Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 4 (56)

Received:
2024-12-11

Accepted:
2025-01-10

Pages: 57-73

The Effect of Irrigation Intervals and Foliar Application of Phosphorus Fertilizer on Yield and Water Use Productivity in Bean Plant

Ali Abdzad Gohari[1*], Adel Ghadiri[2] and Seyed Ali Ghaffari Nejad[3]

1) Resercher of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2) Seed and Plant Improvement Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran.
3) Assistant professor of Department of Soil Fertility and Plant Nutrition, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*Corresponding author emails: abdzadgohari_a@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: Agriculture is the largest consumer of water worldwide, using 70% of all freshwater resources. Common bean (Phaseolus vulgaris L.) is an important legume that is of great economic importance in many countries. Common beans constitute about half of the world's consumed legumes and play a major role in providing protein in the human diet. Water resources are a scarce and limiting factor for the expansion of crop cultivation and production in many arid and semi-arid regions. Proper and efficient water delivery can help increase crop yield and improve water and fertilizer use efficiency. Improving water use productivity without any reduction in yield is considered a very important issue to meet current and future food security, which may help reduce water use, reduce irrigation water losses, and increase cultivated area. Phosphorus is one of the most essential nutrients in plant growth and is a vital element of biological compounds such as nucleic acids, nucleotides, phospholipids, and phosphoproteins. The present study aimed to investigate the effects of irrigation interval management and different levels of phosphorus fertilizer on yield, water use efficiency, and production function estimation in bean plants in Guilan province.

Method: This research was conducted in Gilan province and in Astaneh-Ashrafiyeh county with latitude 37 degrees and 25 minutes, longitude 49 degrees and 94 minutes and average altitude -5 meters above sea level as a split-plot experiment in a randomized complete block design with three replications in the crop years 2022 and 2023. Irrigation management included without irrigation and irrigation at intervals of 6, 12, and 18 days as the main factor and foliar application of phosphorus fertilizer (P2O5 at 50%) at 0, 1, 2, and 3 liters per thousand liters of water as the secondary factor; which was considered at intervals of 10 days.

Results: The effect of irrigation intervals and phosphorus fertilizer and their interaction at the 1% level on biomass, pod and seed yield was significant, and the highest biomass, pod and seed yield was obtained in the 6-day irrigation interval and 1 liter fertilizer treatment per thousand liters of water with an average of 11996, 6518 and 2809 kg/ha, respectively. The highest water use productivity based on seed yield was 0.53 kg/m^3 in the without irrigation condition and 1 liter fertilizer treatment. The highest relative leaf water content was 85.4 percent in the 6-day irrigation condition and 1 liter phosphorus fertilizer treatment per thousand liters of water.

Conclusion: The results of the study showed that using appropriate amounts of phosphorus and irrigation intervals determined based on crop requirements are very important for achieving maximum yield in beans and minimizing avoidable costs and negative effects of water shortage. Simple correlation coefficients of agronomic traits showed that biomass yield, number of pods per plant, number of seeds per plant and 100-seed weight had a positive and significant correlation with seed yield. The results of stepwise regression between seed yield and other agronomic traits in beans showed that pod yield, number of pods per plant, harvest index, biomass yield, and root depth were the most effective traits, explaining 98.7 and 98.6 percent of the data changes in 1401 and 1402, respectively.

Keywords: Correlation, Production function, Regression, Water use

مقاله پژوهشی

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال چهاردهم
شماره ٤ (٥٦)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۰/۲۱

صفحات: ۷۳-۵۷

اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی کود فسفر بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در گیاه لوبیا

علی عبدزادگوهری[1*]، عادل غدیری[2] و سید علی غفاری نژاد[3]

۱) پژوهشگر، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲) بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
۳) استادیار، بخش تحقیقات حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: abdzadgohari_a@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب در سراسر جهان است که ۷۰ درصد از کل منابع آب شیرین را استفاده می‌کند. لوبیا معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) از حبوبات مهمی است که در بسیاری از کشورها دارای اهمیت اقتصادی فراوانی می‌باشد. لوبیا معمولی حدود نیمی از حبوبات مصرفی جهان را تشکیل می‌دهد و در رژیم غذایی انسان، نقش اساسی در تامین پروتئین دارد. منابع آب یک عامل کمیاب و محدود کننده برای گسترش کشت و تولیدات گیاهی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تحویل درست و کارآمد آب می‌تواند به‌افزایش عملکرد محصول و بهبود بهره‌وری مصرف آب و کود کمک کند. بهبود بهره‌وری آب بدون هیچ‌گونه کاهشی در محصول برای برآوردن امنیت غذایی در حال و آینده، از موضوعات بسیار مهم به‌حساب می‌آید که ممکن است به‌کاهش مصرف آب، کاهش تلفات آب آبیاری و افزایش سطح زیرکشت کمک کند. فسفر یکی از ضروری‌ترین مواد مغذی در رشد گیاه است و یک عنصر حیاتی از ترکیبات بیولوژیکی مانند اسیدهای نوکلئیک، نوکلئوتیدها، فسفولیپیدها و فسفو پروتئین‌ها است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات مدیریت دور آبیاری و سطوح مختلف کود فسفر بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و تخمین عملکرد تولید در بوته‌های لوبیا استان گیلان انجام شد.

روش پژوهش: این تحقیق در استان گیلان و در شهرستان آستانه‌اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه و میانگین ارتفاع ۵- متر از سطح دریا به‌صورت آزمایشی کرت‌های خرد شده در طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام شد. مدیریت آبیاری شامل بدون آبیاری و آبیاری با فواصل ۶، ۱۲ و ۱۸ روز به‌عنوان فاکتور اصلی و محلول‌پاشی کود فسفر (P_2O_5 به‌میزان ۵۰ درصد) شامل ۰، ۱، ۲ و ۳ لیتر در هزار لیتر آب به عنوان عامل ثانویه در فواصل ۱۰ روز در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: اثر فواصل آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر عملکرد زیست‌توده، غلاف و دانه معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد زیست‌توده، غلاف و دانه در دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر در هزار لیتر آب به‌ترتیب با میانگین ۱۱۹۹۶، ۶۵۱۸ و ۲۸۰۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بیشترین بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه با میانگین ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط بدون‌آبیاری و تیمار کودی ۱ لیتر بود. بیشترین درصد آب نسبی برگ با میانگین ۸۵/۴ درصد در شرایط آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از مقادیر مناسب فسفر و فواصل آبیاری که بر اساس نیاز محصول تعیین می‌شود، برای دستیابی به حداکثر عملکرد در لوبیا و به حداقل رساندن هزینه‌های قابل اجتناب و اثرات منفی کم‌آبی بسیار مهم است. ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی نشان داد که عملکرد زیست‌توده صفات، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. نتایج رگرسیون گام به‌گام بین عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در لوبیا نشان داد که عملکرد غلاف، تعداد غلاف در بوته، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده و عمق ریشه تأثیرگذارترین صفات بودند که در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به‌ترتیب ۹۸/۷ و ۹۸/۶ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین کردند. به طور کلی کشت لوبیا معمولی با فاصله آبیاری ۶ روز و مصرف ۱ لیتر کود فسفر در هزار لیتر آب برای منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: تابع تولید، همبستگی، رگرسیون، آب مصرفی

مقدمه

حبوبات از مهم‌ترین منابع گیاهی هستند که غنی از پروتئین بوده و دومین منبع غذایی انسان بعد از غلات به‌شمار می‌رود (Ziaei Nasab & Rahmati Mansour Abad, 2022). در میان حبوبات، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L) با داشتن ویتامین‌ها، ترکیبات آمینواسیدی و ۳۱ تا ۳۲ درصد پروتئین، یک ماده غذایی با اهمیت می‌باشد که سطح زیر کشت بالایی دارد (Petry et al., 2015 ; Kavian Athar & Aboutalebian, 2020). تقریباً نیمی از حبوبات مصرف شده در سراسر جهان را لوبیا تشکیل می‌دهد (Bargaz et al., 2012; Abdi et al., 2012). عوامل محیطی در سرتاسر جهان محدودیت‌های مهمی برای تولید حبوبات، به‌ویژه لوبیا معمولی ایجاد کرده است (Zaman-Allah et al., 2006). محدود کننده‌ترین منابع طبیعی برای تولید محصولات کشاورزی، آب می‌باشد. افزایش روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آبی منجر به‌کاهش مداوم سهم سرانه آب شده است. بنابراین کاهش مصرف آب با استفاده از مدیریت آبیاری کارآمد، فن‌آوری اصلاح گیاه، فواصل آبیاری طولانی‌تر، حذف آبیاری در اوایل رشد رویشی یا در مرحله بلوغ، و زمان‌بندی آبیاری در مراحل رشد گیاه، باعث صرفه‌جویی در آبیاری از طریق کاهش تعداد آبیاری می‌شود. آبیاری باید در حالی انجام شود که پتانسیل آب خاک هنوز به‌اندازه کافی بالا باشد که خاک بتواند به‌اندازه کافی رطوبت را تأمین کند و نیازهای گیاه را بدون تنش مهیا و باعث کاهش عملکرد یا کیفیت محصول نشود. مدیریت آبیاری مهم‌ترین عاملی است که تأمین به‌موقع و کافی آب را به‌بهترین شکل ممکن برای بهینه‌سازی تولید محصولات کشاورزی تضمین می‌کند. بنابراین، مدیریت مناسب در روش آبیاری، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی شده که در نهایت عملکرد بیشتر محصول، استفاده بهینه از نهاده کود و میزان هزینه را در برخواهد داشت (Paolo et al., 2015). لوبیا به‌میزان آب در داخل خاک حساس بوده و عملکرد آن در دوره‌های نامناسب آب در خاک، دچار آسیب خواهد شد. ازاین‌رو با توجه به‌محدودیت آب و سطح زیر کشت لوبیا در کشور باید در نظر داشت که رشد گیاه و تولید محصول، رابطه مستقیم با تنش‌آبی دارد (Kiani, & Saberi, 2015; Nurbakhsh et al., 2015; Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). در پژوهشی اثر تنش‌آبی و تراکم بوته بر عملکرد، اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات لوبیا در منطقه یاسوج بررسی گردید، به‌طوری که تنش‌آبی در مرحله رویشی و زایشی پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر آب از سطح تشتک تبخیر عامل اصلی و سطح مختلف تراکم بوته، عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش تنش‌آبی و تراکم بوته بر صفات وزن صددانه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، شاخص برداشت، عملکرد زیست‌توده و دانه معنی‌دار بود (Emadi et al., 2012). علایم تنش موقت در برگ‌های لوبیا به‌صورت تغییر رنگ و در تنش طولانی‌تر به صورت پژمردگی مشخص می‌شود. دوره‌های تنش در طی مرحله رویشی، رشد را کاهش داد ولی تأثیر چندانی بر عملکرد نداشت (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). نتایج پژوهشی در اراک نشان داد که اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری شیاری، تیپ و رین‌فلت بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در سطح ۵ درصد و بر مقدار آب مصرفی در سطح یک درصد بر لوبیا رقم تلاش معنی‌دار بود و در سیستم شیاری، تعداد غلاف در هر بوته ۲/۸ بود، اما میانگین این صفت در تیمار آبیاری به‌روش رین‌فلت ۲/۱۹ و در روش آبیاری تیپ ۹/۱۳ غلاف در هر بوته بود و آبیاری به‌روش رین‌فلت با میانگین ۵/۴ دانه در غلاف، نسبت به‌روش آبیاری تیپ با میانگین ۸/۳ دانه در غلاف دارای برتری ۵/۱۸ درصدی و نسبت به‌روش شیاری با میانگین ۱/۳ دانه در غلاف دارای برتری ۴۵ درصدی بود (Roodbarani et al., 2021). فسفر یکی از عناصر پرمصرف و مهم در رشد و نمو گیاهان می‌باشد که نقش آن واکنش‌های نقل و انتقال انرژی، فرآیندهای متابولیسمی گیاه، فتوسنتز، تقسیم سلولی، تشکیل فسفولیپیدهای غشاء سلول و توسعهٔ قسمت‌های زایشی در گیاه می‌باشد (Kavian Athar & Aboutalebian, 2020). کمبود فسفر خاک یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیست همراه با نیتروژن است که بهره‌وری محصول را محدود می‌کند (ShuJie et al., 2007). به‌طور کلی، گزارش شده است که ۴۰ درصد از تولید محصول در زمین‌های زراعی جهان به‌دلیل کمبود فسفر محدود می‌شود و سطوح پایین‌تر می‌تواند منجر به‌کاهش ۵ تا ۱۵ درصدی عملکرد شود (Bargaz et al., 2012). کمبود فسفر نه تنها به‌دلیل مقدار مصرف، بلکه به‌دلیل زمان مصرف نیز می‌تواند رخ دهد. در طول رشد اولیه گیاه، کمبود فسفر می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه رشد ساقه به‌دلیل کاهش سطح کل برگ، سرعت انبساط برگ، تعداد برگ‌های تولید شده و کاهش بالقوه در فتوسنتز شود (Bortolozo & Mylavarapu, 2019). در پژوهشی اثر آبیاری و کود فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در کشور هند بررسی شد و گزارش گردید که صفات عملکرد، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و فسفر قرار داشت، به‌طوری که میزان رشد گیاه با افزایش کاربرد فسفر افزایش یافت و تیمار ۷۵ کیلوگرم فسفر در هکتار برتری خود را با حداکثر ارتفاع‌بوته و شاخص سطح برگ حفظ کرد و تیمار کودی۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، عملکرد بهتری نسبت به تیمار ۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار داشت (Sarkar et al, 2017). محتوای نسبی آب برگ یکی از

مناسب‌ترین معیارها برای وضعیت آب گیاه از نظر پیامد فیزیولوژیکی و کمبود آب سلولی است. پتانسیل آب به‌عنوان تخمینی از وضعیت آبی گیاه در مواجه با انتقال آب در چرخهٔ خاک-گیاه-اتمسفر مؤثر است (Arndt et al., 2015). این صفت به‌عنوان شاخصی برای وضعیت آب در گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد که جایگزینی برای پتانسیل آب گیاه معرفی می‌شود. در واقع این شاخص به‌طور دقیق تعادل بین آب جذب شده توسط گیاه و مصرف شده از طریق تعرق را منعکس می‌کند (Lugojan & Ciulca, 2011; Ghogdi et al., 2012). تابع تولید آب-کود-عملکرد از معمول‌ترین توابع تولید و بیان کنندهٔ رابطه عملکرد گیاه با میزان آب آبیاری است. این تابع بیانگر چگونگی ارتباط بین آب آبیاری و کود مصرف شده با تولید متناظر با آن است که در آن تابع به‌دست آمده می‌تواند از نوع درجه دوم باشد و با افزایش مصرف آب یا کود، میزان عملکرد به‌صورت غیرخطی افزایش یابد. در پژوهشی، تابع تقاضای آب-کود-عملکرد در لوبیا بررسی شد و با استفاده از داده‌های تجربی، ضرایب برآورد گردید و سپس با استفاده از روش حداکثرسازی سود تابع تقاضا، بهترین تابع تولیدی تخمین زده شد (Babazadeh et al., 2014). بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های اساسی در تعیین استفاده مناسب از آب برای تولید محصولات کشاورزی می‌باشد که می‌تواند با راهبردهای بسیاری حاصل گردد که یکی از آن‌ها تغییر توان گیاهان زراعی برای تولید عملکرد قابل قبول در شرایط کم‌آبی است (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019 ; Hong-Bo et al., 2008 ; Alinezhad et al., 2017). در پژوهشی نشان داده شد که اثر آبیاری در سطح پنج درصد بر بهره‌وری مصرف آب در لوبیا معنی‌دار بود و بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در دور آبیاری ۱۸ روز با میانگین ۰/۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد (Babazadeh et al., 2014). با توجه به اهمیت کود فسفر و آب مصرفی در لوبیا در منطقه مورد مطالعه، پژوهش حاضر به‌بررسی دور آبیاری و سطوح مختلف کود فسفر بر عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و تخمین تابع تولید در گیاه لوبیا در استان گیلان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان گیلان و در شهرستان آستانه‌اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا، به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ اجرا گردید. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۲/۵×۴ متر و دارای ۴ ردیف کشت بودند. مدیریت آبیاری شامل بدون آبیاری و دور آبیاری با فواصل ۶ ، ۱۲ و ۱۸ روز به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی کود فسفر (P_2O_5 به میزان ۵۰ درصد) شامل ۰، ۱، ۲ و ۳ لیتر در هزار لیتر آب به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. محلول‌پاشی در فواصل ۱۰ روز انجام گرفت. میزان بارندگی در سال اول و دوم در طول فصل رشد به‌ترتیب ۸۵ و ۸۷ میلی‌متر بود. سایر اطلاعات مربوط به‌داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از آماده‌سازی زمین، نمونه‌های خاک از اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر برداشت شد. بافت خاک در اعماق مذکور از جنس لوم بود (جدول۲). زمین زراعی در اول اردیبهشت‌ماه شخم و سپس در نهم اردیبهشت‌ماه کاشت بذر لوبیا رقم محلی به‌صورت دستی و به‌شکل ردیفی در عمق ۳ سانتی‌متری آغاز گردید. رقم مورد مطالعه، ایستادهٔ با رشد محدود بود. روش آبیاری به‌کار رفته در این پروژه از نوع آبیاری سطحی بود، به‌طوری که فاصله بین دو پشته ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین گیاهان بر روی هر پشته ۳۵ سانتی‌متر بود. جهت آبیاری جویچه‌ها، از لوله‌های دریچه‌دار استفاده گردید. برای اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به‌هر واحد آزمایشی از کنتور استفاده شد. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از مجموع آب آبیاری و مقدار بارش تأمین شد. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی گیاه از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان رطوبتی خاک با استفاده از رابطه (۱) انجام شد.

$$I + P - ETc - R - D = \Delta S \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، I: مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P: بارندگی مؤثر (میلی‌متر) و ET_c: مقدار تبخیر-تعرق (میلی‌متر). R: مقدار رواناب خروجی از انتهای جویچه بوده که توسط فلوم WSC برآورد گردید. D: عمق آب زهکشی شده، که صفر در نظر گرفته شد. مدت زمان آبیاری بستگی به‌این دارد که چه زمانی پس از شروع آبیاری، جبهه رطوبتی به‌عمق ریشه گیاه برسد. بدین منظور، برای تعیین زمان آبیاری و تغییرات رطوبت خاک (ΔS) از دستگاه رطوبت‌سنج TDR استفاده شد. ابتدا دستگاه در خاک مزرعه کالیبره شد و هم زمان با کاشت، لوله‌های مخصوص آن در مرکز شیارها قرار داده شد. سپس در طی اعمال تیمارها، درصد رطوبت حجمی خاک در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ میلی‌متر به‌صورت روزانه قرائت گردید. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری هر لایه خاک، نمونه‌های دست نخورده توسط استوانه‌های نمونه‌برداری تهیه شد. نمونه‌ها به‌آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک کردن، کوبیدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری انجام شد. اندازه‌گیری مقادیر رطوبت حجمی خاک توسط دستگاه صفحه فشاری برای حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم به‌ترتیب در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ اتمسفر انجام شد. رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه با احتساب

راندمان ۷۰ درصد به‌نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به‌حد ظرفیت مزرعه برسد (رابطه ۲).

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i).\rho_b.D_r$$ رابطه ۲)

که در آن، d_n: عمق خالص آبیاری، Θ_{Fc}: درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی، Θ_i: درصد وزنی رطوبت موجود در خاک، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر-مکعب)، D_r: عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر) می‌باشد. در دور آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روز تعداد دفعات آبیاری به‌ترتیب ۱۲، ۶ و ۴ مرتبه و میزان آب آبیاری در سال اول به‌ترتیب ۵۰۰، ۲۵۰ و ۱۶۷ میلی‌متر و در سال دوم به‌ترتیب ۵۱۳، ۲۵۷ و ۱۷۲ میلی-متر به‌دست آمد. در انتهای فصل صفات عملکرد دانه، عملکرد غلاف، زیست‌توده، شاخص برداشت، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، طول غلاف، طول‌دانه، عمق‌ریشه، ارتفاع‌بوته، آب نسبی برگ، بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه، غلاف و زیست‌توده بررسی شد. برای نمونه‌گیری، از سه‌خط وسط کرت با رعایت اصول نمونه‌برداری، بوته‌های موجود به‌صورت‌کف‌بر برداشت و به-آزمایشگاه منتقل شد. صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته شمارش، سپس طول غلاف و طول دانه با استفاده از کولیس، و ارتفاع‌بوته نیز با کمک خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین عمق ریشه، ابتدا خاک کنار بوته با کاردک حفر و از اطراف ریشه‌ها خارج شدند، سپس عمق آن‌ها با خط‌کش اندازه-گیری شد. برای تعیین عملکرد، نمونه‌ها تا رسیدن به‌وزن خشک ثابت، به‌مدت ۴۸ ساعت داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. غلاف‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم توزین و عملکرد بیولوژیک، غلاف و دانه اندازه‌گیری و برای انجام محاسبات آماری به‌کیلوگرم در هکتار تبدیل شدند. برای تعیین وزن صد دانه در هر کرت، ۲۰۰ گرم غلاف خشک به‌عنوان نمونه انتخاب و غلاف از آن‌ها جدا گردید و تعداد ۱۰۰ عدد دانه به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازوی دقیق توزین و برحسب گرم اندازه‌گیری شد. میزان شاخص برداشت در هر پلات، از تقسیم وزن کل دانهٔ خشک بر زیست‌توده محاسبه شد. محاسبه مقدار آب نسبی برگ در یک مرحله و در زمان گلدهی انجام پذیرفت. برای تعیین مقدار آب نسبی برگ قبل از طلوع آفتاب برگ از گیاه جدا و به‌آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از انتقال نمونه به‌آزمایشگاه، وزن برگ بلافاصله اندازه‌گیری شد. سپس نمونه داخل یک بشر در آب مقطر قرار داده شد تا آب جذب نمودهٔ و به‌آماس کامل برسد. جهت جلوگیری از خروج بخار آب از ظرف، درب ظرف با کاغذ آلومینیومی پوشانده و ظرف حاوی نمونه به‌مدت ۶ ساعت در تاریکی و در دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد جهت جلوگیری از تنفس نگهداری شد. پس از مدت زمان سپری شده، برگ از داخل ظرف خارج و آب سطحی آن با کمک دستمال خشک و سپس توزین گردید. وزن حاصله، وزن آماس برگ می‌باشد. در مرحله بعد این نمونه برگ در داخل پاکت قرار داده شد و در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت جهت خشک شدن قرار گرفت. پس از طی شدن این مدت، با وزن کردن نمونهٔ برگ، وزن خشک برگ اندازه‌گیری شد. با در اختیار داشتن وزن برگ در مزرعه، وزن آماس برگ و وزن خشک برگ، میزان آب نسبی برگ با کمک رابطه (۳) محاسبه گردید (Pask et al., 2012).

$$RWC\,(\%) = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$ رابطه ۳)

که در آن، FW: وزن تر برگ (گرم)، TW: وزن آماس شده برگ (گرم)، و DW: وزن خشک برگ (گرم) بود. راهبردهای افزایش بهره‌وری مصرف آب محصول یا عملکرد تولید شده در واحد آب مصرفی (رابطه ۴)، عبارت است از کاهش مصرف آب با حفظ تولید قبلی و افزایش تولید در واحد آب مصرفی که با بهبود مدیریت تولید حاصل می‌شود (Abou Kheira Abdrabbo, 2009). تعیین فرم دقیق تابع‌تولید بستگی به-شرایط تولید و تابع هدف دارد که در این پژوهش برای تعیین تابع آب مصرفی-کود-عملکرد، از رابطه (۵) استفاده شد.

$$WP = \frac{Y}{WU}$$ رابطه ۴)

$$Y = a + b.WU + c.F + d.WU^2 + e.WU.F + f.F^2$$ رابطه ۵)

مقادیر WP: بهره‌وری مصرف آب محصول (کیلوگرم بر هکتار)، Y: مقدار عملکرد (کیلوگرم)، WU: میزان آب مصرفی (میلی‌متر)، F: میزان مصرف کود فسفر (لیتر در هکتار) و مقادیر a، b، c، d، e و f ضرایب تجربی معادله است.

جدول ۱. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

پارامترها	سال	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حداقل دما	۱۴۰۱	۱۶/۱	۱۹/۲	۱۹/۷	۲۰/۲	۲۲/۱
(سلسیوس)	۱۴۰۲	۱۷/۱	۱۸/۷	۲۱/۵	۲۰/۷	۲۱/۱
حداکثر دما	۱۴۰۱	۲۵/۴	۲۸/۵	۳۰/۹	۳۱/۸	۳۰/۷
(سلسیوس)	۱۴۰۲	۲۶/۳	۲۹/۳	۳۱/۸	۳۳/۹	۳۲/۴
ساعت آفتابی	۱۴۰۱	۵/۵	۸/۳	۹/۱	۹/۹	۷/۹
(ساعت)	۱۴۰۲	۶/۴	۹/۱	۹/۳	۱۰/۳	۷/۸
سرعت باد	۱۴۰۱	۶/۸	۶/۴	۵/۷	۶/۴	۵/۸
(متر بر ثانیه)	۱۴۰۲	۶/۶	۶/۶	۵/۳	۶/۹	۶/۱
حداقل رطوبت	۱۴۰۱	۶۳/۳	۵۶/۷	۵۶/۹	۴۹/۸	۵۵/۹
(درصد)	۱۴۰۲	۶۳/۹	۵۷/۶	۵۵/۷	۴۶/۶	۵۴/۴
حداکثر رطوبت (درصد)	۱۴۰۲	۹۴/۱	۹۱/۷	۸۶/۶	۸۹/۸	۹۴/۱
	۱۴۰۱	۹۱/۱	۹۰/۶	۸۸/۷	۸۸/۹	۹۱/۴

جدول ۲. خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه

سال‌ها	عمق خاک (سانتی‌متر)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر لیتر)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر لیتر)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی (درصد)	رطوبت وزنی در نقطهٔ پژمردگی (درصد)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)
۱۴۰۱	۰- ۲۰	۰/۶۹	۰/۰۸۵	۶/۲۸	۲۴۰	۲۰	۳۰	۵۰	۲۶/۰	۱۳/۷	۱/۴۶
	۲۰ - ۴۰	۰/۶۸	۰/۰۹۲	۶/۱۰	۲۲۹	۲۱	۲۸	۵۱	۲۶/۳	۱۴/۳	۱/۴۶
۱۴۰۲	۰- ۲۰	۰/۶۷	۰/۰۸۶	۶/۱۸	۲۳۱	۲۱	۲۹	۵۰	۲۶/۵	۱۴/۳	۱/۴۶
	۲۰ - ۴۰	۰/۷۰	۰/۰۱۰	۶/۰۲	۲۰۲	۱۹	۳۲	۴۹	۲۵/۷	۱۳/۲	۱/۴۶

هدایت‌الکتریکی در سال اول در اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۶۳۲ و ۰/۶۳۷ دسی‌زیمنس بر متر و در سال دوم در اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متر به ترتیب ۰/۶۵۷ و ۰/۶۴۹ دسی‌زیمنس بر متر بود.

برای درک بهتر روابط بین صفات مورد مطالعه و شناخت صفاتی که بیشترین نقش را در عملکرد دانه ایفا می‌کنند، از تجزیه ضرایب مسیر استفاده شد. بدین منظور با استفاده از ضرایب همبستگی و رگرسیون گام به گام، و با در نظر گرفتن عملکرد دانه به‌عنوان متغیر تابع و سایر صفات به‌عنوان متغیر علت، عواملی که بیشترین توجیه را از تغییرات متغیر تابع داشتند، شناسایی شدند. سپس با استفاده از معادلات، اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات موثر بر عملکرد، محاسبه گردیدند. برای تعیین ضرایب همبستگی و تجزیه رگرسیون از نرم‌افزار SPSS16، تجزیهٔ واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد) با نرم‌افزار MSTATC، تخمین ضرایب تابع‌تولید با نرم‌افزار STATISTICA10 و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر مدیریت آبیاری و کود فسفر و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر با میانگین ۲۸۰۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). فسفر در تمامی فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا و در مکانیسم‌های انتقال دخالت دارد و جزیی از پروتئین سلول بوده که نقش ویژه‌ای در هسته سلول و نوکلوئیدها ایفا می‌کند. همچنین فسفر در تشکیل کربوهیدرات‌ها و نقل و انتقال آن‌ها به‌دانه نقش موثری دارد. نتایج پژوهشی نشان داد که اثرات اصلی و بر همکنش خاک و کود فسفر، در سطح یک درصد بر وزن ماده خشک، غلظت و جذب کل فسفر در لوبیا معنی‌دار بود و نتایج مقایسه میانگین مصرف کود، اثر معنی‌داری بر پاسخ‌های گیاهی داشت، به‌طوری که با استفاده از روش تصویری کیت و نلسون حد بحرانی فسفر با روش اولسن ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد (Khodshenas et al., 2019). در پژوهش حاضر با توجه به خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه، میزان فسفر کمتر از حد مورد نیاز گیاه لوبیا بود که برای بر طرف نمودن این کمبود و با توجه به‌تغذیه کودی لوبیا و حد بحرانی آن، از کود فسفر به‌صورت محلول‌پاشی استفاده گردید که در نهایت به‌افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مختلف منجر شد. تحمل به‌تنش‌آبی به‌عنوان هدف اساسی در تثبیت عملکرد محصول در نظر گرفته می‌شود. مشخص شد که حساسیت عملکرد دانه به تنش، به‌شدت و مرحله زمانی که آن اعمال می‌شود، بستگی دارد. در مطالعه حاضر، عملکرد دانه و اجزای عملکرد در اثر تنش‌آبی اعمال شده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تنش‌آبی نیز به‌دلیل ایجاد اختلال در متابولیسم گیاه و کاهش انتقال مواد غذایی، باعث کاهش عملکرد خواهد شد. در تحقیقی بیان گردید که عملکرد دانه لوبیا در شرایط تنش‌آبی نسبت به‌آبیاری کامل با کاهش ۳۳/۵ درصدی همراه بود (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). در پژوهشی اثر آبیاری و کود فسفر بر عملکرد گیاه لوبیا معنی‌دار گزارش گردید و میزان عملکرد در تعداد دفعات ۳، ۴ و ۵ آبیاری به‌ترتیب ۹۲۵، ۱۲۶۴ و ۱۵۸۹ کیلوگرم در هکتار بود و در شرایط بدون کود و مصرف ۱۵ و ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۰۴۸، ۱۲۸۶ و ۱۴۴۴ کیلوگرم در هکتار را نشان داد (Eid et al., 2008).

جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب اثر مدیریت آبیاری و کود فسفر بر صفات عملکرد دانه، غلاف، زیست‌توده، شاخص‌برداشت، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		عملکرد دانه	عملکرد غلاف	عملکرد زیست‌توده	شاخص برداشت	وزن صد دانه	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته
سال	۱	۹۸۳۶۸/۰۱^{ns}	۲۰۵۰۱۳۳/۷۶^{ns}	۱۳۳۷۱۳۰۸/۱۶^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۲۱/۵۶^{ns}	۰/۰۴۶^{ns}	۱۷/۰۰۲^{ns}
تکرار (سال)	۴	۳۱۵۹۱۵/۱۴۶^{ns}	۵۱۸۸۱۴۵/۵۴^{ns}	۲۶۷۸۴۱۳۴/۶۶^{ns}	۰/۱۵۳^{ns}	۸۲/۷۱^{ns}	۱/۲۲^{ns}	۵۱/۹۵۳^{ns}
آبیاری	۳	۱۳۳۰۲۵۳۲/۲۰**	۷۲۲۰۶۸۶۹/۶۵**	۲۰۴۱۴۶۷۶۶/۱۲**	۰/۰۱۲**	۲۱۵۵/۳۹**	۳۴۵/۴۵۱**	۳۲۰۶/۵۳**
سال×آبیاری	۳	۳۸۰۰۱/۶۲^{ns}	۹۵۲۰۴۸/۲۳^{ns}	۶۶۹۳۸۲۹/۴۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۵۸^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۱/۲۸^{ns}
خطا	۱۲	۱۶۳۶۹۲/۴۴	۲۳۰۹۲۲۳/۳۱	۱۱۶۵۸۷۴۵/۴۰	۰/۰۲۵	۲۲/۰۰۱	۰/۵۲۶	۹/۸۱۴
کود	۳	۲۲۸۷۵۳۸/۷۳**	۱۱۴۶۱۷۷۸/۷۶**	۳۸۰۰۹۳۹۶/۱۸**	۰/۰۱۵**	۲۴۸۷/۵۰**	۷۰/۰۴۶**	۹۹۸/۵۲**
سال×کود	۳	۷۴۶۴/۳۷۲^{ns}	۱۸۹۳۸۱/۲۸^{ns}	۱۶۲۵۵۰۳/۲۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۵۰۳	۰/۰۰۱	۰/۲۸۲
آبیاری×کود	۹	۵۶۹۳۱۱/۲۵**	۴۲۳۰۰۷۸/۴۹**	۲۱۰۴۶۹۱۸/۸۵**	۰/۰۱۱۲**	۲۹۵/۹۳**	۱۰/۹۳۲**	۵۱۸/۱۴۵**
سال×آبیاری×کود	۹	۴۳۳۶/۱۳۱^{ns}	۱۲۹۶۱۱/۳۲^{ns}	۱۲۸۹۳۳۶/۸۵^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۶۷^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۲۱۴^{ns}
خطا	۴۸	۲۹۰۱۶/۷۷۱	۳۴۲۱۲۸/۹۸	۲۱۵۶۰۲۵/۲۴	۰/۰۳۷	۴۸/۳۵	۱/۰۸۵	۹/۰۱۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۴/۹	۲۵/۰۳	۲۹/۶۹	۷/۷۹	۱۳/۱	۱۰/۱	۶/۱۱

ns، ** ، * به ترتیب بی معنی، معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب اثر مدیریت آبیاری و کود فسفر بر صفات طول غلاف، طول دانه، عمق‌ریشه، ارتفاع‌گیاه، آب نسبی برگ و بهره‌وری مصرف آب

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		طول غلاف	طول دانه	عمق ریشه	ارتفاع بوته	آب نسبی برگ	بهره‌وری مصرف آب مبتی بر عملکرد	
							غلاف	دانه
سال	۱	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۰۸۸^{ns}	۰/۴۸۲^{ns}	۱۱/۰۷^{ns}	۳۲/۰۹^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۰۴۲^{ns}
تکرار (سال)	۴	۰/۱۶۵^{ns}	۰/۰۹۶^{ns}	۵/۳۲۴^{ns}	۱۹/۷۸۹^{ns}	۵۶/۵۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۶۹^{ns}	۰/۴۴۸^{ns}
آبیاری	۳	۶۹/۱۸۹**	۴۵/۵۸۸**	۳۶/۳۵۲**	۱۱۶۴/۰۶**	۴۲۷۵/۸۷**	۰/۰۷۲**	۰/۱۳**	۰/۲۷۲**
سال×آبیاری	۳	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۳۲۳^{ns}	۱/۹۴^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۱۱۴^{ns}	۰/۲۴۷^{ns}
خطا	۱۲	۰/۵۰۴۱	۰/۵۵۹	۲/۲۱۷	۶/۸۶۹	۷/۴۳۸	۰/۰۱۳	۰/۰۷	۰/۲۳۵
کود	۳	۲۷/۶۹**	۷۸/۷۶۵**	۱۱/۷۴۵**	۳۴۵/۷۲۵**	۲۴۴/۹۷**	۰/۱۵۴**	۰/۶۹۸**	۱/۵۰۳**
سال×کود	۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۰/۰۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱
آبیاری×کود	۹	۴/۳۳۱**	۷/۹۵۸**	۶۶/۰۲۱**	۹۲/۲۶۷**	۱۴۴/۵۶۳**	۰/۰۱۲**	۰/۱۳۳**	۰/۴۳۷**
سال×آبیاری×کود	۹	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
خطا	۴۸	۰/۳۲۶	۱/۱۷۴	۳/۵۹۳	۱۹/۲۳۱	۷/۷۹۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۳۹
ضریب تغییرات (درصد)		۵/۵۶	۸/۱۴	۹/۲۸	۹/۷۴	۴/۷۹	۱۸/۳۲	۱۲/۷۹	۱۸/۰۳

ns، ** ، * به ترتیب بی معنی، معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کود فسفر در صفات عملکرد دانه، غلاف، زیست توده، شاخص برداشت، وزن صد دانه و تعداد غلاف در بوته

دور آبیاری	کود (در هزار لیتر آب)	عملکرد دانه	عملکرد غلاف	زیست توده	شاخص‌برداشت	وزن صد دانه	تعداد غلاف
		(کیلوگرم بر هکتار)			(درصد)	(گرم)	در بوته
بدون آبیاری	۰	۲۹۲l	۴۹۱k	۷۳۷m	۰/۴۰b	۳۵/۸j	۷/۷h
	۱ لیتر	۴۵۹j	۷۱۱j	۱۰۲۹l	۰/۴۵a	۴۶/۵g	۷/۷h
	۲ لیتر	۴۰۶j	۷۸۰j	۱۱۱۵k	۰/۳۷c	۴۵/۶h	۸/۳g
	۳ لیتر	۳۹۳k	۹۰۴i	۱۴۲۴j	۰/۲۸h	۴۸/۱f	۶/۰i
۶ روز	۰	۱۵۹۹c	۳۱۰۷c	۴۶۳۱c	۰/۳۶d	۴۲/۶g	۱۴/۰c
	۱ لیتر	۲۸۰۹a	۶۵۱۸a	۱۱۹۹۶a	۰/۲۸h	۶۷/۲b	۱۹/۸a
	۲ لیتر	۲۷۹۰b	۶۳۲۸b	۱۰۵۷۹b	۰/۳۱g	۶۶/۸b	۱۷/۱b
	۳ لیتر	۱۴۳۳d	۳۱۳۸c	۴۲۱۴d	۰/۳۶d	۶۴/۲bc	۱۲/۳d
۱۲ روز	۰	۹۳۰g	۱۸۷۸g	۲۸۴۵h	۰/۳۴f	۴۹/۹f	۷/۵h
	۱ لیتر	۱۱۷۰f	۲۳۹۴de	۳۲۰۹f	۰/۳۷c	۷۰/۳a	۱۱/۱e
	۲ لیتر	۱۳۵۰e	۲۶۶۰d	۴۰۵۰e	۰/۳۴f	۶۰/۶c	۱۱/۴e
	۳ لیتر	۹۷۲g	۱۸۵۷g	۲۸۷۳h	۰/۳۵e	۵۵/۶de	۸/۷g
۱۸ روز	۰	۶۲۴i	۱۲۵۶h	۲۰۶۴i	۰/۳۱g	۲۷/۹i	۷/۷h
	۱ لیتر	۱۱۰۷f	۲۱۱۸e	۳۲۲۳f	۰/۳۶d	۵۴/۰e	۸/۸g
	۲ لیتر	۱۱۳۷f	۱۹۶۳f	۳۰۹۹g	۰/۳۷c	۵۷/۹d	۹/۸f
	۳ لیتر	۷۱۲h	۱۲۸۶h	۲۱۰۲i	۰/۳۴f	۴۴/۱i	۶/۷i

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل دور آبیاری و کود فسفر بر صفات تعداد دانه در بوته، طول غلاف، طول دانه، عمق‌ریشه، ارتفاع‌گیاه، آب نسبی‌برگ و بهره‌وری مصرف آب

دور آبیاری	کود (در هزار لیتر آب)	تعداد دانه در بوته	طول غلاف (سانتی‌متر)	طول دانه (میلی‌متر)	عمق ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	آب نسبی برگ (درصد)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مبتی بر عملکرد		
								دانه	غلاف	زیست توده
بدون آبیاری	۰	۳۶/۷l	۷/۵h	۹/۵h	۲۲/۴b	۳۴/۶n	۴۶/۷h	۰/۳۴g	۰/۵۷g	۰/۸۶i
	۱ لیتر	۴۵/۵g	۹/۴f	۱۴/۷c	۱۷/۴g	۴۳/۸h	۵۰/۹g	۰/۵۳a	۰/۸۳d	۱/۲۰f
	۲ لیتر	۴۴/۸h	۸/۳g	۱۱/۷f	۲۴/۵a	۴۳/۸h	۵۹/۹d	۰/۴۷b	۰/۹۱c	۱/۳۰d
	۳ لیتر	۴۷/۹f	۸/۳g	۱۰/۸g	۲۱/۱c	۴۱/۱i	۴۳/۱j	۰/۴۶c	۱/۰۵b	۱/۶۶c
۶ روز	۰	۶۷/۵c	۹/۵f	۱۰/۷e	۱۶/۱h	۴۸/۹d	۷۶/۸b	۰/۲۷j	۰/۵۲i	۰/۷۷m
	۱ لیتر	۸۶/۲a	۱۴/۶a	۱۶/۹a	۱۶/۴h	۶۱/۷a	۸۵/۴a	۰/۴۷b	۱/۰۸a	۱/۹۶a
	۲ لیتر	۷۰/۰b	۱۳/۶b	۱۷/۰a	۲۱/۴c	۵۶/۸b	۷۴/۶c	۰/۴۷b	۱/۰۵b	۱/۷۳b
	۳ لیتر	۴۲/۲i	۱۲/۰c	۱۴/۶c	۲۲/۱b	۵۴/۱c	۷۶/۰b	۰/۲۴k	۰/۵۲i	۰/۷۰n
۱۲ روز	۰	۴۱/۳j	۹/۷f	۱۲/۰e	۲۰/۰d	۳۹/۴j	۵۲/۱f	۰/۲۷j	۰/۵۵h	۰/۸۳jk
	۱ لیتر	۴۴/۰h	۱۰/۶e	۱۴/۷c	۲۴/۴a	۴۶/۵e	۵۲/۷f	۰/۳۵f	۰/۷۱f	۰/۹۴h
	۲ لیتر	۵۲/۱d	۱۰/۷e	۱۵/۲b	۱۸/۰f	۴۸/۹d	۵۸/۱d	۰/۴۰e	۰/۷۸e	۱/۱۸g
	۳ لیتر	۳۸/۴k	۱۱/۰d	۱۴/۳c	۱۶/۸h	۳۵/۷m	۴۴/۰i	۰/۲۹h	۰/۵۴h	۰/۸۴j
۱۸ روز	۰	۴۴/۸h	۸/۴g	۱۰/۹g	۲۴/۵a	۳۸/۱k	۵۱/۷fg	۰/۲۴k	۰/۴۹k	۰/۸۰l
	۱ لیتر	۴۲/۴i	۱۰/۶e	۱۳/۵d	۱۹/۶c	۴۴/۶g	۵۴/۲e	۰/۴۴d	۰/۸۳d	۱/۲۵e
	۲ لیتر	۴۸/۳e	۱۰/۲e	۱۲/۹e	۲۰/۳d	۳۶/۸l	۵۱/۴fg	۰/۴۴d	۰/۷۷e	۱/۲۱f
	۳ لیتر	۳۴/۳m	۹/۷f	۱۳/۶d	۲۱/۸c	۴۵/۲f	۵۴/۷e	۰/۲۸i	۰/۵۰j	۰/۸۲k

عملکرد غلاف

جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر عملکرد غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر نشان داد که در دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر، بیشترین عملکرد غلاف را با میانگین ۶۵۱۸ کیلوگرم در هکتار داشت (جدول ۴). بین رشد گیاه، میزان عملکرد و در دسترس بودن آب، یک ارتباط قوی وجود دارد، به طوری که در شرایط تنش، رشد گیاهان دچار اختلال می‌شود و در نتیجه قابلیت گسترش دیواره سلول و فشار تورژسانس کاهش پیدا می‌کند (Mirzaei Heydari et al., 2023; Seleiman et al., 2019 ; Miranda et al., 2021). در تحقیقی نشان داده شد که عملکرد غلاف در تیمار تنش‌آبی با میانگین عملکرد ۵۷۸۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به‌تیمار آبیاری کامل با میانگین ۷۱۵۵ کیلوگرم در هکتار با کاهش ۲۳/۸ درصدی همراه بود (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). در پژوهشی گزارش شد که میزان وزن خشک اندام هوایی و عملکرد غلاف در لوبیا در شرایط مصرف کود فسفر با مقادیر ۲ تا ۴ میلی‌مول در لیتر دارای بیشترین میزان بود و کاهش عملکرد در سطوح بیش از ۴ میلی مولار در لیتر به‌دلیل سمی شدن یا رشد بیش از حد گیاه ایجاد شد. از این‌رو وزن خشک اندام هوایی و غلاف تحت تیمارهای بالاتر فسفر کاهش خواهد یافت (Garcia-Caparros et al, 2021).

عملکرد زیست‌توده

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر نشان داد که در شرایط دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر بیشترین عملکرد زیست‌توده را با میانگین ۱۱۹۹۶ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید (جدول ۴). در پژوهشی نشان داده شد که اثر آبیاری بر عملکرد زیست‌توده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و به‌طور متوسط در تیمارهای قطع آبیاری، پس از ۵۰ درصد گلدهی و غلاف‌بندی به‌ترتیب ۴۰ و ۲۷ درصد کاهش عملکرد زیست‌توده مشاهده شد که این اختلاف ناشی از کاهش توانایی ارقام در جذب عناصر غذایی، نقصان ساخت و انتقال مواد پرورده در اثر عدم آب کافی بود که باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاه لوبیا شد (Hosseini Cici, 2018). افزایش سطح فسفر به‌گره‌سازی بهتر و کارآمدی آن کمک می‌کند و نتیجه آن افزایش جذب نیتروژن، غلاف‌های پر شده و عملکرد بیشتر است. پژوهش‌های متعددی نشان داد که رشد گیاه لوبیا در شرایط کمبود فسفر منجر به‌کاهش زیست‌توده و وزن خشک در قسمت اندام هوایی گیاه می‌شود (Ciereszko et al., 1999 ; Rychter & Randall, 1994; Garcia-Caparros et al, 2021).

شاخص‌برداشت

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر شاخص-برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر، بیشترین شاخص‌برداشت با میانگین ۰/۴۵ درصد در شرایط بدون آبیاری و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به‌مفهوم شاخص برداشت، هر عاملی که سبب بیشتر شدن عملکرد دانه نسبت به‌وزن خشک کل گیاه گردد، سبب افزایش این شاخص می‌گردد که خود نشان‌دهنده تخصیص مناسب‌تر مواد فتوسنتزی و عناصر غذایی به‌دانه است. پژوهش‌ها حاکی از آن است که شاخص‌برداشت که نشان‌دهنده میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به‌دانه می‌باشد، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای قطع آبیاری است و افزایش شاخص برداشت ناشی از افزایش وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف می‌باشد. شاخص برداشت در مراحل قطع آبیاری، در زمان گلدهی و غلاف‌بندی به‌ترتیب ۳۸ و ۲۲ درصد کاهش را نشان یافت (Hosseini Cici, 2018). در تحقیقی بیشترین شاخص برداشت با کاربرد ۹۲ کیلوگرم فسفر در هکتار و کمترین آن در تیمار بدون کود به‌دست آمد. این افزایش در شاخص برداشت با استفاده از کود فسفر به‌دلیل جابجایی بالاترین مقادیر فتواسیمیلات به دانه‌ها است (Wondimu & Tana, 2017).

وزن صد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر وزن صد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر، بیشترین وزن صد دانه با میانگین ۷۰/۳ گرم در شرایط دور آبیاری ۱۲ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر بود (جدول ۴). تنش‌آبی منجر به‌کاهش فتوسنتز و عدم انتقال مواد غذایی از برگ‌ها به‌دانه‌ها شده و همچنین باعث رسیدگی سریع دانه‌ها و در نهایت کاهش وزن دانه خواهد داشت (Hematinafar & Rahimi, 2018). اگر تنش در دوره رشد گیاه لوبیا، شدید و مداوم باشد، وزن بذر کاهش می‌یابد و در نتیجه کاهش وزن صددانه را به‌همراه خواهد داشت (Abdzad Gohari, 2012). افزایش مصرف کود فسفر به‌دلیل تامین کافی فسفر می‌تواند به-افزایش وزن بذر نسبت داده شود که این به‌نوبه خود باعث افزایش سطح فتوسنتزی و تقسیم ماده خشک بیشتر از منبع به‌مخزن شود. در مطالعه‌ای نشان داده شد که اثر فسفر بر وزن صد دانه معنی‌دار بود و بیشترین و کمترین وزن صد دانه به-ترتیب با کاربرد ۹۲ کیلوگرم فسفر در هکتار با میانگین ۵۷ گرم و بدون کود فسفر با میانگین ۴۶ گرم به‌ثبت رسید (Wondimu & Tana, 2017).

تعداد غلاف در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته با میانگین ۱۹/۸ عدد در شرایط دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر بود (جدول ۴). تنش در مراحل مختلف رشد و قبل از گلدهی لوبیا، تعداد غلاف در بوته را کاهش می‌دهد (Abdzad Gohari, 2012). در تحقیقی نشان داده شد که گیاهان تحت تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری غلاف بیشتری تولید کردند (Hosseini Cici, 2018). از عمده دلایل کاهش تعداد غلاف در بوته در تنش آبی، می‌تواند کاهش تولید مواد فتوسنتزی باشد. افزایش رقابت درون بوته‌ای به-همراه ریزش گل‌ها به‌دلیل کاهش ساخت مواد فتوسنتزی بر اثر قطع آبیاری، باعث کاهش تعداد غلاف در بوته‌های لوبیا می‌شود (Nielsen & Nelson, 1998 ; Hosseini Cici, 2018). در پژوهشی بیان شد که تیمارهای کم‌آبی باعث کاهش تعداد غلاف در ارقام لوبیا شدند که این کاهش بسته به‌رقم لوبیا بین ۲۰ تا ۷۰ درصد بود (Bayat et al., 2010). کود فسفر تشکیل ریشه زودرس را بهبود می‌بخشد و باعث افزایش گره‌سازی و بهره‌وری لوبیا می-شود (Chekanaia et al., 2018). سایر پژوهش‌ها نشان داد که کوددهی فسفر به‌طور قابل توجهی گره‌زایی و تعداد گره‌های فعال را در لوبیا افزایش داد و افزایش شدید گره‌زایی با کود فسفر اغلب زمانی مشاهده خواهد شد که خاک کمی در دسترس باشد (Tang et al, 2001; Lugojan, & Ciulca, 2011; Giller et al., 1998).

تعداد دانه در بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر، بیشترین تعداد دانه در بوته با میانگین ۸۶/۲ عدد در شرایط آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر مشاهده شد (جدول ۴). دلیل عمده کاهش تعداد دانه در شرایط تنش‌آبی، عدم تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای رشد جنین و تکامل بذر می‌باشد (Beheshti et al., 2015). تولید بیشتر دانه با افزایش مصرف کود فسفر تا حد معین ممکن است به این دلیل باشد که کود فسفر برای تشکیل گره‌ها، سنتز پروتئین، باردهی و تشکیل دانه ضروری است. این نتیجه با یافته سایر محققان که گزارش دادند تعداد دانه در لوبیا به-میزان قابل توجهی به‌مقادیر فسفر اضافه شده بستگی دارد، مطابقت داشت (Obssi et al., 2022 ; Shubhashree, 2007). در پژوهشی بیشترین تعداد دانه در بوته در مصرف ۴۶ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد، در حالی که کمترین تعداد دانه مربوط به تیمار بدون فسفر بود (Obssi et al., 2022).

طول غلاف

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر طول غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین طول غلاف با میانگین ۱۴/۶ سانتی‌متر در شرایط اثر متقابل آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر مشاهده شد (جدول ۴). در طی مطالعه‌ای کمبود آب و آب اضافی خاک در مراحل مختلف رشد و نمو بررسی شد و گزارش گردید که لوبیا بیشترین حساسیت به‌آب اضافی در خاک را در طی گلدهی دارد و آبیاری در زمان گلدهی و غلاف-بندی، میزان طول غلاف را افزایش می‌دهد، در حالی که کمبود آب، اندازه غلاف را کاهش داد (Abdzad Gohari, 2012). پژوهشی نشان داد که طول غلاف در تیمار تنش‌آبی با میانگین۸/۲ سانتی‌متر با کاهش ۱۹/۵ درصدی نسبت به‌شرایط آبیاری کامل با میانگین ۹/۸ سانتی‌متر همراه بود (Babazadeh et al., 2014). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که طول غلاف با مصرف بالاتر فسفر افزایش یافت و طولانی‌ترین غلاف با مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۸/۳ سانتی‌متر و کوتاه‌ترین طول غلاف با میانگین ۸/۱ سانتی‌متر در مصرف ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار ثبت شد (Kharbamon et al., 2015).

طول دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر طول دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر نشان داد که بیشترین طول دانه در شرایط آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ و ۲ لیتر فسفر در هزار لیتر آب به‌ترتیب با میانگین ۱۶/۹ و ۱۷ میلی‌متر بود (جدول ۴). در پژوهشی گزارش شد که با اعمال تنش‌آبی، ارتفاع‌بوته‌ها کوتاه می‌شود، اما با تأمین نیاز-آبی در طی گلدهی، از کاهش عملکرد غلاف و طول دانه جلوگیری می‌شود (Abdzad Gohari, 2012). فسفر برای افزایش اندازه دانه ضروری است و علاوه بر این، می‌تواند با تحریک تشکیل گره‌ها روی ریشه‌های حبوبات و فعالیت آنزیم‌های نیتروژناز، دسترسی نیتروژن را در خاک افزایش دهند (Idikut & Uskutoglu, 2023). در مطالعه‌ای محتوای فسفر از ۲/۴ تا ۳/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر باعث افزایش ۱۰ درصدی اندازه دانه شد (Gelin et al., 2007).

عمق ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر عمق ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر نشان داد که بیشترین عمق ریشه در شرایط بدون آبیاری و مصرف ۲ لیتر فسفر در هزار لیتر آب با میانگین ۲۴/۵ سانتی-متر و نیز در شرایط ۱۲ روز آبیاری و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب با میانگین ۲۴/۴ سانتی‌متر و همچنین در شرایط ۱۸ روز آبیاری و تیمار بدون کود با میانگین ۲۴/۵ سانتی‌متر بود (جدول ۴). ریشه‌های لوبیا می‌توانند آب را از لایه‌های بالایی حاوی رطوبت جذب نمایند، در حالی‌که رطوبت لایه‌های زیرین تقریباً دست نخورده هستند، از این‌رو بخش‌های سطحی از تراکم ریشه بیشتری برخوردار اند (Abdzad Gohari, 2012). در پژوهشی نشان داده شد که بیشترین مقدار عمق ریشه در لوبیا در دور آبیاری ۶ روز با میانگین ۱۸/۹ سانتی‌متر بود (Babazadeh et al., 2014). پژوهشگران متعددی، افزایش رشد ریشه را با مصرف بالاتر فسفر مرتبط دانستند و آن‌را عامل بهبودی جذب در گیاه لوبیا معرفی نمودند (Warren & Adams, 2002 ; Pieters et al., 2001; Zhu et al., 2010). عنصر فسفر می‌تواند سبب افزایش رشد ریشه شود و از این طریق نیز رشد گیاهان را افزایش دهد (Mirzaei Heydari et al., 2023; Jones, 2003).

ارتفاع بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۶۱/۷ سانتی‌متر در شرایط اثر متقابل آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب مشاهده شد (جدول ۴). نتایج تحقیقی در لوبیا نشان داد که شرایط تنش‌آبی بر ارتفاع بوته و تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود و تنش باعث کاهش ارتفاع بوته و کاهش سطح برگ شد (Emam et al., 2010). در پژوهشی در لوبیا، بالاترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۶/۲ سانتی‌متر در میزان مصرفی ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و کمترین میزان آن در مصرف ۲۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با میانگین ۴۲ سانتی‌متر به‌دست آمد (Bildirici & Oral, 2019).

آب نسبی برگ

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر، بیشترین آب نسبی برگ با میانگین ۸۵/۴ درصد در شرایط آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب بود (جدول ۴). محتوای آب نسبی برگ می‌تواند به‌عنوان تکنیک‌های گزینشی مقاومت به‌خشکی در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپ‌هایی با محتوای نسبی آب برگ بالاتر به‌تنش مقاوم‌تر هستند. در مطالعه حاضر کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش‌آبی ثبت شد و تنش در طول

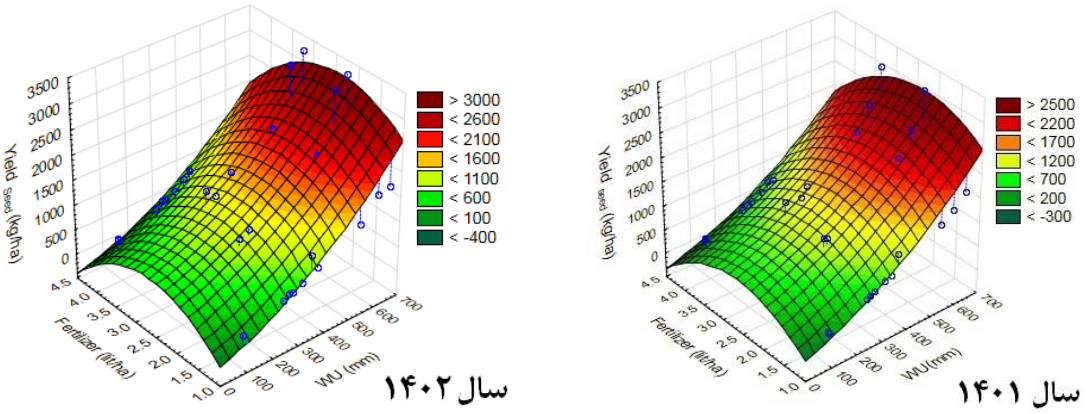
توسعه گیاه به‌طور قابل توجهی مقادیر محتوای نسبی آب را کاهش داد و در نهایت، محتوای نسبی آب برگ بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر داشت. پژوهش ها نشان داد که تنش‌آبی باعث کاهش معنی‌داری در وزن تر و خشک برگ، عمق ریشه و محتوای آب نسبی برگ می‌شود (Masheva et al., 2022). در تحقیقی بین شد که اثر تیمارهای قطع آبیاری بر عملکرد بوته و محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود و با توقف آبیاری در مرحله گل‌دهی، آب نسبی برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Chavoshi et al., 2018).

بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه، غلاف و زیست‌توده

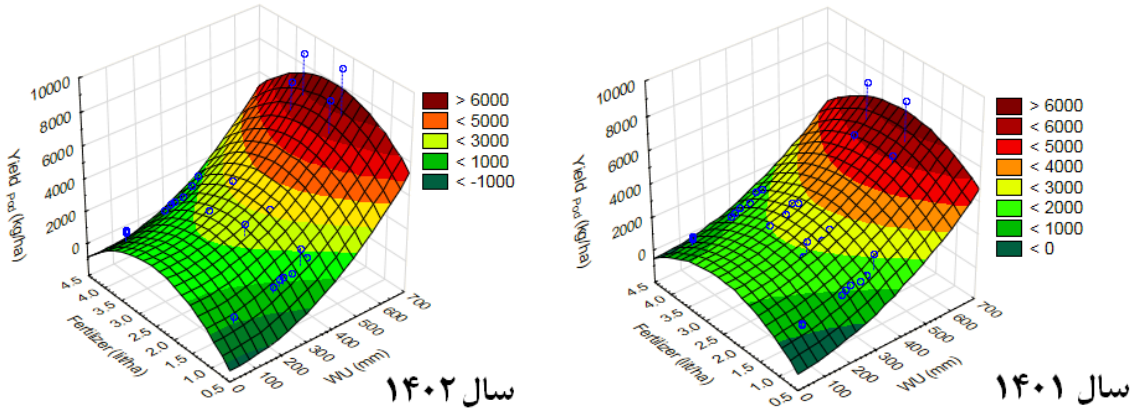
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که مدیریت آبیاری و کود فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه، غلاف، زیست‌توده معنی‌دار بود (جدول ۳). در اثر متقابل مدیریت آبیاری و کود فسفر، بیشترین بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه با میانگین ۰/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط بدون آبیاری و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب بود (جدول ۴). بیشترین بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد غلاف و زیست‌توده به‌ترتیب با میانگین ۱/۰۸ و ۱/۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب در شرایط آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب بود (جدول ۴). محققان گزارش کردند که افزایش فسفر به‌خاک تا حدودی اثرات مستقیم و غیرمستقیم تنش‌آبی را بر جذب فسفر خنثی می‌کند و راندمان مصرف آب و در نتیجه مقاومت به شرایط کم‌آبی را در گیاه افزایش می‌دهد (Mirzaei et al., 2023; Jones, 2003). گیاه لوبیا به‌نحو مؤثری از مقدار آب مصرفی در راستای تولید دانه به‌ازای هر متر مکعب آب بهره‌برداری می‌کند. افزایش بهره‌وری مصرف آب برای تولید دانه لوبیا در شرایط کم‌آبی را می‌توان با هدر رفتن بیشتر آب از طریق تبخیر-تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری مطلوب و همچنین مختل شدن فتوسنتز به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها و تقلیل سطح برگ دانست که در نهایت به کاهش عملکرد در تیمار تنش شدید کم‌آبی مرتبط دانست (Babazadeh et al., 2014). در پژوهشی، بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب در عملکرد زیست‌توده، غلاف و دانه در لوبیا در تیمار بدون آبیاری به‌ترتیب با میانگین ۷/۰۶، ۵/۲۷ و ۱/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب و در تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب با میانگین ۲/۲۴، ۱/۶۷ و ۰/۶۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). در تحقیقی دیگر، بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب مبتنی بر عملکرد دانه در لوبیا در دور آبیاری ۱۸ روز با میانگین ۰/۵۸ کیلوگرم بر متر مکعب مشاهده شد (Babazadeh et al., 2014).

تابع تولید آب مصرفی-کود-عملکرد

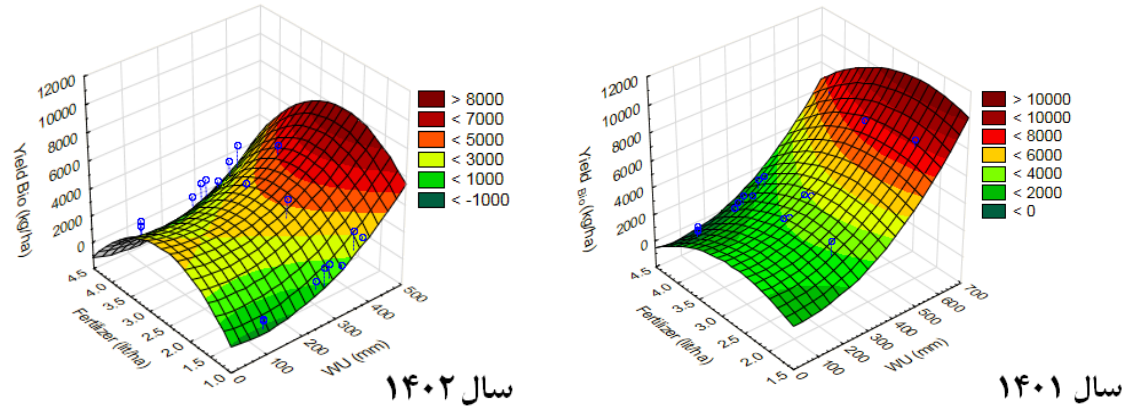
تاثیر دو نهاده آب و کود فسفر بر گیاه لوبیا نشان داد که تعیین حد مطلوب مصرف آب، مقدار مناسب مصرف کود را نیز تعیین خواهد کرد. اهمیت یک تابع، زمانی مشخص می‌شود که ضرایب مورد استفاده در آن، مبنای سیاست‌گذاری‌ها و برنامه-ریزی‌ها قرار گیرد (Hossein Zad & Salami, 2004). برآورد ضرایب توابع تولید، عمدتاً منجر به‌حذف بسیاری از متغیرهای دیگر می‌شود. در برآورد تابع آب مصرفی-کود-عملکرد، میزان عملکردها وابسته به‌آب مصرفی و کود می‌باشند که در آن ضرایب با استفاده از مدل برآورد گردیدند (شکل‌های ۱ تا ۳ و روابط جدول ۷). تخمین تابع تولید آب مصرفی-کود-عملکرد در گیاه لوبیا نشان داد که مقدار آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل، دارای بیشترین میزان عملکرد دانه، غلاف و زیست‌توده بودند و افزایش چشم‌گیری در مقادیر سایر اجزا داشتند. در مطالعه‌ای برآورد تابع تقاضای آب در گیاه لوبیا با استفاده از داده‌های تجربی و روش حداکثرسازی سود تابع آب، بررسی شد و بهترین تابع تولیدی تخمین زده شده، تابع تولید چند جمله-ای درجه یک گزارش گردید (Babazadeh et al., 2014).



شکل ۱. ارتباط آب مصرفی (WU) و سطوح مختلف کودی (F) بر عملکرد دانه ($Yield_{seed}$)



شکل ۲. ارتباط آب مصرفی (WU) و سطوح مختلف کودی (F) بر عملکرد غلاف ($Yield_{Pod}$)



شکل ۳. ارتباط آب مصرفی (WU) و سطوح مختلف کودی (F) بر عملکرد زیست‌توده ($Yield_{Bio}$)

جدول ۷. معادلات تابع تولید آب مصرفی (WU) و سطوح مختلف کودی (F) بر عملکردهای دانه ($Yield_{Seed}$)، غلاف ($Yield_{Pod}$) و زیست توده ($Yield_{Bio}$) در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲

سال	معادلات تابع تولید
۱۴۰۱	$Yield_{seed} = -1151.2513+2.0449WU+1316.6648F+0.0025WU^2-0.1572WU.F-251.7917F^2$
۱۴۰۲	$Yield_{seed} = -1306.4013+1.9286WU+1470.6645F+0.0030WU^2-0.1585WU.F-282.2844F^2$
۱۴۰۱	$Yield_{Pod} = -2215.4537+1.3813WU+2709.3064F+0.0098WU^2-0.2386WU.F-520.2292F^2$
۱۴۰۲	$Yield_{Pod} = -2875.2285-0.1322WU+3482.507F+0.0140WU^2-0.2409WU.F-674.0852F^2$
۱۴۰۱	$Yield_{Bio} = -3761.8148+0.4586WU+4599.1045F+0.0195WU^2-0.811WU.F-864.7708F^2$
۱۴۰۲	$Yield_{Bio} = -5680.7812-4.3733WU+6897.3115F+0.0331WU^2-1.0563WU.F-1311.4695F^2$

در پژوهشی، ارزش آب با استفاده از توابع تقاضای آب و توابع هزینه تخمین زده شد و گزارش گردید که ارزش بهره‌وری نهایی آب در لوبیا به‌طور متوسط ۰/۰۶ کیلوگرم بر متر مکعب است (Callaghan & Yue, 2000). در تحقیقی بیان شد که عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در گیاه گلرنگ با یکدیگر رابطه مستقیم دارند و افزایش در عملکرد دانه الزاماً افزایش در بهره‌وری مصرف آب نخواهد شد، مشروط بر این‌که میزان آب تبخیر-تعرق یافته نوسان زیادی نداشته باشد (Majd-Nassiri et al., 2002). اما چنان‌چه افزایش در عملکرد دانه، با افزایش در مصرف آب همراه باشد، رابطه بین بهره‌وری مصرف آب و عملکرد دانه دست خوش تغییرات خواهد شد که می‌تواند تابع شرایط به‌زراعی باشد.

ضرایب همبستگی ساده و رگرسیون صفات زراعی

ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی نشان داد که صفات عملکرد زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن صددانه، همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند (جدول ۸). پژوهشی در گیاه لوبیا نشان داد که ضرایب همبستگی بین تعداد دانه در بوته، طول غلاف و تعداد غلاف در بوته مثبت و معنی‌دار و شاخص‌برداشت و عملکرد بیولوژیک منفی و معنی‌داری بود (Shahgholi et al., 2017).

پژوهشگران دیگر نیز گزارش کردند که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری با صفات وزن صد دانه و طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و ارتفاع-بوته دارد (Amini et al, 2016; Sabokdast et al., 2008). با تغذیه مناسب، تعداد گل‌های بارور زیاد شده که این می‌تواند نقش مهمی با تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته داشته باشد. از طرفی نیز مصرف زیاد نهاده‌ها و به‌تبع آن، توسعه زیاد کانوپی گیاه به‌هیچ وجه تضمینی بر تاثیرگذاری بر اجزاء عملکرد و عملکرد در گیاهان رشد نامحدودی مانند لوبیا نیست و افزایش مصرف نهاده می‌تواند با افزایش عملکرد بیولوژیک، به‌عنوان رقیبی برای عملکرد دانه محسوب گردد و بر هزینه‌های تولید بیفزاید (Shahgholi et al., 2017). در تحقیقی بیان شد که میزان عملکرد دانه با گذار از شرایط نرمال به‌تنش رطوبتی کاهش قابل توجه و معنی‌داری داشت که این بیانگر تأثیرگذاری تنش رطوبتی بود، به‌طوری‌که نتایج همبستگی صفات نشان داد که بین صفات وزن غلاف در بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و طول دوره پر شدن دانه با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (Jafari et al., 2018). در پژوهش دیگر گزارش گردید که تعداد غلاف در بوته در بین اجزای عملکرد، مهم‌ترین صفت در تعیین عملکرد لوبیا بود و بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشت که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Hosseini Cici, 2018 ; Amini et al, 2016 ; Sabokdast et al., 2008). برای شناسایی مهم‌ترین صفات زراعی موثر در تشکیل دانه و محاسبه میزان تاثیر آن‌ها در عملکرد دانه از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. برای تشکیل معادله رگرسیونی خطی، عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات، متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.

جدول ۸. ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی لوبیا در سال‌های مورد مطالعه

صفات	سال	عملکرد دانه	عملکرد غلاف	زیست توده	شاخص برداشت	وزن صد دانه	تعداد غلاف در بوته	تعداددانه در بوته	طول غلاف	طول دانه	عمق ریشه	ارتفاع بوته
عملکرد غلاف	۱۴۰۱	۰/۹۷۹**	۱									
	۱۴۰۲	۰/۹۷۸**	۱									
زیست توده	۱۴۰۱	۰/۹۴۴**	۰/۹۸۶**	۱								
	۱۴۰۲	۰/۹۳۸**	۰/۹۸۴**	۱								
شاخص برداشت	۱۴۰۱	-۰/۳۱۵*	-۰/۴۴۶**	-۰/۳۱۵**	۱							
	۱۴۰۲	-۰/۳۰۴*	-۰/۳۹۴**	-۰/۴۱۴**	۱							
وزن صد دانه	۱۴۰۱	۰/۵۶۵**	۰/۵۳۵**	۰/۴۵۲**	۰/۰۲۳	۱						
	۱۴۰۲	۰/۵۶۶**	۰/۵۳۱**	۰/۴۵۴**	۰/۰۱۷	۱						
تعداد غلاف	۱۴۰۱	۰/۹۱۸**	۰/۸۶۷**	۰/۸۰۶**	-۰/۱۰۳	۰/۵۶۹**	۱					
	۱۴۰۲	۰/۹۱۵**	۰/۸۶۰**	۰/۷۹۹**	-۰/۱۰۴	۰/۵۶۸**	۱					
تعداددانه در بوته	۱۴۰۱	۰/۸۰۷**	۰/۷۶۴**	۰/۷۴۰**	-۰/۱۹۳	۰/۳۳۰*	۰/۸۸۳**	۱				
	۱۴۰۲	۰/۸۲۰**	۰/۷۸۹**	۰/۷۷۵**	-۰/۱۹۴	۰/۳۴۰*	۰/۸۸۱**	۱				
طول غلاف	۱۴۰۱	۰/۸۷۳**	۰/۸۳۳**	۰/۷۷۸**	-۰/۱۸۲	۰/۶۶۲**	۰/۸۲۶**	۰/۶۲۰**	۱			
	۱۴۰۲	۰/۸۶۶**	۰/۸۲۰**	۰/۷۶۲**	-۰/۱۸۴	۰/۶۵۸**	۰/۸۲۸**	۰/۶۲۲**	۱			
طول‌دانه	۱۴۰۱	۰/۶۷۴**	۰/۶۳۹**	۰/۵۹۱**	-۰/۰۳۲	۰/۷۰۵**	۰/۶۳۳**	۰/۴۱۴**	۰/۸۸۵**	۱		
	۱۴۰۲	۰/۶۷۰**	۰/۶۳۱**	۰/۵۸۱**	-۰/۰۳۳	۰/۷۰۳**	۰/۶۳۴**	۰/۴۱۷**	۰/۸۸۶**	۱		
عمق ریشه	۱۴۰۱	-۰/۳۰۲*	-۰/۲۵۴	-۰/۲۷۰	۰/۰۱۶	۰/۰۷۲	-۰/۲۶۵	-۰/۳۴۸*	-۰/۳۶۱*	-۰/۲۸۴	۱	
	۱۴۰۲	-۰/۲۸۲	-۰/۲۲۸	-۰/۲۳۶	۰/۰۱۳	۰/۰۸۴	-۰/۲۶۰	-۰/۳۳۵*	-۰/۳۵۶*	-۰/۲۷۸	۱	
ارتفاع بوته	۱۴۰۱	۰/۷۶۳**	۰/۷۴۲**	۰/۶۷۶**	-۰/۱۱۸	۰/۵۹۸**	۰/۸۳۳**	۰/۷۰۲**	۰/۷۷۳**	۰/۷۱۷**	-۰/۱۰۲	۱
	۱۴۰۲	۰/۷۷۲**	۰/۷۵۴**	۰/۶۹۶**	-۰/۱۲۲	۰/۶۰۴**	۰/۸۳۲**	۰/۷۱۱**	۰/۷۷۰**	۰/۷۱۴**	-۰/۰۹۱	۱
آب‌نسبی برگ	۱۴۰۱	۰/۷۹۲**	۰/۷۵۵**	۰/۶۹۳**	-۰/۰۸۸	۰/۳۶۸*	۰/۸۸۴**	۰/۷۸۳**	۰/۶۷۴**	۰/۴۵۷**	-۰/۱۵۹	۰/۸۶۰**
	۱۴۰۲	۰/۷۹۹**	۰/۷۶۸**	۰/۷۱۴**	-۰/۰۹۱	۰/۳۸۰**	۰/۸۷۸**	۰/۷۸۸**	۰/۶۷۰**	۰/۴۵۶**	-۰/۱۴۵	۰/۸۶۵**

ضریب همبستگی چندگانه (R)، ضریب تعیین (R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده (Radj) و خطای استاندارد شده (Std.Error) حاصل از نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین صفت عملکرد دانه و سایر صفات در لوبیا نشان داد که در شرایط آبیاری و مصرف کود، صفت عملکرد غلاف در سال اول و دوم به‌ترتیب دارای ضریب تعیین ۹۵/۹ و ۹۷/۷ درصدی بود. دو صفت عملکرد غلاف و تعداد غلاف در بوته در مجموع و در طی دو سال دارای ضریب تعیین ۹۷/۸ درصدی بود. اثرگذاری سه صفت عملکرد غلاف، تعداد غلاف در بوته و شاخص برداشت در سال اول دارای ضریب تعیین ۹۸/۲ درصد و در سال دوم برابر

جدول ۹. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین صفت عملکرد دانه (Y) با سایر صفات زراعی در لوبیا

سال‌ها	ضریب همبستگی چندگانه	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل‌شده	خطای استاندارد شده	معادلات
۱۴۰۱	۰/۹۷۹	۰/۹۵۹	۰/۹۵۸	۱۴۹/۰۳۵	$Y= ۱۷۸/۹۳۵+۰/۴۲۲x_1$
	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۹۷۷	۱۰۹/۴۹۶	$Y= -۱۳۴/۳۵+۰/۳۱۸\ x_1 +۵۲/۷۷x_2$
	۰/۹۹۱	۰/۹۸۲	۰/۹۸۱	۱۰۰/۸۱۹	$Y= -۴۳۳/۴۶۸+۰/۳۷۳\ x_1 +۳۳/۷۶۶x_2+۱۰۴۵/۴۷۹x_3$
	۰/۹۹۲	۰/۹۸۴	۰/۹۸۳	۹۵/۳۹۷	$Y= -۳۵۱/۴۹۴+۰/۵۴۳\ x_1 +۲۲/۹۰۶x_2+۹۰۸/۹۵۸\ x_3-۰/۰۸۸x_4$
	۰/۹۹۳	۰/۹۸۷	۰/۹۸۵	۸۸/۲۵۲	$Y= -۳۴/۴۳۸+۰/۵۸۱x_1 +۱۹/۳۵۸x_2+۸۱۱/۹۶۱x_3-۰/۱۱۱x_4-۱۲/۴۹۱x_9$
۱۴۰۲	۰/۹۷۸	۰/۹۵۷	۰/۹۵۶	۱۷۳/۱۱۴	$Y= ۲۵۵/۳۶۸+۰/۳۶۸x_1$
	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۹۷۷	۱۲۵/۹۷۹	$Y= -۱۳۵/۷۲۶+۰/۲۷۶\ x_1 +۵۹/۹۹۶x_2$
	۰/۹۹۱	۰/۹۸۳	۰/۹۸۲	۱۱۰/۶۵۴	$Y= -۸۸/۳۸۲+۰/۴۸۵\ x_1 +۴۱/۱۹۱x_2-۰/۰۹۱x_4$
	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۱۰۱/۴۰۴	$Y= ۲۵۲/۲۲۳+۰/۵۱\ x_1 +۳۵/۸۷x_2-۰/۱۰۳x_4-۱۴/۷۸x_5$

عملکرد غلاف (x_1)، تعداد غلاف در بوته (x_2)، شاخص برداشت (x_3)، عملکرد زیست توده (x_4) و عمق ریشه (x_5)

با ۹۸/۳ درصد بود. صفات عملکرد غلاف، تعداد غلاف در بوته، شاخص برداشت و عملکرد زیست‌توده حاکی از توجیه ۹۸/۴ و ۹۸/۳ درصدی ضریب تعیین برای سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ بودند. در نهایت صفات عملکرد غلاف، تعداد غلاف در بوته، شاخص‌برداشت، عملکرد زیست‌توده و عمق ریشه به‌عنوان بیشترین صفات تاثیرگذار بودند که در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به‌ترتیب ۹۸/۷ و ۹۸/۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند (جدول ۹). نتایج همبستگی صفات مختلف با عملکرد دانه و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام به‌ترتیب نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه صفات تعداد غلاف در بوته و عملکرد زیست‌توده بر عملکرد دانه بودند. در شرایط آبیاری و مصرف کود، صفت‌های مذکور دارای بیشترین ضریب تغییرات بودند که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان معیار در برنامه‌های دور آبیاری و مصرف کود فسفر به‌نحوی مطلوب استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از مقادیر فسفر و دور مناسب آبیاری که بر اساس نیاز محصول تعیین می‌شود، برای دستیابی به‌حداکثر عملکرد در لوبیا حیاتی است و هزینه‌های قابل اجتناب و اثرات منفی عدم وجود آب را به‌حداقل می‌رساند. مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین عملکرد زیست‌توده، غلاف و دانه در دور آبیاری ۶ روز و تیمار کودی ۱ لیتر فسفر در هزار لیتر آب به‌ترتیب با میانگین ۱۱۹۹۶، ۶۵۱۸ و ۲۸۰۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و هرگونه کاربرد کود بالای ۱ لیتر ضروری نبود، زیرا هیچ پاسخ عملکردی مضاعفی به‌دست نیامد. ضرایب همبستگی ساده صفات زراعی نشان داد که صفات عملکرد زیست‌توده، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صددانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام بین صفت عملکرد دانه با سایر صفات زراعی در لوبیا حاکی از آن بود که صفات عملکرد غلاف، تعداد غلاف در بوته، شاخص‌برداشت، عملکرد زیست‌توده و عمق ریشه به‌عنوان بیشترین صفات تاثیر گذار بودند که در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ به‌ترتیب ۹۸/۷ و ۹۸/۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمودند. به‌طور کلی، کشت لوبیا با استفاده از دور آبیاری۶ روز و مصرف ۱ لیتر کود فسفر در هزار لیتر آب برای منطقه مورد مطالعه توصیه می‌گردد.

Reference:

Abdi, N., Bargaz, A., Bouraoui, M., Ltaif, B., Ghoulam, C., & Sifi, B. (2012). Symbiotic Responses to Insoluble Phosphorus Supply In Common Bean (Phaseolus vulgaris L.), Rhizobia symbiosis. African Journal of Biotechnology, 11(19), 4360-4367.

Abdzad Gohari, A. (2012). Effect of Soil Water on Plant Height and Root Depth and Some Agronomic Traits in Common Bean (Phaseolus Vulgaris L) Under Biological Phosphorous Fertilizer and Irrigation Management. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3 (4), 848-853.

Abdzad Gohari, A., & Sadeghipour, O. (2019). Effect of Deficit Irrigation and Humic Acid on Yield and Water Use Efficiency in Common Bean. Journal of Water Research in Agriculture, 33(3), 383-395. (In Persian)

Alinezhad, S., Sinki, J.M., & Zarei, M. (2017). Investigation on the effect of humic and biominic acid Foliar on yield and yield components of barley under cut irrigation condition. Journal of Agronomy Research in Semi Desert Regions, 14(3), 193-203. (In Persian)

Amini, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, 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)

Arndt, S.K., Irawana, A., & Sanders, G.J. (2015). Apoplastic water fraction and rehydration techniques introduce significant errors in measurements of relative water content and osmotic potential in plant leaves. Physiologia Plantarum, 155, 355-368.

Babazadeh, H., Abdzad Gohari, A., & Khonk, A. (2014). Effect of Irrigation Management and Different Levels of Straw Mulch on Yield and Yield Components of Bean (Phaseolus Vulgaris L). Journal of Water Research in Agriculture, 29(2), 129-140 (In Persian).

Bargaz, A., Faghire, M., Abdi, N., Farissi, M., Sifi, B., Drevon, J.J., Ikbalm M.C., & Ghoulam, C. (2012). Low Soil Phosphorus Availability Increases Acid Phosphatases Activities and Affects P Partitioning in Nodules, Seeds and Rhizosphere of Phaseolus vulgaris, Agriculture, 2, 139-153.

Bayat.A. A., Sepehri, A., Ahmadvand, G., & Dorri. H.R. (2010). Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences, 12 (1), 42- 54. (In Persian)

Beheshti, S., Tadayyon, A. & Fallah, S. (2015). Effect of Humic acid on the yield and yield components of Lima Bean (Phaseolus lunatus L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Pulses Research, 7(2), 175-187. (In Persian)

Bildirici, N., & Oral, E. (2019). The effect of phosphorus and zinc doses on yield and yield components of beans (Phaseolus vulgaris L.) in Turkey Van-Gevas ecological conditions. Applied Ecology and Environmental Research, 18(2), 2539-2553.

Bortolozo, F.R., & Mylavarapu, R.S. (2019). Phosphorus requirement for irrigated bush beans production on coastal plain soils, Journal of Plant Nutrition. https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549679

Callaghan, B., & Yue, G. (2000). An Analysis of Structural Change in China using Biproportional Methods. Economic Systems Research Taylor & Francis Journals, 12(1), 99-111.

Chavoshi, S., Nourmohamadi, G., Madani, H, Heidari, H., Sharif Abad, F., & Alavi, M. (2018). Role of potassium solublizing bacteria on nutrients uptake in red bean (Phaseolus vulgaris L. cv. Goli) under water deficit condition. Legume Research - An International Journal, 41(3), 416-421.

Chekanaia, V., Chikowo, R., & Vanlauwec, B. (2018). Response of common bean (Phaseolus vulgaris L.) to nitrogen, phosphorus and rhizobia inoculation across variable soils in Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment, 266, 167-173.

Ciereszko, I., Miłosek, I., & Rychter, A.M. (1999). Assimilate distribution in bean plants (Phaseolus vulgaris L.) during phosphate limitation. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 68, 269-273.

Eid, S.M., Abdallah, M.A.A., El-Araby, A.A., & El-Saady, S.A. (2008). Effect of irrigations number and phosphorus fertilization on yield and its components of faba bean in north Nile delta. Journal of Agricultural Science, Mansoura University, 33(12), 9121-9128.

Emadi, N., Balouchi, H.R., & Jahanbin, S.H. (2012). Effect of drought stress and plant density on yield, yield components and some morphological characters of pinto bean (cv. C.O.S16) in Yasouj region. Electronic journal of agronomy plant production, 5(2), 1-17. (In Persian)

Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., & Jalali. A.H. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science, 9(5), 495-499.

Garcia-Caparros, P., Lao, T., Preciado-Rangel, P., & Sanchez, E. (2021). Phosphorus and carbohydrate metabolism in green bean plants subjected to increasing phosphorus concentration in the nutrient solution. Agronomy, 11, 245. https://doi.org/10.3390/agronomy11020245

Gelin, J.R., Forster, S., Grafton, S.K., McClean, P.E. & Rojas-Cifuentes. G.A. (2007). Analysis of seed zinc and other minerals in a recombinant inbred population of navy bean (Phaseolus vulgaris L.). Crop Science, 47, 1361-1366.

Ghogdi, E. A., Izadi-Darbandi, A., & Borzouei, A. (2012). Effects of salinity on some physiological traits in wheat (Triticum aestivum L.) cultivars. Indian Journal of Science and Technology, 5(1), 1901-196.

Giller, K.E., Amijee, F., Brodrick, S.J., & Edje, O.T., (1998). Environmental constraints to nodulation and nitrogen fixation of (Phaseolus vulgaris L) in Tanzania II. Response to N and P fertilizers and inoculation with Rhizobium. African Crop Science Journal, 6, 171-178.

Hematinafar, K., & Rahimi, M.M. (2018). Effect of different levels of superabsorbent polymers on Water Use Efficiency and characteristics of sorghum in different water regimes. Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch), 9(31), 31-40. (In Persian)

Hong-Bo, S., Li-Ye, C., Jaleel, C.A. & Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. Comptes rendus Biologies, 331, 215-22.

Hossein Zad, J., & Salami, H. (2004). Selecting a production function to estimate the economic value of agricultural water: a case study of wheat production. Journal of Agricultural Economics and Development.48: 53-84. (In Persian)

Hosseini Cici, Z. (2018). Effects of irrigation cut-off time in reproductive stages on yield and yield components of two bean cultivars in Mallard, Iran climate condition. Agroecology Journal, 1 (14), 1-8. (In Persian) https://doi.org/10.22034/aej.2018.540870

Idikut, L., & Uskutoglu, D. (2023). The Effect of Different Phosphorus and Nitrogen Doses on Bean's (Phaseolus Vulgaris L.) Grain Quality. International Journal of Anatolia Agricultural Engineering Sciences, 5(4), 76-82.

Jafari, M., Moosavi, S.S., Abdollahi, M.R., & Chaichi, M. (2018). Identification of the Effective Traits on Grain Yield Improvement in Bean Cultivars (Phaseolus vulgaris L.) under Different Moisture Stress Conditions. Plant Production Technology, 9(2), 53-66. (In Persian)

Jones, C.A. (2003). The effects of P fertilization on drought tolerance of malt barley. In western nutrient management conference, Salt Lake City, UT, 5, pp.88-93.

Kavian Athar, N., & Aboutalebian. M.A. (2020). Quantitative and qualitative reaction of common bean (Phaseolus vulgaris L.) to phosphorous and zinc sulfate application method under different rates of nitrogen starter fertilizer. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(3), 17-32. (In Persian)

Kharbamon, B., Jha, A.K., Verma, VK., Choudhury, B.U., & Deka, B.C. (2015). Effect of planting time and phosphorus dosage on growth, flowering, yield and quality of Indian bean (Lablab purpureus L.). Vegetable Science, 42 (1), 49-53.

Khodshenas, M.A., Ghadbeiklou, J. & Dadivar, M. (2019). Determination of Critical Level of Soil Phosphorus for Bean. Journal of Soil Research, 23(1). 25-35. (In Persian). https://doi:10.22092/ijsr.2019.122777.382

Kiani, A.R. & Saberi, A.R. (2015). An investigation of sweet corn yield and water use influenced by different deficit irrigation methods and two sowing patterns. Journal of Water and Soil Conservation, 21(6), 155-171 (In Persian).

Lugojan, C., & Ciulca, S. (2011). Evaluation of relative water content in winter wheat. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 15, 173–177.

Majd-Nassiri, B., Karimi, M., and Nour-Mohamadi G. (2002). Effects of growing season and plant densities on water use efficiency in safflower (Carthamus tinctorious L.) cultivars and lines. Iranian Journal of Crop Sciences, 4(4). 235-245.

Masheva, V., Spasova-Apostolova, V., Aziz, S. & Tomlekova, N. (2022). Variations in proline accumulation and relative water content under water stress characterize bean mutant lines (Phaseolus vulgaris L.). Bulgarian Journal of Agricultural Science, 28 (3), 430-436.

Miranda, M.T., Da Silva, S.F., Silveira, N.M., Pereira, L., Machado, E.C. & Ribeiro, R.V., (2021). Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on itrus rootstocks under water deficit. Journal of Plant Growth Regulation, 40(1), pp.11-19. https://doi: 10.1007/s00344-020-10069-5

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(3), 539-554. (In Persian) https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.334186.1212

Mohammadi, A., Bihamta, M.R., Soluoki, M., & Dorri. H.R. (2008). Study of quantitative and qualitative traits and their relationships with grain yield in white bean (Phaseolus vulgaris L.) under optimum and limited irrigation conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, 10(3), 231-243. (In Persian) https://doi.org/20.1001.1.15625540.1387.10.3.3.0

Nielsen, D.C., & Nelson, N.O. (1998). Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. Crop Science, 38(2), 422-427.

Nurbakhsh, S.S., Ghobadinia, M., Danesh-Shahraki, A., Nouri-Emamzadei, M.R., & Fatahi, R. (2015). Effect of Timing and Amount of Irrigation Water on Bean Yield and Water Use Efficiency in Arid and Semi-arid Conditions. Journal of Water and Soil, 29(1), 35-47. (In Persian)

Obssi, A., abdulahi, J., & Tana, T. (2022). Effect of phosphorus fertilizer rates and plant density on yield and yield related traits of common bean (Phaseolus Vulgaris L.) in dangur district, north- western Ethiopia. World Rural Observations,14(1):58-85.

Paolo, E. D., Pasquale, G. & Michele, R. (2015). Irrigation and nitrogen fertilization treatments on productive and qualitative traits of broad bean (Vicia faba var. minor L.) in a Mediterranean environment. Legume Research, 38, 209-218.

Pask, A.J. D., Pietragalla, J., Mullan, D.M. & Reynolds, M.P. (2012). Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping. Mexico, D.F. CIMMYT.

Petry, N., Boy, E., Wirth, J. P. & Hurrell, R. F. (2015). The potential of the common bean (Phaseolus vulgaris L) as a vehicle for iron biofortification. Nutrients, 7 (2), 1144-1173.

Pieters, A.J., Paul, M.J., & Lawlor, D.W. (2001). Low sink demand limits photosynthesis under Pideficiency. Journal of Experimental Botany, 52, 1083-1091.

Roodbarani, J., Mozaffari, J., & Mohseni Movahed, S.S. (2021). Comparison of bean yield in Furrow, Tape and Rain flat irrigation systems. Journal of Water and Soil Conservation. 28(2). 195-210. (In Persian) https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.18961.3443

Rychter, A.M., & Randall, D.D. (1994). The effect of phosphate deficiency on carbohydrate metabolism in bean roots. Plant Physiology, 91, 383-388.

Sabokdast, M., & Khyalparast, F.A. (2008). Study of Relationship between Grain Yield and Yield Component in Common Bean Cultivars (Phaseolus vulgaris L.). 11(42), 123-133. (In Persian) https://doi.org/20.1001.1.24763594.1386.11.42.11.5

Sarkar, S., Sarkar, A., & Zaman, A. (2017). Effect of irrigation and phosphorus levels on broad bean (Vicia faba L.) for improving growth, yield and water extraction pattern. Legume Research, 40 (2), 257-263.

Seleiman, M.F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S. & Hafez, E.M., (2019). Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of Helianthus annuus L. grown under water deficit stress. Agronomy, 9(10), pp.637. doi: 10.3390/agronomy9100637

Shahgholi, H., Asgharipour, M.R., Khamari, I., & Ghadiri, A. (2017). The Effect of Various Input Intensities on Yield and Yield Components of Common Bean Varieties. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 26(4), 49-61. (In Persian)

Shubhashree, K.S. (2007). Response of Rajmash (Phaseolus vulgaris L.) to the levels of nitrogen, phosphorus and potassium during Rabi in the Northern transition zone. University of Agricultural Sciences, Karnataka India, 1-88.

ShuJie, M., Yun, H., Xiao Zeng, Q., & An, M. (2007). Nodule formation and development in soybean (Glycine max L.) in response to phosphorus supply in solution culture. Pedosphere, 17, 36-43.

Tang, C., Hinsinger, P., Jaillard, B., Rengel, Z., & Drevon, J.J. (2001). Effect of phosphorus deficiency on the growth, symbiotic N2-fixation and proton release by two bean (Phaseolus vulgaris L) genotypes. Agronomie, 21, 683-689.

Warren, C.R., & Adams, M.A. (2002). Phosphorus affects growth and partitioning of nitrogen to Rubisco in Pinus pinaster. Tree Physiology, 22, 11-19.

Wondimu, W., & Tana, T. (2017). Yield Response of Common Bean (Phaseolus vulgaris L.) Varieties to Combined Application of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers at Mechara, Eastern Ethiopia. Journal of Plant Biology and Soil Health, 4(2), 1-7.

Zaman-Allah, M., Sifi, B., Taief, B., El Aouni, M.H., & Drevon, J.J. (2006). Rhizobial inoculation and P fertilization reponse in common Bean (Phaseolus vulgaris L.) under glasshouse and field conditions. Experimental Agriculture, 43, 1-10.

Zhu, J., Zhang, C., & Lynch, J.P. (2010). The utility of phenotypic plasticity of root hair length for phosphorus acquisition. Functional Plant Biology, 37, 313-322.

Ziaei Nasab, M., & Rahmati Mansour Abad, A. (2022). Evaluation of yield and yield components of different varieties of pinto beans (Phaseolus vulgaris L.) under water stress conditions, Bi-Quarterly Journal of Plant Production, 12(2), 1-12. (In Persian)