژیم‌های آبیاری در کرت‌های فرعی و تیمارهای کودی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کمپوست مورد استفاده در آزمایش، با ترکیب کود گاوی و تفاله نیشکر (تأمین‌شده از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی) با نسبت ۱:۱ تهیه شد. مشخصات کود دامی و کمپوست مورد استفاده در پژوهش در جدول ۳ درج شده است.

شامل سه تاریخ کاشت (۲۵ خردادماه، ۱۵ تیرماه و ۲۵ تیرماه)، سه رژیم آبیاری (آبیاری براساس تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی) و چهار سطح تیمار کودی (شاهد یا عدم کاربرد کود، کاربرد کود شیمیایی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات، کود دامی به میزان ۳۰ تن در هکتار و کود کمپوست به میزان ۳۰ تن در

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil of the experimental site

عمق Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)
0-60	سیلتی لوم Silty loam	1.88	7.3	224	14	0.08	0.51

جدول ۲- برخی داده‌های هواشناسی محل اجرای پژوهش در سال ۱۴۰۳ (IMO, 2024)

Table 2- Some meteorological data of the research site during 2024

ماه Month	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد) Mean temperature (°C)	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)
خرداد May	28.9	47.2	38.1	23	-
تیر June	27.2	42.2	34.7	13	-
مرداد July	25.0	43.9	34.4	13	-
شهریور August	27.2	45.0	36.1	38	-
مهر September	27.8	46.1	36.7	34	-

جدول ۳- برخی مشخصات کود دامی و کمپوست استفاده‌شده در پژوهش

Table 3- Some properties of manure and compost used in the research

نوع کود آلی Organic fertilizer type	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن (درصد) N (%)
کود دامی Animal manure	6.9	7.2	0.98	0.60	0.59
کمپوست Compost	7.4	7.6	0.72	0.85	0.47

و با خاک مخلوط شد. در مرحله بعد در زمین جوی و پشته‌هایی به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت‌های مقرر (براساس تیمارها) براساس تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌صورت

زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل در وضعیت آیش بود که برای آماده‌سازی آن، دو دیسک عمود بر هم زده شد. سپس محدوده کرت‌های مربوط به هر تیمار مشخص گردید و تیمارهای کودی اضافه

حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از نشست آب به کرت‌های کناری، برای کرت‌های فرعی، فاصله ۱/۵ متر اعمال گردید. در طول دوره کاشت، علف‌های هرز به صورت دستی مهار شدند. آفت اصلی لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه، پروانه لوبیا می‌باشد و این آفت تا زمان به گل رفتن و تشکیل نیام، روی علف‌های هرز حاشیه مزارع به سر می‌برد. از آنجاکه یکی از راهکارهای مدیریت تلفیقی آفت پروانه لوبیا، حذف پناهگاه‌ها و میزبان‌های واسط این آفت است، علف‌های هرز حاشیه مزرعه که به عنوان زیستگاه ثانویه مورد استفاده آفت قرار می‌گیرند، سوزانده شدند. ابزار مورد استفاده، یک سم‌پاش دستی بود که با سوخت دیزل پُر شده و برای ایجاد یک شعله کنترل شده استفاده گردید. عملیات سوزاندن به گونه‌ای انجام شد که پوشش علف‌های هرز به طور کامل در معرض شعله مستقیم قرار گیرد. برای حداکثر اثرگذاری بر مراحل زیستی آفت، عملیات سوزاندن علف‌های هرز در چند مرحله اجرا شد. به همین دلیل، در طول دوره رشد لوبیا چشم‌بلبلی، از سموم آفت‌کش استفاده نگردید.

در مرحله برداشت (لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت ۲۵ خرداد در تاریخ ۱۵ مهرماه برداشت شد و برای تاریخ کاشت‌های ۱۵ و ۲۵ تیرماه، برداشت به صورت هم‌زمان در تاریخ ۲۲ مهرماه صورت پذیرفت)، بعد از حذف پشته‌هایی که به عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شده بودند، بقیه کرت به مساحت شش مترمربع برداشت شد و صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته)، عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن (تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری صفات مرتبط با کیفیت دانه شامل محتوای پروتئین دانه (بر حسب درصد) و عملکرد پروتئین نیز انجام گردید. بدین منظور، ابتدا میزان نیتروژن دانه‌ها با استفاده از دستگاه کج‌دال اندازه‌گیری شد و سپس برای محاسبه درصد پروتئین دانه، میزان نیتروژن در عدد ۵/۷ (Eskandari et al., 2023) ضرب گردید. عملکرد پروتئین (بر حسب کیلوگرم در هکتار) نیز براساس میزان عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه محاسبه شد.

برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب برای تولید دانه، میزان آب مصرفی و عملکرد دانه به کار رفت (معادله ۲) (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2018).

$$WP = [Y / I_g] \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، WP: بهره‌وری آب، Y: عملکرد دانه برحسب کیلوگرم و I_g : میزان مصرف آب برحسب مترمکعب می‌باشد.

پیش از تجزیه و تحلیل آماری، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و نرم‌افزار آماری SPSS (Vr 26.0) بررسی شد. تجزیه واریانس داده‌ها براساس آزمایش

دستی کشت گردید. از آنجاکه لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه به عنوان کشت دوم (بعد از برداشت گندم زمستانه در اردیبهشت ماه) در بازه زمانی خرداد ماه تا تیرماه کشت می‌شود، تاریخ‌های کاشت نیز به گونه‌ای انتخاب شدند که بازه زمانی کشت لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه را پوشش دهد. رقم مورد استفاده در آزمایش رقم مشهد بود که تیپ رشدی رونده و نامحدود دارد. این رقم معمولاً بعد از دو ماه رشد رویشی به گل می‌رود و طول دوره رشد آن سه ماه به طول می‌انجامد. وزن هزار دانه این رقم بین ۱۷۰-۲۰۰ گرم و میانگین عملکرد آن در منطقه ۱۲۰۰-۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. کشت لوبیا چشم‌بلبلی با تراکم بالا انجام شد تا از سبز شدن بوته‌ها، اطمینان حاصل گردد. سپس در مرحله استقرار بوته‌ها (مرحله چهار برگه)، کرت‌ها تا رسیدن به تراکم مطلوب تنک شدند. از همین مرحله (بعد از استقرار بوته‌ها)، تیمارهای آبیاری نیز اعمال گردید. زمان آبیاری براساس عرف منطقه (هر هفته یک بار) و روش آن به صورت نشتی (جوی پشته‌ای) بود. برای جلوگیری از خروج آب بعد از آبیاری، انتهای کرت‌ها بسته شد. به منظور اندازه‌گیری حجم آب آبیاری در هر مرحله آبیاری، ابتدا رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری شد و سپس حجم آب آبیاری با استفاده از معادله ۱ اندازه‌گیری شد (Eskandari et al., 2009):

$$V_m = [(FC - \Theta) (Bd \times D \times A)] \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، V_m : حجم آب آبیاری، FC: درصد رطوبت خاک مزرعه در حد ظرفیت زراعی در عمق توسعه ریشه، Θ : رطوبت خاک قبل از آبیاری در عمق توسعه ریشه، Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق توسعه ریشه، D: عمق توسعه ریشه و A: مساحت کرت می‌باشد. جهت تعیین عمق توسعه ریشه، از ردیف‌های دو و پنج، تعداد سه بوته انتخاب گردید و پس از جدا کردن لندام‌های هوایی، عمق توسعه ریشه با استفاده از آگر تعیین گردید. میانگین عمق توسعه ریشه سه گیاه، به عنوان عمق توسعه ریشه در آن کرت در نظر گرفته شد. پس از محاسبه حجم آب مورد نیاز برای آبیاری کامل (V_m) در هر نوبت، این مقدار به عنوان مبنا (معادل ۱۰۰ درصد نیاز آبی) برای اعمال تیمارهای آبیاری در نظر گرفته شد. تیمارهای آبیاری شامل سه سطح بودند: آبیاری کامل (شاهد) که در آن ۱۰۰ درصد حجم محاسبه شده (V_m) به کرت‌ها اعمال گردید، تنش ملایم خشکی که در آن ۸۰ درصد حجم محاسبه شده ($V_m \times 0.8$) اعمال شد و تنش شدید خشکی که در آن ۴۰ درصد از حجم محاسبه شده ($V_m \times 0.4$) به هر کرت اختصاص یافت. حجم آب مربوط به هر تیمار به صورت جداگانه و با استفاده از کنتور اندازه‌گیری و کنترل شد تا اطمینان حاصل شود که هر کرت دقیقاً مقدار آب تعیین شده برای تیمار خود را دریافت می‌کند. هر کرت کاشت شامل شش ردیف کاشت به طور شش متر به مساحت ۱۸ مترمربع بود که دو ردیف انتهایی هر کرت به عنوان

طرح‌های دو بار خردشده و طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها، آزمون توکی به کار رفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت، رژیم آبیاری و منبع تغذیه بر تمامی صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.01$). به جز در مورد عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، سایر صفات به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل تاریخ کاشت $\times$ رژیم آبیاری

قرار گرفتند (جدول ۴). اثر متقابل تاریخ کاشت $\times$ منبع تغذیه بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و بهره‌وری آب برای تولید دانه اثر معنی‌داری داشت ($P \leq 0.01$)، ولی سایر صفات را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نداد. تعداد دانه در نیام از اثر متقابل رژیم آبیاری $\times$ منبع تغذیه تأثیر نپذیرفت، ولی سایر صفات مورد بررسی به‌طور معنی‌داری از این برهم‌کنش متأثر شدند. اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت $\times$ رژیم آبیاری $\times$ منبع تغذیه تنها بر ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و بهره‌وری آب برای تولید دانه تأثیر معنی‌داری داشت ($P \leq 0.01$) (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم‌بلبلی و صفات مرتبط با آن تحت تأثیر منبع تغذیه و رژیم‌های آبیاری در تاریخ کاشت‌های متفاوت

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of grain yield and quality of cowpea as affected by nutrition source and irrigation regimes under different planting date

منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع بوته Plant height	نیام در بوته Pod per plant	دانه در نیام Grain per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	1532**	207**	61.4**	298**	208559**
تاریخ کاشت Planting date (P)	2	29892**	927**	100**	19926**	4028717**
خطا Error	4	20.6	3.0	2.07	29.4	3146
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	18173**	869**	197**	14928**	9009923**
$P \times I$	4	231**	7.16*	2.0**	129**	96247**
خطا Error	12	3.92	1.41	0.278	7.91	1546
منبع تغذیه Nutrition source (N)	3	4619**	227**	43.2**	5918**	1839819**
$P \times N$	6	33.7**	1.10 ^{ns}	0.222 ^{ns}	457**	36336**
$I \times N$	6	24.9**	3.66**	0.639 ^{ns}	289**	18724**
$P \times I \times N$	12	39.4**	1.92 ^{ns}	0.389 ^{ns}	413**	4260**
خطا Error	54	7.0	0.898	0.731	3.54	1542
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.12	4.58	9.68	1.02	2.30

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ^{ns}: غیرمعنی‌دار

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

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم‌بلبلی و صفات مرتبط با آن تحت تأثیر منبع تغذیه و رژیم‌های آبیاری در تاریخ کاشت‌های متفاوت

Continued table 4- Analysis of variance (mean of squares) of grain yield and quality of cowpea as affected by nutrition source and irrigation regimes under different planting date

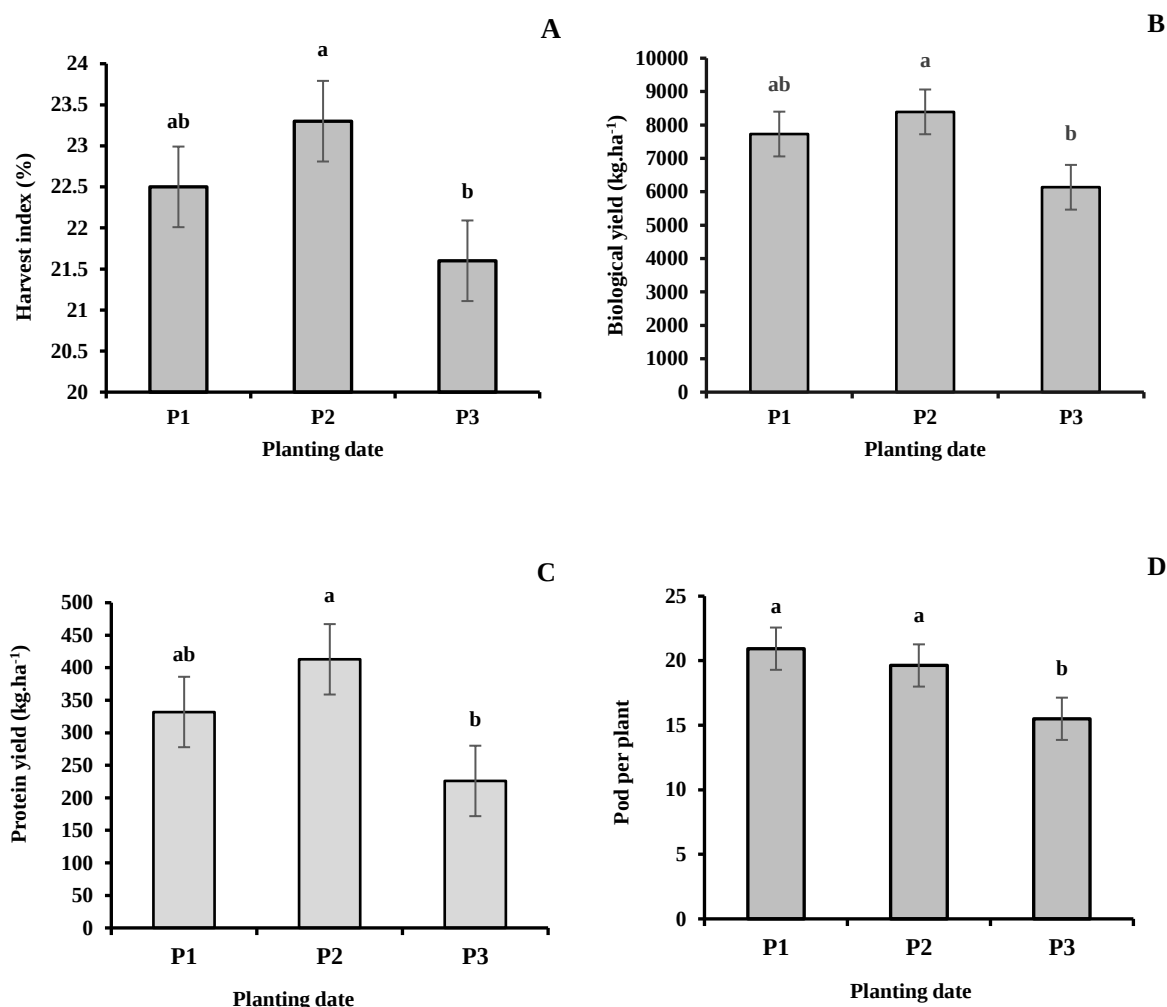
منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield	مصرف آب Water consumption (m ³ .ha ⁻¹)	بهره‌وری آب (دانه) Water productivity (seed)
تکرار Replication	2	1331712 ^{ns}	0.921 ^{ns}	2.37 ^{**}	14335 ^{ns}	137087 ^{ns}	0.004 ^{**}
تاریخ کاشت Planting date (P)	2	48483857 ^{**}	26.2 ^{**}	94.1 ^{**}	318609 ^{**}	215114 ^{ns}	0.069 ^{**}
خطا Error	4	1950823	1.07	0.045	9710	222846	0.0001
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	2	113585094 ^{**}	39.6 ^{**}	291 ^{**}	124143 ^{**}	409659709 ^{**}	0.082 ^{**}
P × I	4	1010649 ^{ns}	2.78 ^{ns}	13.9 ^{**}	4345 ^{ns}	271513 ^{ns}	66470.001 [*]
خطا Error	12	935809	0.194	0.021	6647	84819	0.0001
منبع تغذیه Nutrition source (N)	3	23406784 ^{**}	8.76 ^{**}	36.6 ^{**}	126721 ^{**}	50800 ^{ns}	0.045 ^{**}
P × N	6	1375323 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.160 ^{**}	2751 ^{**}	157742 ^{ns}	0.001 ^{**}
I × N	6	2323806 [*]	1.41 [*]	0.302 ^{**}	1428 ^{**}	262228 ^{ns}	0.005 ^{**}
P × I × N	12	1170445 ^{ns}	0.464 ^{ns}	0.273 ^{**}	266 ^{ns}	144891 ^{ns}	0.0001 ^{**}
خطا Error	54	966042	0.452	0.013	139	133923	0.0001
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		13.25	2.99	0.60	3.64	4.62	2.63

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

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

پروتئین را داشت که با تاریخ کاشت اول (۲۵ خرداد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین عملکرد پروتئین لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت سوم (۲۵ تیر) ثبت گردید (شکل ۱). لوبیا چشم‌بلبلی، بیشترین تعداد نیام در بوته (۲۰/۹۳) را در تاریخ کاشت اول (۲۵ خرداد ماه) تولید کرد. در تاریخ کاشت سوم (۱۵ تیرماه) کمترین تعداد نیام در بوته به دست آمد که ۳۵ درصد کمتر از تعداد نیام تولیدشده در تاریخ کاشت اول بود (شکل ۱). بین دو تاریخ کاشت ۲۵ خرداد و ۱۵ تیر از نظر تعداد نیام در بوته تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

بیشترین شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیر) به دست آمد که با تاریخ کاشت اول (۲۵ خرداد) تفاوت معنی‌داری نداشت. کاشت لوبیا در ۲۵ تیر باعث شد که شاخص برداشت نسبت به تاریخ کاشت اول حدود چهار درصد کاهش پیدا کند (شکل ۱). روند مشابهی در مورد عملکرد بیولوژیک مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیر) و سوم (۲۵ تیر) (به ترتیب ۷۷۲۹ و ۶۱۳۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که اختلاف حدود ۲۱ درصدی با هم داشتند (شکل ۱). لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیر) بیشترین عملکرد



شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد پروتئین و تعداد نیام در بوته لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ‌های متفاوت کاشت
Figure 1- Mean comparison of harvest index, biological yield, protein yield and pod per plant of cowpea under different planting dates

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون توکی می‌باشد

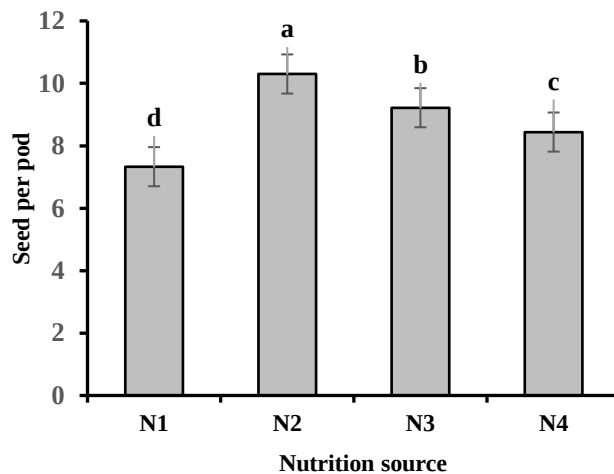
P1: تاریخ کاشت ۲۵ خرداد؛ P2: تاریخ کاشت ۱۴ تیر؛ P3: تاریخ کاشت ۲۵ تیر

Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Tukey's test

P1: Planting date of June 14; P2: Planting date of July 05; P3: planting date of July 15

کاهش پیدا کند. در تیمارهای کود دامی و کمپوست به ترتیب ۲۰/۵ و ۱۳/۲ درصد دانه بیشتری در نیام در مقایسه با عدم استفاده از کود (شاهد) تولید شد (شکل ۲).

لوبیا چشم‌بلبلی، بیشترین تعداد دانه در نیام (۱۰/۳) را با مصرف کود شیمیایی تولید کرد که با سایر منابع تغذیه اختلاف معنی‌داری داشت ($P \leq 0.01$). عدم استفاده از منبع تغذیه‌ای (شاهد) باعث شد که تولید دانه در نیام حدود ۲۹ درصد نسبت به استفاده از کود شیمیایی



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در نیام در لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر منابع مختلف تغذیه
Figure 2- Mean comparison of seed number per pod in cowpea under different nutritional source

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون توکی می‌باشد

N1: شاهد، N2: کود شیمیایی، N3: کود دامی، N4: کود کمپوست

Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Tukey's test

N1: Control, N2: Chemical fertilizer, N3: Animal manure, N4: compost

چشم‌بلبلی کمترین تعداد دانه در نیام را در تاریخ کاشت سوم (۲۵ تیرماه) تولید کند که اختلاف ۶۰ درصدی با بیشترین تولید دانه در نیام داشت (شکل ۳).

بیشترین ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه لوبیا در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیرماه) و در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و با کاربرد کود شیمیایی به دست آمد (جدول ۶).
باین‌حال، این تیمار از نظر تعداد برگ در بوته با تاریخ کاشت اول در تمامی رژیم‌های آبیاری و کودی (بجز در مورد عدم استفاده از کود در رژیم آبیاری تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین ارتفاع بوته (۶۱ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت سوم با تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم استفاده از کود به دست آمد که با سایر تیمارهای رژیم آبیاری و کودی در همین تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). تفاوت بیشترین (۲۸۴۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۶۴۷ کیلوگرم در هکتار) (در تاریخ کاشت ۲۵ تیر با تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم استفاده از کود) عملکرد دانه بیش از ۴۰۰ درصد بود. به عبارت دیگر، اگر لوبیا چشم‌بلبلی در ۲۵ تیرماه کشت شود و تنها ۴۰ درصد نیاز آبی آن تأمین شود و کود نیز مورد استفاده قرار نگیرد با افت چهار برابری تولید دانه مواجه می‌شود (جدول ۴). عدم استفاده از کود در تاریخ کاشت ۲۵ تیر باعث شد که دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی تولیدشده در رژیم آبیاری تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی، علاوه بر اینکه کوچک‌تر بودند (وزن هزار دانه کمتری داشتند)، نسبت به سایر تیمارها درصد پروتئین کمتری نیز داشته باشند، به‌طوری‌که در این شرایط، وزن دانه‌ها بیش از ۵۰ درصد

بیشترین تعداد نیام در بوته، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی زمانی به دست آمد که ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تأمین شد و کود شیمیایی به‌عنوان منبع تغذیه استفاده گردید (جدول ۵). لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط عدم کاربرد منبع تغذیه و تأمین تنها ۴۰ درصد نیاز آبی، کمترین مقادیر صفات مزبور را داشت که به‌ترتیب شامل کاهش ۳/۴۵، ۲/۵۷، ۴/۵۴ و ۱۳ درصدی آن‌ها بود. استفاده از کود شیمیایی در شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه باعث شد که تعداد برگ در بوته، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود حیوانی تفاوت معنی‌داری نداشته باشند (جدول ۵). در صورت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عدم استفاده از منبع تغذیه باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی نشد (جدول ۵). لوبیا چشم‌بلبلی در تیمار تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود شیمیایی به‌عنوان منبع تغذیه، بیشترین عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) را داشت که با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

بیشترین تعداد دانه در نیام، با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیرماه) به دست آمد که با همین رژیم آبیاری در تاریخ کاشت اول (۲۵ خردادماه) تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در تاریخ کاشت سوم (۲۵ تیرماه) حتی تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نتوانست دانه بیشتری در نیام در مقایسه با تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیرماه) با تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی تولید کند (شکل ۵). کاهش تأمین آب به ۴۰ درصد نیاز آبی باعث شد که لوبیا

کاهش یافت (جدول ۶). مصرف کود و کاهش مصرف آب در رژیم آبیاری تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب شد که لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیرماه) بیشترین بهره‌وری آب برای تولید دانه را داشته باشد. کمترین بهره‌وری آب برای تولید دانه نیز در تاریخ کاشت سوم در شرایط تأمین ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به دست آمد و مصرف کود نیز نتوانست باعث بهبود بهره‌وری آب در این تاریخ کاشت و رژیم‌های آبیاری شود (جدول ۶).

جدول ۵- مقایسه میانگین برای اثر متقابل رژیم آبیاری × منبع تغذیه بر تعداد برگ در بوته و برخی صفات مرتبط با عملکرد دانه در لوبیا چشم‌بلبلی

Table 5- Mean comparison for the interaction of irrigation regime × nutritional source on leaf number per plant and some traits related to grain yield in cowpea

رژیم آبیاری Irrigation regime	منبع تغذیه Nutritional source	تعداد نیام در بوته Pod number per plant	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار) Protein yield (kg.ha ⁻¹)
I1	N1	12.7g*	4119f	20.3d	166h
I1	N2	18.3e	3831cde	21.5bc	334d
I1	N3	15.7f	5916def	21.4cd	273f
I1	N4	15.0f	5482ef	21.9bc	255fg
I2	N1	18.3e	6274de	22.0bc	250g
I2	N2	25.7b	9246ab	22.6abc	441a
I2	N3	21.7cd	7565bcd	23.7a	361bc
I2	N4	20.3d	7061cde	23.6a	341cd
I3	N1	22.0cd	8445abc	22.7ab	300e
I3	N2	29.7a	9437a	23.4a	439a
I3	N3	25.7b	9598a	23.3a	381b
I3	N4	23.3c	9055ab	23.3a	345cd

* حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی می‌باشد

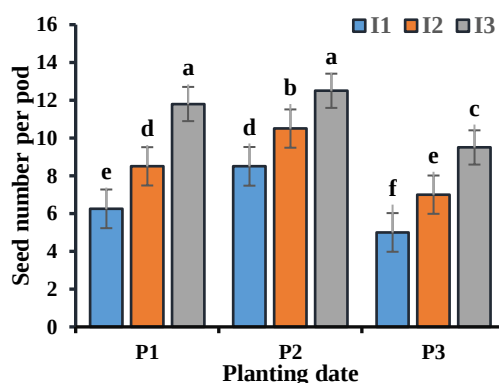
I1: ۴۰ درصد آبیاری کامل؛ I2: ۸۰ درصد آبیاری کامل؛ I3: آبیاری کامل

N1: شاهد، N2: کود شیمیایی، N3: کود دامی، N4: کود کمپوست

* Different letters in each column indicate significant difference according to Tukey's test

I1: 40% of full irrigation; i2: 80% of full irrigation; I3: Full irrigation

N1: Control, N2: Chemical fertilizer, N3: Animal manure, N4: compost



شکل ۳- اثر متقابل تاریخ کاشت × رژیم آبیاری بر تعداد دانه در نیام لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 3- The interaction of planting date × irrigation regime on seed number per pod in cowpea

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون توکی می‌باشد

P1: تاریخ کاشت ۲۵ خرداد؛ P2: تاریخ کاشت ۱۴ تیر؛ P3: تاریخ کاشت ۲۵ تیر

I1: ۴۰ درصد آبیاری کامل؛ I2: ۸۰ درصد آبیاری کامل؛ I3: آبیاری کامل

Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Tukey's test

P1: Planting date of June 14; P2: Planting date of July 05; P3: planting date of July 15

I1: 40% of full irrigation; i2: 80% of full irrigation; I3: Full irrigation

جدول ۶- اثر متقابل تاریخ کاشت × رژیم آبیاری × منبع تغذیه بر عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در لوبیا چشم‌بلبلی
Table 6- The interaction of planting date × irrigation regime × nutritional source on grain yield and some related traits of cowpea

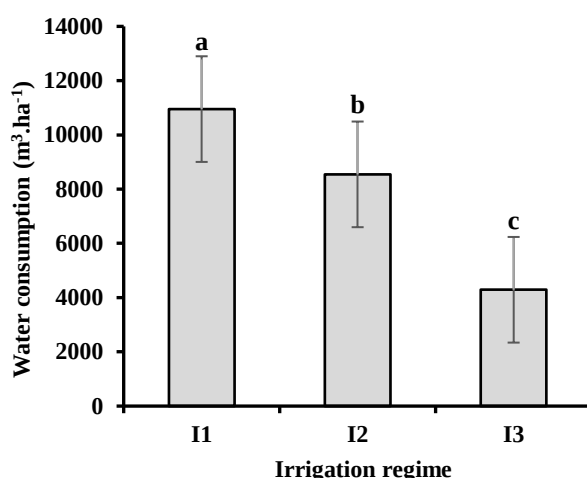
تاریخ کاشت Planting date	رژیم آبیاری Irrigation regime	منبع تغذیه Nutritional source	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	پروتئین دانه (درصد) Seed protein content (%)	بهره‌وری آب (دانه) (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity (seed) (kg.m ⁻³)
P1	I1	N1	81bcd*	161no	826p	19.7kl	0.1937jklmn
P1	I1	N2	118abcd	190hi	1592ijk	22.2cd	0.3733a
P1	I1	N3	110abcd	178jk	1380lm	20.9gh	0.3237bc
P1	I1	N4	99.0abcd	172klm	1321m	20.6hi	0.3130bcd
P1	I2	N1	120abcd	192h	1540klm	17.9no	0.1697nopqr
P1	I2	N2	152abcd	216bc	2176de	21.4ef	0.2550efgh
P1	I2	N3	142abcd	210cdef	1925fg	20.2ij	0.2257hijk
P1	I2	N4	132abcd	208defg	1838gh	19.5l	0.2153ijklm
P1	I3	N1	137abcd	202g	1974fg	14.1w	0.1850lmnop
P1	I3	N2	163abcd	229a	2635b	16.7r	0.2470fghi
P1	I3	N3	148abcd	212bcde	2482c	15.6u	0.2323ghi
P1	I3	N4	142abcd	206efg	2266d	14.8v	0.2123ijklm
P2	I1	N1	109abcd	162no	1037no	21.8de	0.2430ghi
P2	I1	N2	141abcd	183ij	1717hi	24.7a	0.4027a
P2	I1	N3	127abcd	170lm	1428lm	21.4b	0.3350b
P2	I1	N4	119abcd	167lmn	1385lm	23.7b	0.3260b
P2	I2	N1	139abcd	187hi	1627ij	19.4l	0.1903klmno
P2	I2	N2	174ab	219b	2438c	22.6c	0.2860cde
P2	I2	N3	162abcd	208defg	2048ef	21.4ef	0.2387ghi
P2	I2	N4	158abcd	201g	1865gh	21.2fg	0.2207hijkl
P2	I3	N1	152abcd	204fg	2285d	15.1v	0.2140ijklm
P2	I3	N2	191a	228a	2845a	17.2pq	0.2667efg
P2	I3	N3	179ab	213bcde	2535bc	16.1 st	0.2293ghij
P2	I3	N4	172abc	213bcde	2465c	15.7tu	0.2133ijklm
P3	I1	N1	61d	119r	647q	16.9qr	0.1520pqrs
P3	I1	N2	92abcd	158o	1117n	20.1jk	0.2850def
P3	I1	N3	78bcd	137p	994no	18.7m	0.2550efgh
P3	I1	N4	71cd	126q	915op	17.9no	0.2160ijklm
P3	I2	N1	84bcd	156o	1078n	16.1 st	0.1263s
P3	I2	N2	103abcd	183ij	1642ij	18.6m	0.1923jklmno
P3	I2	N3	99abcd	166mn	1427lm	18.1n	0.1673nopqr
P3	I2	N4	97abcd	162no	1311m	17.6op	0.1543opqrs
P3	I3	N1	98abcd	106s	1527jkl	13.6x	0.1343rs
P3	I3	N2	129abcd	206efg	1960fg	16.2s	0.1810mnopq
P3	I3	N3	115abcd	183ij	1729hi	15.7tu	0.1580nopqrs
P3	I3	N4	109abcd	174kl	1650ij	14.7v	0.1440qrs

* حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار براساس آزمون توکی می‌باشد

* Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Tukey's test

تعلق داشت و تیمار تامین ۴۰ درصد نیاز آبی با ۴۲۸۹ مترمکعب در هکتار، کمترین میزان مصرف آب را داشت. با تغییر تیمار آبیاری از آبیاری کامل به ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی، میزان مصرف آب به‌ترتیب ۲۲ و ۶۱ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۴).

در بین تیمارهای مورد بررسی، تنها اثر اصلی رژیم آبیاری بر میزان مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). بین رژیم‌های مختلف آبیاری تفاوت معنی‌داری از نظر مصرف آب وجود داشت. بیشترین میزان مصرف آب (۱۰۹۵۱ مترمکعب در هکتار) به تیمار آبیاری کامل



شکل ۴- اثر رژیم آبیاری بر مصرف آب (مترمکعب در هکتار) لوبیا چشم‌بلبلی
Figure 4- The effect of irrigation regime on water consumption (m³.ha⁻¹) in cowpea
 حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون توکی می‌باشد
 I1: آبیاری کامل؛ I2: ۸۰ درصد آبیاری کامل؛ I3: ۴۰ درصد آبیاری کامل
 Different letters indicate significant difference at $P \leq 0.01$ according to Tukey's test
 I1: Full irrigation; I2: 80% of full irrigation; I3: 40% of full irrigation

(شکل ۴). از طرف دیگر، آبیاری بر تولید دانه در نیام بیشتر از تاریخ کاشت و منبع تغذیه تأثیر داشت، چرا که اثر این عوامل بر تعداد دانه در نیام به‌ترتیب ۴۲، ۳۱ و ۲۹ درصد بود. کاهش رشد نیام و کم شدن طول آن تحت شرایط کمبود آب، عامل مهمی است که موجب کاهش تولید دانه در نیام در حبوبات می‌شود (Memari et al., 2020). بنابراین، می‌توان گفت که برای تولید بیشتر دانه در لوبیا چشم‌بلبلی باید توجه ویژه‌ای به تاریخ کاشت و رژیم آبیاری نمود. هر چند این مطلب به‌معنی نقش کم عناصر غذایی در عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی نیست، چرا که لوبیا چشم‌بلبلی، مانند بسیاری از حبوبات، اگر چه توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مولکولی هوا را دارد و نسبت به خاک‌های فقیر، تحمل نشان می‌دهد، ولی مصرف متعادل کود می‌تواند عملکرد دلنه آن را افزایش دهد (Bondok et al., 2024). همچنین مطالعات دیگر نشان داده است که در تشکیل و رشد نیام در حبوبات، تأمین عناصر غذایی با بهبود فرآیندهای متابولیسمی در نیام باعث رشد بیشتر آن و در نتیجه افزایش پتانسیل تولید دانه می‌شود (Li et al., 2024). این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد، چرا که در پژوهش حاضر، منبع تغذیه به‌طور میانگین به‌میزان ۲۸/۵ بر تعداد دانه در بوته تأثیر داشت (شکل ۲ و جدول ۳). با این حال، یافته‌های پژوهش حاضر، حساسیت بیشتر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی به تاریخ کاشت و آبیاری را نشان داد. در نهایت، براساس نتایج مرتبط با رشد گیاه (ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت) و عملکرد دلنه می‌توان تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه همراه با

براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار داشت که عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی به هر دو جزء عملکرد (تعداد دانه و وزن دانه) وابسته است، چرا که تأخیر در تاریخ کاشت (از ۱۵ تیر به ۲۵ تیر) وقتی با کاهش تأمین نیاز آبی و عدم استفاده از کود همراه بود باعث کاهش شدید عملکرد دانه شد و در این میان نیز وزن دانه و هم تعداد دانه با کاهش همراه بود. در برخی حبوبات دیگر مانند ماش (Danaei Rad et al., 2023) و عدس (Azizi et al., 2024)، نتایج مشابهی در مورد وابستگی عملکرد دانه به تعداد و وزن دانه گزارش شد که با نتایج پژوهش حاضر هماهنگی دارد. از طرف دیگر، به نظر می‌رسد که در لوبیا چشم‌بلبلی، تعداد دانه در بوته (وابسته به تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در نیام) بیشتر از وزن دانه تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، چرا که اثر سه عامل تاریخ کاشت، رژیم آبیاری و منبع تغذیه بر تعداد و وزن دانه به‌ترتیب ۲۵ و ۲۱ درصد، ۶۲ و ۲۰ درصد و ۳۱ و ۱۸ درصد بود (جدول ۴). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که لوبیا چشم‌بلبلی برای تولید نیام، به تاریخ کاشت و آبیاری حساسیت بیشتری نسبت به منبع تغذیه دارد، چرا که اثر این عوامل محیطی بر تعداد نیام در بوته به‌ترتیب ۴۰، ۳۹ و ۲۸ درصد بود (شکل ۴). در مورد تعداد نیام در بوته، عامل اصلی، بقاء گل روی بوته است و هر عاملی که باعث کاهش تعداد گل‌های بارور شده روی بوته شود در نهایت به کاهش تولید نیام منجر می‌شود (Esmaili et al., 2025). بر این اساس، می‌توان اظهار داشت که در لوبیا چشم‌بلبلی، بقاء گل روی بوته به تاریخ کاشت و آبیاری حساسیت بیشتری نسبت به تغذیه گیاه دارد

تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود شیمیایی را به عنوان ترکیب تیماری مناسب برای دستیابی به بالاترین عملکرد دانه در لوبیا چشم‌بلبلی توصیه نمود. با این حال، می‌توان در صورت بروز کم‌آبی، تأمین نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی را به ۸۰ درصد کاهش داد که در این صورت می‌توان با کاربرد کود شیمیایی، عملکرد دانه مطلوبی (حدود ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار با افت حدود ۱۴ درصدی نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) را به دست آورد (جدول ۴).

اگر چه در برخی مطالعات گزارش شده است که درصد پروتئین دانه معمولاً توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود (Tadayon & Bahador, 2018)، ولی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در لوبیا چشم‌بلبلی، درصد پروتئین دانه متأثر از عوامل محیطی از جمله آبیاری و تغذیه نیز قرار می‌گیرد. تحقیقات در مورد تأثیر آبیاری نشان داده است که کمبود آب با کاهش طول دوره نمو دانه موجب کاهش نسبت کربوهیدرات به پروتئین و در نتیجه افزایش درصد پروتئین دانه شد (Haqshenas et al., 2025). این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر هماهنگی دارد، چرا که در مطالعه حاضر نیز بیشترین درصد پروتئین دانه در تیمارهایی به دست آمد که لوبیا چشم‌بلبلی با کمبود آب مواجه شد و هرچه تنش خشکی بیشتر بود، درصد بالاتری از پروتئین دانه نیز ثبت گردید (جدول ۴). با این حال، نوع منبع تغذیه و تاریخ کاشت نیز بر درصد پروتئین دانه تأثیر داشتند، به‌طوری که بیشترین درصد پروتئین دانه با مصرف کود شیمیایی و کشت در تاریخ ۱۵ تیر (تاریخ کاشت دوم) به دست آمد. وارد شدن برخی عناصر غذایی (از جمله نیتروژن و گوگرد) در ساختار پروتئین‌های باعث می‌شود که عناصر غذایی به‌طور مستقیم بر تولید پروتئین دانه نقش داشته باشند (Moore et al., 2016). به همین دلیل، تغذیه گیاه بر میزان پروتئین دانه تأثیر مستقیم دارد. هر چند، تنش خشکی ممکن است با ایجاد اختلال در روند انتقال مواد غذایی به دانه، بر ترکیب آن تأثیر داشته باشد، به‌طوری که در برخی گزارش‌ها نتیجه گرفته شد که تنش خشکی باعث کاهش تجمع نیتروژن در دانه گردید (Taheri et al., 2021; Mirzaei Heydari et al., 2023). به نظر می‌رسد که این نتایج با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌خوانی ندارد، چرا که در پژوهش حاضر، با کاهش دسترسی لوبیا چشم‌بلبلی به آب، میزان پروتئین دانه آن بیشتر شد. میزان پروتئین دانه رابطه مستقیم با محتوای نیتروژن دانه داشت، به‌طوری که میزان پروتئین دانه با اندازه‌گیری میزان نیتروژن، تعیین می‌شود (Eskandari et al., 2023). بنابراین، به نظر می‌رسد که در شرایط کمبود آب، میزان تجمع نیتروژن در دانه لوبیا چشم‌بلبلی بیشتر شده است. با این حال، برای ارائه نتایج دقیق‌تر، به تحقیقات بیشتر نیاز دارد. نیاز به ذکر است که در تولید پروتئین، عملکرد پروتئین (بر حسب کیلوگرم در هکتار) نیز مد نظر قرار می‌گیرد. عملکرد پروتئین، صفتی است که علاوه بر درصد پروتئین دانه، از عملکرد دانه نیز تأثیر

می‌پذیرد. به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر اثر عملکرد دانه بر عملکرد پروتئین تا حدودی بیشتر از محتوای پروتئین دانه (بر حسب درصد) بود، چرا که تیمار کود شیمیایی و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، یک تیمار برتر از نظر عملکرد پروتئین بود، ولی در همین تیمار، محتوای پروتئین دانه، پایین بود. با این حال، براساس نتایج پژوهش حاضر، در صورتی که از کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار آورده + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات) به عنوان منبع تغذیه استفاده شود، می‌توان با کاهش تأمین نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد پروتئین مطلوبی به دست آورد (جدول ۳).

نتیجه تحقیقات مختلف نشان داده است که معمولاً با کاهش تأمین آب مورد نیاز گیاهان، بهره‌وری آب بیشتر می‌شود (De Pinho Sousa et al., 2022; Gonulal, 2022). باید توجه داشت که منظور از بهبود بهره‌وری آب، افزایش عملکرد در شرایط کمبود آب نیست (Yu et al., 2020)، بلکه به این معنی است که در این شرایط تنش خشکی، به‌ازای مصرف هر واحد آب، دانه بیشتری تولید می‌شود. در پژوهش حاضر نیز بالاترین بهره‌وری آب در شرایطی به دست آمد که تنها ۴۰ درصد نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی تأمین شد (جدول ۴). گزارش شده است که در شرایط کمبود رطوبت، اگر چه حجم کلی آب انتقالی به دانه کمتر می‌شود، ولی این کاهش نسبت به تأثیر بر انتقال ماده خشک به دانه به‌گونه‌ای است که در نهایت به افزایش تجمع ماده خشک به‌ازای هر واحد آب انتقال یافته منجر می‌شود که به معنی افزایش بهره‌وری آب است (El-Kassas et al., 2017). به نظر می‌رسد که چنین روندی در پژوهش حاضر نیز وجود داشته است. با این حال، باید توجه داشت که تاریخ کاشت و منبع تغذیه نیز بر بهره‌وری آب لوبیا چشم‌بلبلی تأثیر داشتند، به‌طوری که لوبیا چشم‌بلبلی زمانی توانست به بالاترین بهره‌وری آب برای تولید دانه برسد و حدود ۴۰۰ گرم دانه به‌ازای مصرف هر واحد آب (مترمکعب) تولید کند که در تاریخ دوم (۱۵ تیرماه) کشت شد و از کود شیمیایی به عنوان منبع تغذیه استفاده گردید (جدول ۴). اثر تاریخ کاشت بر بهره‌وری آب به‌گونه‌ای بود که لوبیا چشم‌بلبلی در تاریخ کاشت دوم (۱۵ تیرماه) وقتی تحت شرایط تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی قرار داشت، حدود سه درصد بهره‌وری آب بیشتری نسبت به همین تاریخ کاشت در تیمار تأمین ۴۰ درصد نیاز آبی داشت. همچنین باید اظهار داشت که کود نیز در بهره‌وری آب مؤثر بود و می‌توان با مصرف کود، تولید دانه به‌ازای مصرف هر واحد آب در لوبیا چشم‌بلبلی را بهبود بخشید که در این مورد کود شیمیایی از سایر منابع تغذیه مؤثرتر عمل کرد، به‌طوری که با مصرف کود شیمیایی، کود حیوانی و کمپوست، بهره‌وری آب به‌ترتیب ۳۵/۴، ۲۵/۷ و ۲۰/۱ درصد بهبود یافت. در این مورد، اعلام شده است که مصرف کود با بهبود رشد گیاه، به‌ویژه رشد ریشه، امکان

(درصد و عملکرد پروتئین)، می‌توان تاریخ کاشت ۱۵ تیرماه همراه با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود شیمیایی را به‌عنوان ترکیب تیماری مناسب برای دستیابی به بالاترین عملکرد دانه و پروتئین در لوبیا چشم‌بلبلی توصیه نمود. باین‌حال، در صورت بروز کم‌آبی، می‌توان تأمین نیاز آبی لوبیا چشم‌بلبلی را به ۸۰ درصد کاهش داد که در این صورت می‌توان با کاربرد کود شیمیایی، عملکرد دانه مطلوب (حدود ۲۴۵۰ کیلوگرم در هکتار با افت حدود ۱۴ درصدی نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و همچنین عملکرد پروتئینی برابر با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف کود شیمیایی را به دست آورد. اگرچه نتایج این پژوهش در یک بازه زمانی یک‌ساله، ترکیب تیماری بهینه و راهکار مدیریت کم‌آبی را نشان داد، اما برای اطمینان از پایداری این راهکارها تحت شرایط مختلف محیطی، انجام مطالعات بلندمدت چندساله، ضروری به نظر می‌رسد.

بهره‌برداری بیشتر از آب موجود در خاک را برای گیاه فراهم می‌کند که در نهایت به بهبود بهره‌وری آب منجر می‌شود (Wang et al., 2018) که با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. باین‌حال، گزارش شده است که مصرف بیش از حد کود، به‌ویژه نیتروژن، مانع از انتقال و توزیع مواد پرورده به ریشه شده و در نتیجه جذب آب توسط ریشه را کاهش داده که منجر به افت بهره‌وری آب می‌شود (Shi et al., 2023). به نظر می‌رسد که چنین شرایطی (فراهمی عناصر غذایی بیش از حد نیاز گیاه) در پژوهش حاضر وجود نداشته است، چرا که مصرف منابع تغذیه در نهایت به بهبود بهره‌وری آب منجر گردید.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن صفات مرتبط با رشد و تولید دانه (ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت) و کیفیت دانه

References

- Akbari, J., & Maleki, A. (2018). The effect of ascorbic acid and salicylic acid foliar on vegetative properties and yield and yield components of *Vigna unguiculata* L. under drought stress. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(2), 159-180. (In Persian with English Abstract). <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-286-en.html>
- Amiriyani Chelan, Z., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Amini, R., & Sarikhan, M. R. (2019). Effect of biological and chemical fertilizers on growth traits and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) under copper toxicity stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29, 141-154. (In Persian with English Abstract).
- Azizi, S., Zare, N., Sheikhzadeh, P., Azizi Mobser, J., & Karimizadeh, R. (2024). Effects of drought stress and re-irrigation at the flowering stage on the physiological and biochemical response and yield in promising lentil lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 123-137. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.362098.655018>.
- Bondok, A. T., Sakar, H. M., Abo-Marzoka, S. A., Saad-Allah, K. M., & Rady, A. M. S. (2024). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) morpho-physiological and yield responses to chemical, organic, and biofertilizers at various watering levels utilizing drip irrigation system. *Plant Production Science*, 27, 110-124. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2340833>
- Danaei Rad, A., Zamani, G. R., & Fallahi, H. R. (2023). The effect of foliar application of cycocel on quantitative traits related to the yield of mung bean (*Vigna radiata*) genotypes under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 14(2), 223-235. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2023.82200.1058>
- De Pinho Sousa, D., Nunes, H. G. G. C., Ferreira, D. P., Moura, V. B., de Aviz, W. L. C., Santos, H. C. A., de Novoa Pinto, J. V., de Oliveira Vieira, I. C., Fernandes, G. S. T., & Silva, E. R. R. (2022). Performance of cowpea under different water regimes in Amazonian conditions. *Horticulturae*, 8, 335. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040335>
- El-Kassas, M. S., El-hamamhy, M. A. M., & El-beikh, A. K. (2017). Organic fertilizers improved growth and productivity of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water stress condition in El-Arish region. *Hortscience Journal of Suez Canal University*, 6, 1-13.
- Eskandari, H., & Alizadeh-Amraie. (2018). Effect of planting pattern and alternate furrow irrigation on productivity of water and land under wheat and Persian clover intercropping. *Journal of Water Research in Agriculture*, 2(32), 179-186. (In Persian with English Abstract).
- Eskandari, H., Mosavian, S. N., & Kazemi, K. (2023). Effect of planting date and nitrogen and zinc fertilizers on phenological traits, and grain yield and quality of bread wheat in Ahvaz climatic conditions. *Cereal Research*, 12(4), 349-366. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22124/CR.2023.24668.1771>

- Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., & Ghasemi-Golezani, K. (2009). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Sustainable Agricultural Science*, 20, 39-51. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.1001.1.24764310.1389.20.1.4.5>
- Esmaili Khanbehbin, H., Dadashi, M. R., Feyzbakhah, M. T., Sheikh, F., & Nakhzari Moghadam, A. (2025). Effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of new faba bean lines (*Vicia faba* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 18(2), 283-298. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2024.7085.2260>
- Gomes, A. M. F., Rodrigues, A. P., António, C., Rodrigues, A. M., Leitão, A. E., Batista-Santos, P., Nhantumbo, N., Massinga, R., Ribeiro-Barros, A. L., & Ramalho, J. C. (2020). Drought response of cowpea (*Vigna unguiculata*) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104060. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104060>
- Gonulal, E. (2022). Effect of different water stress levels on biomass, root yield and some physiological parameters of sorghum. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 24(6), 1487-1500. <https://doi.org/10.52547/jast.24.6.1487>
- Hall, C., Hillen, C., & Robinson, J. G. (2017). Composition, nutritional value and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry*, 94, 11-31. <https://doi.org/10.1094/CCEM-03-16-0069-FI>
- Haqshenas, A., Azizi, K., Bakhtiari, N., & Heydari, S. (2025). Evaluation of photosynthetic pigments, yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) in response to humic acid application and irrigation interruption. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 217-233. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.379755.1310>
- Hughes, G., Ryan, D. J., Mukherjea, R., & Schasteen, C. S. (2023). Soy protein: A comprehensive review of composition, health benefits, and applications comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1447-1482.
- Iran Meteorological Organization (IMO). (2024). Meteorological data of Shadegan. Available at: <https://data.irimo.ir/>
- Jahan, M., & Behzad Amiri, M. (2020). Effect of water superabsorbent levels, nutrition management and salicylic acid on soil characteristics, water use efficiency and morphological characteristics and yield of bean (*Phaseolous vulgaris* L.) in drought stress. *Crop Production*, 12, 1-20. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.14761.2108>
- Keramati, S., Gholami, A., Baradaran, M., & Abbasdokht, H. (2021). The Effect of yeast extract on physiological and biochemical indicators of cowpea in drought stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, 23, 247-263. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.295925.2338>
- Kazemi, K., & Mosavian, S. Y. (2022). Effect of partial root zone irrigation and fertilizing management on grain yield and water productivity of faba bean. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4, 277-289. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.310804.1148>
- Li, G., Gua, X., Sun, W., Hou, L., Wang, G., Tian, R., Wang, X., Qu, C., & Zhao, C. (2024). Nitrogen application in pod zone improves yield and quality of two peanut cultivars by modulating nitrogen accumulation and metabolism. *BMC Plant Biology*, 24, 48. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04725-1>
- Melo, A. S. D., Costa, R. R. D., Sá, F. V. D. S., Dias, G. F., Alencar, R. S. D., Viana, P. M. D. O., Peixoto, T. D. C., Suassuna, J. F., Brito, M. E. B., & Ferraz, R. L. D. S. (2024). Modulation of drought-induced stress in cowpea genotypes using exogenous salicylic acid. *Plants*, 13, 634. <https://doi.org/10.3390/plants13050634>
- Memari, M., Dadashi, M. R., Sheikh, F., & Faghani, E. (2020). Seed yield response of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes to drought stress. *Seed and Plant*, 36(2), 241-254. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/sppi.2020.123208>
- Mirzaei Heydari, M., Fathi, A., & Atashpikar, R., (2023). The effect of chemical and biofertilizer on the nutrient concentration of root, shoot and seed of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 5, 539-554. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.334186.1212>
- Mohammadi, M., Ghane, M., Majnoun Hoseini, N., & Moghaddam, H. (2019). Response of lentil (*Lens culinaris* L.) yield and physiological traits to chemical and bio-phosphorus fertilizers under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 10, 1107-1120. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i4.60879>
- Mohseni Amin, A., Kooshki, M.H., Shahverdi, M., Mozaffarian, F., Nasrollahi, M., Nabati, E., Chegeni, A., & Astereki, H. (2021). Effect of planting date of Khomein native Pinto bean variety on the population

- density of *Empoasca decipiens* and *Thrips tabaci* and their impact on crop yield indices. *Plant Pest Research*, 11, 87-101. (In Persian with English Abstract).
- Mokari, M., Abedinpour, M., & Dehghan, H. (2020). Effect of drought stress and planting date on grain yield and water use efficiency of autumn wheat in Kashmar region. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*, 34, 167-187. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122256>
- Moore, K. L., Tosi, P., Palmer, R., Hawkseford, M. J., Grovenor, C. R. M., & Shewry, P. R. (2016). The dynamics of protein body formation in developing wheat grain. *Plant Biotechnology Journal*, 14, 1876-1882. <https://doi.org/10.1111/pbi.12549>
- Nunes, H. G. G. C., Sousa, D. P., Moura, V. B., Ferreira, D. P., Pinto, J. V. N., Vieira, I. C. O., Farias, V. D. S., Oliveira, E. C., Souza, P. J. O. P. (2019). Performance of the aqua crop model in the climate risk analysis and yield prediction of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Australian Journal of Crop Science*, 13, 1105-1112. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1590>
- Rahmani, T., Heydari Sharif Abad, H., & Madani, H. (2012). Study of the effect of planting date on yield on red bean cultivars in Aligoodarz region. *Journal of New Finding in Agriculture*, 4, 321-335. (In Persian).
- Shafaroodi, A., Zavareh, M., Peyvast, G. A., & Dorri, H. R. (2010). Effect of sowing date and plant density on grain yield and yield components in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 22, 47-61. (In Persian with English Abstract).
- Shi, J., Zhou, H., Xu, M., Zhang, Q., Li, J., & Wang, J. (2023). Fertilization highly increased the water use efficiency of spring maize in dryland of northern China: A meta-analysis. *Agronomy*, 13, 1331. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051331>
- Tadayon, M. R., & Bahador, M. (2018). Effect of deficit irrigation on yield, yield components and protein content of some mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(2), 97-107. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.29252/jcpp.8.2.97>
- Taheri, F., Maleki, A., & Fathi, A. (2021). Study of different levels of nitrogen fertilizer and irrigation on quantitative and qualitative characteristics of quinoa grain yield. *Scientific Journal of Crop Physiology*, 13(50), 135-149. (In Persian with English Abstract).
- Wang, L., Palta, J. A., Chen, W., Chen, Y., & Deng, X. (2018). Nitrogen fertilization improved water-use efficiency of winter wheat through increasing water use during vegetative rather than grain filling. *Agricultural Water Management*, 197, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.010>
- Yazdi Samadi, B., & Peyghambari, S. A. (2000). Effect of sowing date and seed rate on agronomic characteristic of lentil (*Lens culinaris* L.) in Karaj. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 31, 667-675. (In Persian with English Abstract).
- Yu, L., Gao, X., & Zhao, X. (2020). Global synthesis of the impact of droughts on crops' water-use efficiency (WUE): Towards both high WUE and productivity. *Agricultural Systems*, 177, 102723. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102723>
- Zeinvand, M., Alinejadian Bidabadi, A., Sohrabi, A., Feizian, M., & Akbarpour, O.A. (2022). The effect of amendment materials on morpho physiological properties, yield and element in grain of bean (*Vicia faba* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(2), 129-143. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.45936.2679>