

Effect of sowing date, planting pattern, and foliar application of boron on seed yield of local beans (*Pachbaghela*) (*Phaseolus vulgaris* L.) in Guilan province, Iran

Saleh Hassanzadeh¹, Masoud Esfahani^{2*}, Ali Aalami³

1. Graduated MSc Student in Agro Technology – Crop Physiology / Department of Agronomy and Plant Breeding / Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran / saleh.hz82@gmail.com / Orcid ID: 0009-0001-1097-
2. Professor / Ph.D. in Crop Physiology / Department of Agronomy and Plant Breeding / Faculty of Agricultural Sciences / University of Guilan, Rasht, Iran / esfahani@guilan.ac.ir / Orcid ID: 0000-0003-2288-7944
3. Associate Professor / Ph.D. in Molecular Genetics and Genetic Engineering / Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran / Orcid ID: 0000-0002-6791-833X

Introduction

Legumes are the second most important source of human food after cereals and are considered the primary source of plant protein due to their high protein content. In addition to providing food for humans and livestock, legumes enhance the fertility of agricultural soils when grown in rotation with other crops, owing to their symbiosis with nitrogen-fixing bacteria. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important legume used for direct human consumption. Achieving high seed yield is one of the main goals of cultivating this plant, and appropriate agronomic management practices—such as determining the sowing date, row spacing, plant spacing, and providing essential nutrients—result in high biological and economic performance. Therefore, in this experiment, to find solutions to increase the yield of local beans in Guilan province, the appropriate sowing date, sowing pattern, and the effect of boron foliar application on bean growth and yield were investigated.

Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment in the form of a randomized complete block design (RCBD) with four replications during the spring and summer of 2023 in the Rudbaneh section of Lahijan, Iran. The factors examined in this experiment included sowing patterns at three levels: rectangle pattern (20×31 cm), rhombus pattern (23×27 cm), and square pattern (25×25 cm), with a constant density of approximately 16 plants per square meter. Additionally, foliar application of boron at a concentration of 0.1% was compared to no boron application. These factors were evaluated in two experiments conducted on April 25th (spring) and August 29th (summer).

Results and Discussion

The results of the combined variance analysis showed that the effect of the sowing date was significant on all tested traits except for seed protein content. These traits included plant height, number of secondary branches, number of pods per plant, percentage of fertile pods, 100-seed weight, biological yield, seed yield, seed formation rate, seed filling rate, yield

formation rate, and vegetative growth rate. In contrast, the effects of sowing pattern treatments were significant only on plant height, number of secondary branches, and 100-seed weight, with no significant effect on the other tested traits. Boron foliar application also had a significant effect on plant height, number of pods per plant, percentage of fertile pods, 100-seed weight, biological yield, seed yield, seed formation rate, seed filling rate, yield formation rate, vegetative growth rate, and seed protein content. The results showed that seed yield at the spring sowing date averaged $348.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, which was significantly higher than the summer sowing date average of $204.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (a 41% increase). Boron foliar application also significantly increased seed yield, with an average of $307.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ compared to $244.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ without boron (a 20% increase). However, sowing patterns had no significant effect on seed yield. The components of seed yield, including the number of pods per plant and 100-seed weight, were higher at the spring sowing date, with averages of 15.6 pods and 42.8 g, respectively. These values represented increases of 37% and 6%, respectively, compared to the summer sowing date. Boron foliar application also resulted in a 16% increase in the number of pods per plant and a 5% increase in 100-seed weight, with averages of 13.8 pods and 42.6 g, respectively, compared to no boron application. Additionally, the square sowing pattern achieved a higher 100-seed weight, averaging 41.8 g, compared to the rhombus and rectangle sowing patterns.

Conclusions

Based on the results of this experiment, sowing local beans of Guilan in the spring season, using the square sowing pattern, and applying boron foliar application were superior in terms of seed yield and growth indices compared to the summer sowing date, rectangle, and rhombus planting patterns, and no boron application.

Keywords: 100-seed weight, Common bean, Nutrients, Protein content of seeds, Sowing date,

اثر زمان و آرایش کاشت و محلول پاشی بور بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ باقلا) (*Phaseolus vulgaris* L.) در استان گیلان

صالح حسن زاده^۱، مسعود اصفهانی^{۲*} و علی اعلمی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی - فیزیولوژی گیاهان زراعی / دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران / Orcid ID: 0009-0001-1097-7769 / saleh.hz82@gmail.com

۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات / دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی / دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران / Orcid ID: 0000-0003-2288-7944 / esfahani@guilan.ac.ir

۳. دانشیار گروه بیوتکنولوژی / دکترای ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک / دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران / Orcid ID: 0000-0002-6791-833X / ali_aalami@guilan.ac.ir

چکیده

با توجه به اهمیت لوبیا به عنوان یک منبع غذایی غنی از پروتئین و سابقه طولانی تولید این محصول در استان گیلان، تحقیق درباره روش‌های مناسب کاشت و راهکارهای افزایش عملکرد ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۴۰۲ در بخش رودبنه شهرستان لاهیجان، استان گیلان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آرایش کاشت در سه سطح، آرایش مستطیل (۲۰×۳۱ سانتی‌متر)، لوزی (۲۳×۲۷ سانتی‌متر) و مربع (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) با تراکم ثابت (حدوداً ۱۶ بوته در مترمربع) و محلول پاشی بور با غلظت ۰/۱ درصد و عدم مصرف بور بودند که طی دو آزمایش مجزا در تاریخ‌های پنج اردیبهشت (بهار) و هفت شهریور (تابستان)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد دانه در زمان کاشت بهار با میانگین ۳۴۸/۳ گرم بر مترمربع، نسبت به زمان کاشت تابستان با میانگین ۲۰۴/۰ گرم بر مترمربع، برتری معنی‌داری داشت (۴۱ درصد افزایش). محلول پاشی بور نیز با میانگین ۳۰۷/۹ گرم بر مترمربع، نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۲۴۴/۵ گرم بر مترمربع، اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه داشت (۲۰ درصد افزایش)، ولی تیمارهای آرایش کاشت بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری نداشتند. میانگین اجزای عملکرد دانه شامل تعداد غلاف در بوته و وزن صدانه در زمان کاشت بهار به ترتیب ۱۵/۶ غلاف و ۴۲/۸ گرم بودند که نسبت به زمان کاشت تابستان به ترتیب ۳۷ و شش درصد افزایش داشتند و اثر محلول پاشی بور نیز با میانگین‌های ۱۳/۸ غلاف در بوته و وزن صدانه ۴۲/۶ گرم نسبت به عدم مصرف بور به ترتیب ۱۶ و پنج درصد برتری داشتند. در آرایش کاشت مربع با میانگین ۴۱/۸ گرم، نسبت به آرایش‌های لوزی و مستطیل، وزن صدانه بیشتری حاصل شد. بر اساس نتایج آزمایش حاضر، کشت لوبیای محلی استان گیلان (پاچ باقلا) در فصل بهار، با آرایش کاشت مربع و محلول پاشی برگی بور نسبت به کاشت در تابستان و آرایش کاشت مستطیل و لوزی از نظر عملکرد دانه و سایر صفات و شاخص‌های رشد، برتری داشت.

واژه‌های کلیدی: مواد مغذی، لوبیای معمولی، پروتئین دانه، تاریخ کاشت، وزن صدانه

مقدمه

حبوبات با داشتن ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین نقش مهمی در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز انسان دارند. پایین بودن اسید آمینه لایسین در غلات را نیز می‌توان با مصرف توأم با حبوبات جبران نمود. حبوبات به‌دلیل وجود هم‌زیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در حاصلخیزی خاک نقش مهمی دارند و پس از برداشت آن‌ها، مقدار زیادی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود. از این گیاهان به‌صورت کود سبز برای تقویت و بهبود وضعیت فیزیکی خاک نیز استفاده می‌شود (Broughton et al., 2003; Fageria & Santos, 2008). حبوبات به‌عنوان دومین منبع غذایی مهم بشر پس از غلات و اصلی‌ترین منبع پروتئین گیاهی محسوب می‌شوند. لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است که برای مصرف مستقیم انسان استفاده می‌شود. ترکیب غذایی و فواید لوبیا برای سلامت انسان به‌خوبی شناخته شده است و متخصصان تغذیه، لوبیا را به‌دلیل محتوای پروتئین بالا و ترکیبی از کربوهیدرات‌ها، الیاف غذایی و مواد معدنی (به‌ویژه آهن و روی) به‌عنوان یک منبع غذایی استثنایی توصیف می‌کنند (Didinger et al., 2022). بخش عمده سطح زیر کشت لوبیا در استان گیلان، عمدتاً به نوعی لوبیای محلی، معروف به "پاچ باقلا" اختصاص دارد که اهمیت اقتصادی کشت آن به‌دلیل هزینه‌های اندک تولید، میزان تولید و عملکرد قابل قبول و قیمت مناسب فروش آن است. دوره رشد این محصول کوتاه و در حدود ۶۰ تا ۷۰ روز بوده و قابلیت کشت به‌صورت بهاره و پاییزه را دارد (Ghanbari et al., 2023).

دستیابی به عملکرد دانه بالا در لوبیا از اهداف اصلی کشت این گیاه است که می‌تواند با تغییر عوامل ژنتیکی، محیطی و مدیریتی و برهمکنش آن‌ها به دست آید. از میان عوامل مدیریتی، تاریخ کاشت عامل مهمی است که از راه تأثیر بر طول دوره رشد رویشی و زایشی و نسبت آن‌ها بر عملکرد کمی و کیفی لوبیا اثر می‌گذارد (Dapaah et al., 2000; Mozumber et al., 2003). تاریخ کاشت مناسب، منجر به حصول عملکرد بالاتری در مقایسه با سایر تاریخ‌های کاشت می‌شود. کاشت زودهنگام باعث افزایش رشد رویشی و مصادف شدن مراحل گل‌دهی، گرده‌افشانی و اوایل دانه‌بندی با هوای گرم ماه‌های تیر و مرداد می‌شود. تأخیر در کاشت با محدودیت رشد رویشی و گل‌دهی زودهنگام گیاه همراه است، اما ممکن است طول دوره دانه‌بندی به‌دلیل مصادف شدن با هوای خنک انتهای فصل طولانی شده یا برداشت محصول به‌دلیل وقوع باران‌های پاییزی با مشکلاتی مواجه شود (Khajehpour, 2022). در آزمایشی در منطقه تالش استان گیلان، کشت بهاره پاچ‌باقلا در نیمه اول اردیبهشت به‌منظور اجتناب از هم‌زمان شدن دوره گل‌دهی و پُرشدن غلاف‌ها با دمای بالای هوا و وزش بادهای گرم برای دستیابی به بیشترین عملکرد دانه در شرایط اقلیمی منطقه توصیه شد (Jamalzehi et al., 2017). مقایسه اثر سه تاریخ کاشت ۳، ۱۰ و ۱۷ اردیبهشت بر رشد و عملکرد لوبیای محلی گیلان (پاچ‌باقلا) نشان داد که تأثیر تاریخ کشت بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده و از تاریخ کاشت اول تا تاریخ کاشت سوم، روندی کاهشی داشت (Ghorbani & Safarzadeh Vishkaei, 2019). در آزمایشی دیگر، اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه توده‌های بومی لوبیا در کشت تابستانه بر دو رقم لوبیای بومی استان گیلان (پاچ‌باقلا) رگه مشکی و رگه قرمز) مورد ارزیابی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده، صفات تعداد دانه در غلاف، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفتند و با تأخیر در کاشت، مقادیر این صفات کاهش یافتند (Shafaroodi et al., 2012).

عملیات زراعی مناسب مانند فواصل ردیف کاشت و فواصل بوته روی ردیف و تاریخ کاشت با عملکرد زیستی و اقتصادی بالا در ارتباط هستند. تعیین فواصل بوته‌ها و ردیف‌ها برای اطمینان از بهره‌برداری مناسب گیاه از نهاده‌ها مانند مواد غذایی، رطوبت و نور و در نتیجه تولید بهتر محصول ضروری است (Sirait et al., 1994). فاصله بوته‌ها در بین و روی ردیف‌ها، تعیین‌کننده فضای قابل استفاده هر بوته می‌باشد و علت افزایش عملکرد دانه در بوته در فواصل بیشتر بین و روی ردیف این است که در این شرایط بوته‌ها از منابع در دسترس و نور خورشید بهره‌برداری بهتری کرده و مواد پرورده بیشتری به مخزن‌ها

وارد می‌شود (Khajehpour, 2022). صوفی‌فرد و صادقی (Soufifard & Sadeghi, 2020) گزارش کردند که با افزایش فواصل کاشت پاچ‌باقلا در باغ‌های کف‌بر شده چای، عملکرد و اجزای عملکرد کاهش یافتند و بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و عملکرد غلاف در آرایش کشت ۲۰×۳۰ و ۲۰×۲۰ به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر گزارش شد که با کاهش فاصله ردیف‌های کاشت و افزایش تراکم بوته تا حد معینی، عملکرد دانه در توده بومی پاچ‌باقلا افزایش یافت، ولی کاهش بیش از حد فاصله ردیف کاشت به‌دلیل افزایش رقابت بین بوته‌های لوبیا و بروز محدودیت در منابع محیطی، باعث کاهش چشمگیر تعداد غلاف در بوته و افت عملکرد دانه شد (Kazemi Taskooh et al., 2017).

در ایران، پایین بودن غلظت عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی، مس، منگنز و بور در مواد غذایی مسأله‌ساز شده است که عمدتاً ناشی از عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریزمغذی در زراعت گیاهان زراعی می‌باشد. در کشورهای توسعه یافته، دو تا چهار درصد از کودهای مصرفی را کودهای حاوی عناصر ریزمغذی تشکیل می‌دهند و این نسبت در ایران ناچیز بوده و تقریباً نزدیک صفر است (Malakooti & Tehrani, 2023). ازجمله عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد و نمو گیاهان عنصر بور است. این عنصر در فرایندهای تقسیم سلولی در بافت‌های مریستمی، تشکیل جوانه‌های برگ و گل، تشکیل بافت‌های آوندی، متابولیسم قند و مواد هیدروکربنی و انتقال آن‌ها، تنظیم وضعیت آب و هدایت آن در سلول، سنتز پروتئین، تشکیل دیواره سلولی و نقل و انتقال مواد محلول و ایجاد تعادل هورمونی نقش مهمی ایفا می‌کند (Shireen et al., 2018). اودین و همکاران (Uddin et al., 2020)، گزارش کردند که سطوح مختلف مصرف بور در واحد سطح، بر رشد و نمو و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مؤثر بود و بیشترین تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن صدانه، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در تیمار ۱/۵ کیلوگرم بور در هکتار به‌دست آمد. در آزمایش دیگری، برای بررسی اثر محلول‌پاشی بور بر جذب مواد مغذی در لوبیا، گزارش شد که محلول‌پاشی بور به‌طور معنی‌داری در افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در لوبیا، تأثیرگذار بود (Mahadule et al., 2020). در تحقیقی دیگر در منطقه پیشاور پاکستان، گزارش شد که اثر رقم و محلول‌پاشی بور تأثیر قابل توجهی بر رشد، عملکرد و تولید دانه گیاه نخود داشت، به‌طوری که تعداد شاخه‌های جانبی در بوته، تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، قطر غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه در بوته، وزن تر ریشه و عملکرد دانه، همگی با محلول‌پاشی بور به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (Ullah et al., 2024). هم‌چنین، در آزمایشی گزارش شد که تیمار محلول‌پاشی ریزمغذی‌های روی و بور روی ماش پرایم شده با اسید جیبرلیک، به‌طور قابل توجهی بر پارامترهای رشد و عملکرد، تأثیرگذار بود و شاخص‌های رشدی مانند ارتفاع بوته، وزن تر بوته و عملکرد دانه، افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند (Saini et al., 2024).

آزمایش حاضر با هدف تعیین زمان و آرایش کاشت مناسب و اثر محلول‌پاشی بور بر عملکرد دانه لوبیای محلی گیلان (پاچ‌باقلا) در شرایط منطقه لاهیجان، استان گیلان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در یک مزرعه شخصی واقع در روستای پایین محله بخش رودبنه شهرستان لاهیجان در استان گیلان، در بهار و تابستان سال ۱۴۰۲ اجرا شد. مزرعه محل اجرای آزمایش در طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه و ۴۴ ثانیه و عرض جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲ دقیقه و ۳۹ ثانیه و در ارتفاع ۱۵ متر پایین‌تر از سطح دریا و در منطقه آب و هوایی معتدل و مرطوب واقع شده است. نتایج سنجش خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش و اطلاعات هواشناسی منطقه در مقطع زمانی اجرای آزمایش، به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil at the experiment site

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil at the experiment site											
عمق خاک	شن	سیلت	رس	بافت خاک	هدایت	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	بور	
Depth	Sand	Silt	Clay	Soil	اسیدیته	الکتریکی	Organic	P	K	B	
(cm)	(%)	(%)	(%)	Texture	pH	EC	Carbon	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)	(mg.kg ⁻¹)
0-30	44	48	8	لومی Loam	7.34	0.536	1.25	29.2	21.7	172.2	1.1

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال ۱۴۰۲ (ایستگاه هواشناسی لاهیجان)

Table 2. Meteorological information of the experiment site in 2023 (Lahijan Meteorological Station)

ماه	کمینه دما	بیشینه دما	میانگین دما	رطوبت نسبی	مجموع بارندگی
Month	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Average temperature (°C)	Relative humidity (%)	Total rainfall (mm)
اردیبهشت	6.7	32.2	18.2	84.5	27.0
April					
خرداد	13.8	32.5	24.5	83.4	9.9
May					
تیر	14.8	35.1	25.1	81.9	8.5
July					
مرداد	14.8	36.5	28.2	74.8	2.0
August					
شهریور	16.8	35	23.7	85.6	78.8
September					
مهر	11.1	29.5	20.1	87.0	158.7
October					
آبان	9	29	18.5	76.5	2.4
November					

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آرایش کاشت در سه سطح، آرایش مستطیل (۲۰×۳۱ سانتی متر)، لوزی (۲۳×۲۷ سانتی متر) و مربع (۲۵×۲۵ سانتی متر) با تراکم بوته ثابت (۱۶ بوته در مترمربع) (Rabiee & Ibrahimi, 2023) و محلول پاشی بور و عدم مصرف بور بودند که طی دو آزمایش مجزا در تاریخ های پنج اردیبهشت (بهار) و هفت شهریور (تابستان)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از هر مرحله آزمایش، عملیات خاک ورزی شامل شخم اولیه تا عمق ۲۰ سانتی متر به وسیله تراکتور و سپس کلوخه شکنی و یکنواخت سازی سطح خاک با استفاده از کولتیواتور انجام شد. سپس با توجه به کیفیت بستر کشت، کرت بندی زمین در قالب چهار بلوک (تکرار) و در هر بلوک، شش کرت به طول و عرض سه متر و مساحت نه مترمربع (مجموعاً ۲۴ کرت) انجام شد و فاصله بین کرت ها ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. پس از جانمایی کرت ها و قبل از کاشت بذرها، بر اساس توصیه کودی آزمایشگاه خاک شناسی، کودهای نیتروژن به مقدار ۳۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) و پتاسیم به مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع سولفات پتاسیم) به صورت نواری در مجاورت ردیف های کاشت به خاک اضافه شدند. بذر مصرفی از رقم رگه مشکى بوده و از محصول سال قبل همان منطقه تأمین شد و کاشت بذرها در عمق پنج سانتی متری خاک به صورت خشکه کاری و به روش دستی انجام شد. پس از جوانه زنی و ظهور گیاهچه ها، محل های فاقد گیاهچه، واکاری شدند. برای واکاری از گیاهچه هایی که به طور جداگانه در گلدان های کوچک رویانده شده بودند، استفاده شد. در طی فصل کشت و در فواصل زمانی مختلف وجین علف های هرز به صورت دستی انجام شد. محلول پاشی بور در آغاز مرحله رشد زایشی بوته های لوبیا (بلافاصله قبل از گل دهی؛ کد ۵۰

(BBCH) (Meier, 2001) انجام شد که به این منظور از محلول حاوی بور کلاته شده با ترکیب اتانول آمین (C_2H_7BNO) با محتوای بور ۱۱ درصد وزنی- وزنی ($W/W\%$) یا ۱۵/۴ درصد وزنی- حجمی ($W/V\%$) استفاده شد. محلول بور کلاته با غلظت ۰/۱ درصد در ۲۰ لیتر آب رقیق سازی شده و محلول حاصل به مقدار ۱۸۵ میلی لیتر در مترمربع، روی بوته های لوبیا پاشیده شد. محلول پاشی توسط دستگاه سمپاش دستی انجام شد و برای جلوگیری از سرایت ناخواسته محلول به کرت های مجاور، از پرده های پلاستیکی در اطراف کرت ها استفاده و عملیات محلول پاشی در شرایط عدم وزش باد در منطقه و در ساعات پایانی روز انجام شد. در تیمار عدم مصرف بور، از آب خالص (فاقد بور) برای محلول پاشی استفاده شد. محلول پاشی تا مشاهده سقوط اولین قطره های محلول انجام شد.

پس از رسیدگی کامل دانه های لوبیا در پایان هر فصل کشت، تعداد ۱۶ بوته از هر کرت آزمایشی با رعایت فاصله یک متر از حاشیه های کرت به عنوان نمونه آزمایشی برداشت و اندازه گیری های مربوط به هر یک از صفات گیاهی مورد بررسی، روی آن ها انجام شد. در طول فصول کشت با رصد مراحل نمو بوته های هر کرت، زمان بروز صفات فنولوژیک ثبت شد که شامل تعداد روز تا سبز شدن، تعداد روز تا مرحله دو برگ، تعداد روز تا گل دهی، تعداد روز تا آغاز تشکیل غلاف، تعداد روز تا پُرشدن دانه ها، طول دوره پُرشدن دانه ها و تعداد روز تا رسیدگی بودند که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳- صفات فنولوژیک لوبیا در زمان (فصل) کاشت بهار و تابستان
Table 3. Phenological traits of beans at sowing dates (season) of spring and summer

صفات فنولوژیک Phenological traits	بهار Spring	تابستان Summer
	تعداد روز از تاریخ کاشت No. days from sowing date	تعداد روز از تاریخ کاشت No. days from sowing date
روز تا سبز شدن گیاهیچه Days to seedlings emergence	8	7
روز تا مرحله دو برگ Days to two-leaf stage	12	11
روز تا گلدهی Days to flowering	37	35
روز تا آغاز تشکیل غلاف Days to pod formation	39	38
روز تا پُرشدن دانه ها Days to seed filling	67	74
طول دوره پُرشدن دانه ها Seed filling period	۲۸ روز از آغاز تشکیل غلاف 28 days from pod formation	۳۶ روز از آغاز تشکیل غلاف 36 days from pod formation
روز تا رسیدگی Days to maturity	71	82

صفات گیاهی مورد بررسی در این آزمایش شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه های فرعی، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف ها، تعداد دانه در غلاف، وزن صدانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُرشدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد، سرعت رشد رویشی و محتوای پروتئین دانه بودند. برای تعیین محتوای پروتئین دانه از روش کج لدا استفاده شد.

برای محاسبه درصد باروری غلاف ها از رابطه ۱ استفاده شد:

$$\text{رابطه ۱)} \quad 100 \times (\text{تعداد کل غلاف های بوته} / \text{تعداد غلاف های بارور}) = \text{درصد باروری غلاف ها}$$

برای محاسبه سرعت تشکیل دانه از رابطه ۲ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

(رابطه ۲) تعداد روز از کاشت تا تشکیل غلاف / تعداد دانه در واحد سطح = سرعت تشکیل دانه

برای محاسبه سرعت پُرسدن دانه از رابطه ۳ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

(رابطه ۳) تعداد روز از تشکیل غلاف تا رسیدگی / وزن خشک دانه = سرعت پُرسدن دانه

برای محاسبه سرعت تشکیل عملکرد از رابطه ۴ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

(رابطه ۴) تعداد روز از کاشت تا رسیدگی / عملکرد دانه = سرعت تشکیل عملکرد

برای محاسبه سرعت رشد رویشی از رابطه ۵ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

(رابطه ۵) تعداد روز از کاشت تا رسیدگی / عملکرد زیستی = سرعت رشد رویشی

طبق نتایج آزمون همگنی (F_{max} test)، واریانس‌های خطا در دو مرحله آزمایش (بهار و تابستان) تفاوت معنی‌داری نداشتند، بنابراین برای تحلیل داده‌ها از روش تجزیه واریانس مرکب استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 استفاده و مقایسه میانگین داده‌ها، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر زمان (فصل) کاشت به‌جز محتوای پروتئین دانه بر سایر صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف‌ها، وزن صددانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُرسدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد و سرعت رشد رویشی معنی‌دار بود. اثر تیمارهای آرایش کاشت فقط بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و وزن صددانه معنی‌دار بود. محلول‌پاشی بور به‌جز صفت تعداد شاخه‌های فرعی، بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف‌ها، وزن صددانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُرسدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد، سرعت رشد رویشی و محتوای پروتئین دانه اثر بسیار معنی‌داری داشت. در اثر متقابل تیمارها بر صفات مورد بررسی، برهمکنش اثر زمان (فصل) و آرایش کاشت بر درصد باروری غلاف‌ها بسیار معنی‌دار بود و برهمکنش اثر زمان (فصل) و محلول‌پاشی بور بر صفات وزن صددانه، عملکرد دانه، سرعت پُرسدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد به‌طور معنی‌داری مؤثر بود. همچنین برهمکنش اثر آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور فقط بر درصد باروری غلاف‌ها و اثر متقابل زمان (فصل)، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور نیز فقط بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات گیاهی لوبیای محلی (پاچ‌باغلا) در تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور

Table 4. Combined analysis of variance of local bean (Pach-Baghela) plant traits in sowing date, sowing pattern and boron application treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	میانگین مربعات				
			تعداد شاخه‌های فرعی No. branches per plant	تعداد غلاف در بوته No. pods per plant	درصد باروری غلاف‌ها Pod fertility (%)	وزن صددانه 100 seed weight	عملکرد زیستی Biological yield
زمان کاشت Sowing date (season)	1	129.36**	105.0208**	406.58**	84.270**	80.083**	851201.33**
فصل/ تکرار Season/Repeat	6	0.2220	0.3476	0.3154	4.618	0.256	127.555

آرایش کاشت Sowing pattern	2	21.631**	6.1702**	0.050ns	1.633ns	1.827*	344.33ns
محلول پاشی بور Boron application	1	21.333**	0.4033ns	62.335**	442.86**	67.687**	125665.33**
فصل × آرایش کاشت Season × Sowing pattern	2	2.4414ns	0.4352ns	0.060ns	17.619**	0.221ns	250.33ns
فصل × محلول پاشی بور Season × Boron application	1	0.5208ns	0.0675ns	0.016ns	1.920ns	3.740*	300.00ns
آرایش کاشت × محلول پاشی بور Boron application × Sowing pattern	2	1.9752ns	0.0077ns	0.530ns	11.851*	0.450ns	596.33ns
فصل × آرایش کاشت × محلول پاشی بور Season × Sowing pattern × Boron application	2	0.1477ns	0.5418ns	0.967*	2.780ns	0.007ns	481.00ns
خطای آزمایش Error	30	0.8252	0.2126	0.2269	2.899	0.553	289.155
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		1.62	4.72	3.73	2.06	1.79	3.56

ns غیر معنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns is not significant and * and ** are significant at the five and one percent levels of probability, respectively

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات گیاهی لوبیای محلی (پاچ باقلا) در تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول پاشی بور

Table 4 continued. Combined analysis of variance of local bean (Pach-Baghela) plant traits in sowing date, sowing pattern and boron application treatments

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	سرعت تشکیل دانه		سرعت تشکیل عملکرد		محتوای پروتئین دانه
			Seed formation rate	Seed filling rate	Yield formation rate	Vegetative growth rate	Seed protein content
زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)	1	249841.02**	811.19**	156.60**	66.74**	220.48**	0.17508 ^{ns}
فصل / تکرار Season/Repeat	6	889.243	1.6103	0.0427	0.2536	0.0715	0.1234
آرایش کاشت Sowing pattern	2	51.141 ^{ns}	0.0209 ^{ns}	0.0158 ^{ns}	0.090 ^{ns}	0.1791 ^{ns}	0.1188 ^{ns}
محلول پاشی بور Boron application	1	48228.38**	108.22**	7.921**	9.6302**	17.01**	3.6140**
فصل × آرایش کاشت Season × Sowing pattern	2	351.251 ^{ns}	0.3095 ^{ns}	0.1675 ^{ns}	0.0453 ^{ns}	0.0027 ^{ns}	0.0383 ^{ns}
فصل × محلول پاشی بور Season × Boron application	1	1446.505*	3.7548 ^{ns}	0.676**	0.3942*	0.0022 ^{ns}	0.0215 ^{ns}
آرایش کاشت × محلول پاشی بور Boron application × Sowing pattern	2	109.274 ^{ns}	0.6681 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.0197 ^{ns}	0.2511 ^{ns}	0.0180 ^{ns}
فصل × آرایش کاشت × محلول پاشی بور Season × Sowing pattern × Boron application	2	14.634 ^{ns}	0.2439 ^{ns}	0.0325 ^{ns}	0.0042 ^{ns}	0.02743 ^{ns}	0.0701 ^{ns}
خطای آزمایش Error	30	297.879	1.4849	0.0607	0.0736	0.0920	0.1022
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		6.24	7.39	2.10	7.34	4.72	1.29

ns غیر معنی دار و * و ** معنی دار به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns is not significant and * and ** are significant at the five and one percent probability levels, respectively

ارتفاع بوته

میانگین ارتفاع بوته در اثر زمان (فصل) کاشت بهار، ۵۷/۶ سانتی‌متر بود که برتری معنی‌داری نسبت به فصل تابستان، با میانگین ۵۴/۳ سانتی‌متر، داشت. در آرایش کاشت مربع با میانگین ۵۷/۳ سانتی‌متر، ارتفاع بوته بیشتری نسبت به دو آرایش کاشت مستطیل و لوزی حاصل شد (جدول ۵). در مقایسه میانگین ارتفاع بوته در سطوح تیمار محلول‌پاشی بور نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و نمونه‌های محلول‌پاشی شده با بور، مقدار میانگین بیشتری را داشتند (جدول ۵). بررسی اثر تاریخ کاشت بر ارقام لوبیا در منطقه اتیوپی نشان داد که زمان کاشت بر بسیاری از صفات گیاهی از جمله ارتفاع بوته تأثیرگذار بود و در تاریخ کاشت مناسب به دلیل جذب مقدار بیشتر تابش خورشید در طول دوره رشد رویشی گیاه، ارتفاع بوته بیشتری حاصل شد، ولی در زمان کاشت نامناسب به دلیل کاهش بازده فتوسنتزی گیاه، ارتفاع بوته کاهش یافت (Getachew *et al.*, 2014).

تعداد شاخه‌های فرعی

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۱۱/۲ شاخه، تعداد شاخه‌های فرعی بیشتری نسبت به تابستان با میانگین ۸/۲ شاخه حاصل شد (جدول ۵). در بررسی اثر تاریخ کاشت بر ارقام لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.، دلیل عملکرد برتر در تاریخ کاشت مناسب به رطوبت مطلوب خاک و دوره رشد رویشی طولانی‌تر گیاه نسبت داده شد. اساساً طول روز و دمای هوا از عوامل تعیین کننده طول دوره رشد رویشی و فرا رسیدن زمان گل‌دهی هستند و از آنجا که تشکیل شاخه‌های فرعی از ویژگی‌های مطلوب و مؤثر بر عملکرد لوبیا است، بنابراین زمان کاشت مناسب با تأثیر بر شرایط محیطی گیاه و زمان گل‌دهی، باعث ایجاد شاخه‌های فرعی بیشتر و در نتیجه عملکرد بهتر لوبیا می‌شود (İpekeşen *et al.*, 2022). نتایج یک آزمایش نشان داد که غلظت‌های محلول‌پاشی بور بر ارتفاع بوته سویا به‌طور معنی‌داری مؤثر بود و در غلظت ۰/۲ درصد بور، بیشترین ارتفاع بوته حاصل شد که علت آن به نقش بور در بهبود انتقال کربوهیدرات‌های فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیمی گیاه نسبت داده شد (Ali Nosseinpour *et al.*, 2011).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات گیاهی لوبیای محلی (پاچ‌باغلا) در تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور
Table 5. Mean comparison of local bean (Pach-Baghela) plant traits in sowing date, sowing pattern and boron application treatments

زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)	تعداد شاخه‌های			درصد باروری غلاف‌ها Pod fertility (%)	وزن صد دانه 100 seed weight (g)	عملکرد زیستی Biological yield (g.m ⁻²)
	ارتفاع بوته Plant height (cm)	فرعی No. secondary branches	تعداد غلاف در بوته No. pod.plant ⁻¹			
بهار Spring	57.6 ^a	11.2 ^a	15.6 ^a	83.9 ^a	42.8 ^a	610.3 ^a
تابستان Summer	54.3 ^b	8.2 ^b	9.8 ^b	81.3 ^b	40.2 ^b	344.0 ^b
آرایش کاشت Sowing pattern						
مستطیل Rectangle (20 × 31)	55.1 ^b	9.2 ^b	12.6 ^a	82.3 ^a	41.2 ^b	472.7 ^a
لوزی Rhombus (23 × 27)	55.6 ^b	9.5 ^b	12.7 ^a	82.9 ^a	41.3 ^{ab}	476.7 ^a
مربع Square (25 × 25)	57.3 ^a	10.4 ^a	12.8 ^a	82.6 ^a	41.8 ^a	482.0 ^a
محلول‌پاشی بور Boron application						
محلول‌پاشی بور Boron application	56.6 ^a	9.6 ^a	13.8 ^a	85.6 ^a	42.6 ^a	528.3 ^a

عدم مصرف بور	55.3 ^b	9.8 ^a	11.6 ^b	79.6 ^b	40.3 ^b	426.0 ^b
No boron application						

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس آزمون توکی) هستند

In each column, the means with at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level, based on Tukey's test

تعداد غلاف در بوته

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر زمان (فصل) کاشت بهار بر تعداد غلاف در بوته با میانگین ۱۵/۶ غلاف در بوته به مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از فصل تابستان با میانگین ۹/۸ غلاف در بوته بود. همچنین در اثر تیمار محلول‌پاشی بور با میانگین ۱۳/۸ غلاف در بوته، برتری معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۱۱/۶ غلاف در بوته حاصل شد (جدول ۵). بیشترین مقدار میانگین، معادل ۱۷/۰ غلاف در بوته در برهمکنش زمان (فصل) کاشت بهار، آرایش کاشت مربع و محلول‌پاشی بور و کمترین مقدار آن با میانگین ۸/۵ غلاف در بوته در برهمکنش فصل تابستان، آرایش کاشت مستطیل و عدم مصرف بور به دست آمد (جدول ۷). کاکن و همکاران (Kakon et al., 2017) گزارش کردند که تأخیر در کاشت به دلیل برخورد با شرایط دمایی نامناسب باعث کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و زایشی، کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه، کاهش اجزای عملکرد لوبیا از جمله تعداد غلاف در بوته شد. در آزمایشی دیگر گزارش شد که محلول‌پاشی نانو بور با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد غلاف در بوته لوبیا شد. این نتیجه به نقش بور در تحریک جوانه‌زنی و رشد لوله‌گرده و بهبود پایداری لوله‌های گرده که باعث کاهش ریزش گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته و افزایش درصد باروری فعال می‌شود، نسبت داده شد (Makhlouf & Aws, 2022). بنابر این، به نظر می‌رسد که تأثیر زمان کاشت در اوایل فصل بهار و مصادف شدن دوره رشد رویشی و زایشی گیاه با افزایش طول روز و شرایط مناسب تابش و دمای هوا و همچنین محلول‌پاشی بور، باعث افزایش میزان فتوسنتز و باروری گیاه شده و در نتیجه اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته افزایش یافت.

جدول ۶- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته در برهمکنش تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور

Table 6. Mean comparison of the number of pod.plant⁻¹ in the interaction of sowing date, sowing pattern and boron application treatments

صفات گیاهی Plant traits	بهار Spring						تابستان Summer					
	محلول‌پاشی بور Boron application			عدم مصرف بور No boron application			محلول‌پاشی بور Boron application			عدم مصرف بور No boron application		
	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square
تعداد غلاف در بوته No. pod.plant ⁻¹	16.9 ^a	16.4 ^a	17.0 ^a	14.2 ^b	15.0 ^b	14.3 ^b	11.1 ^c	11.0 ^c	10.8 ^c	8.5 ^d	8.5 ^d	9.0 ^d

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس آزمون توکی) می‌باشند

The means with at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level, based on Tukey's test

درصد باروری غلاف‌ها

طبق نتایج حاصله، میزان باروری غلاف‌ها در فصل بهار با میانگین ۸۳/۹ درصد نسبت به تابستان با میانگین ۸۱/۳ درصد، دارای برتری معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی بور با میانگین ۸۵/۶ درصد، برتری معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور

نشان داد، ولی میانگین‌های درصد باروری غلاف‌ها در سطوح تیمار آرایش کاشت تفاوت معنی‌داری نداشتند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج حاصل از برهمکنش تیمارها بر درصد باروری غلاف‌های لوبیا نشان داد که بیشترین مقدار میانگین در برهمکنش محلول‌پاشی بور و آرایش کاشت مربع، معادل ۸۶/۴ درصد حاصل شد (جدول ۷). تولید بذر در گیاهان وابسته به تشکیل گل‌ها، میزان باروری آن‌ها و پر شدن بذور با عناصر غذایی کافی و مناسب است که برای این منظور نیاز به ذخیره کافی عنصر بور در گیاه است (Misagh *et al.*, 2016). رشد زایشی در گیاهان همانند رشد رویشی به کمبود بور حساس است و کمبود بور به‌ویژه در گیاهان زراعی باعث کاهش تشکیل دانه می‌شود. در صورت کمبود بور، دانه‌های گرده خالی، چروکیده و بدشکل و یا طبیعی اما فاقد ذخیره نشاسته به نظر می‌رسند. جوانه‌زنی گرده و رشد لوله گرده تحت شرایط کمبود بور مختل شده و در نتیجه باعث باروری ضعیف گیاه می‌شود (Abou Seeda *et al.*, 2021).

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد باروری غلاف‌ها در برهمکنش تیمارهای آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور
Table 7. Mean comparison of pod fertility percent in the interaction of sowing pattern and boron application treatments

صفات گیاهی Plant traits	محلول‌پاشی بور Boron application			عدم مصرف بور No boron application		
	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square	مستطیل Rectangle	لوزی Rhombus	مربع Square
درصد باروری غلاف‌ها Pod fertility (%)	85.5 ^a	85.0 ^a	86.4 ^a	79.1 ^b	80.8 ^b	78.7 ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس آزمون توکی) هستند
The means with at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level, based on Tukey's test

وزن صددانه

نتایج نشان داد که اثر زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۴۲/۸ گرم، برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۴۰/۲ گرم داشت و آرایش کاشت مربع نسبت به سطوح دیگر تیمار آرایش کاشت، میانگین وزن صددانه بیشتری را حاصل نمود. محلول‌پاشی بور نیز باعث افزایش وزن صددانه با میانگین ۴۲/۶ گرم نسبت به عدم مصرف بور شد (جدول ۵). بررسی برهمکنش سطوح مختلف تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار وزن صددانه در فصل بهار و محلول‌پاشی بور، معادل ۴۳/۷ گرم به‌دست آمد (جدول ۹). در بررسی اثر زمان و آرایش کاشت در کشت تابستانه لوبیا در منطقه کلاچای استان گیلان گزارش شد که برهمکنش اثر زمان و آرایش کاشت بر وزن صددانه معنی‌دار بود و در تاریخ کاشت ۲۰ آگوست (۲۹ مرداد) و آرایش کاشت مربع، وزن صددانه بیشتری به‌دست آمد (Esmaeilzadeh & Aminpanah, 2015). در آزمایشی دیگر، دو مرحله محلول‌پاشی بور با غلظت‌های ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین مقدار وزن صددانه را داشت (Hamouda *et al.*, 2018). به‌نظر می‌رسد که در زمان‌ها و آرایش‌های مختلف کاشت، عوامل محیطی نیز بر رشد و نمو گیاه اثرات متفاوتی داشته باشند و در زمان و آرایش کاشت مناسب، محلول‌پاشی بور نیز با تأثیرات فیزیولوژیکی بر گیاه، در مجموع می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک در لوبیا و در نتیجه افزایش وزن صددانه آن شوند.

عملکرد زیستی

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، در زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۶۱۰/۳ گرم بر مترمربع، برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۳۴۴/۰ گرم بر مترمربع به‌دست آمد و اثر محلول‌پاشی بور بر عملکرد زیستی با میانگین ۵۲۸/۳ گرم بر مترمربع، اختلاف معنی‌داری با عدم مصرف بور با میانگین ۴۲۶/۰ گرم بر مترمربع داشت (جدول ۵). نتایج تحقیقات نشان داده

است که انتخاب زمان کاشت مناسب با تأثیر بر مقدار عوامل محیطی، مانند تابش، دما و رطوبت، تأثیر زیادی بر رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد زیستی و اقتصادی آن دارد (Robinson & Wilcox, 2001). در بررسی اثر مصرف بور بر رشد و عملکرد لوبیا گزارش شد که مصرف بور به طور معنی داری بر عملکرد زیستی و دانه مؤثر بود و بیشترین مقدار عملکرد زیستی به مقدار ۴/۵۹ تن در هکتار با مصرف ۱/۵ کیلوگرم بور در هکتار به دست آمد (Uddin et al., 2020).

عملکرد دانه

بر اساس نتایج، زمان کاشت در فصل بهار با میانگین ۳۴۸/۳ گرم بر مترمربع، برتری معنی داری نسبت به فصل تابستان با میانگین ۲۰۴/۰ گرم بر مترمربع داشت و تفاوت محلول پاشی بور با میانگین ۳۰۷/۹ گرم بر مترمربع نسبت به عدم مصرف بور نیز نشان دهنده تأثیر معنی دار این عامل بر عملکرد دانه لوبیا بود (جدول ۸). در حالی که سطوح تیمار آرایش کاشت بر عملکرد دانه اثر معنی داری نداشت و همه نتایج در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۸). بیشترین میانگین عملکرد دانه در برهمکنش تیمارهای فصل بهار و محلول پاشی بور، معادل ۳۸۵/۵ گرم بر مترمربع حاصل شد (جدول ۹). در آزمایشی بیشترین عملکرد دانه لوبیا به مقدار ۲/۴۷ تن در هکتار در اثر محلول پاشی شاخساره با غلظت ۰/۱ درصد اسید بوریک در دو نوبت، یک ماه و دو ماه پس از سبز شدن به دست آمد (Hosseini, 2016). در ارزیابی اثر مصرف بور از دو منبع اسید بوریک و یولکسیت (Ulexite) بر عملکرد و کیفیت بذر سویا گزارش شد که مصرف هر دو نوع بور باعث افزایش معنی دار عملکرد دانه شد و حداکثر عملکرد با مصرف ۶/۴ میلی گرم در کیلوگرم بور به دست آمد (Dameto et al., 2023). در یک آزمایش درباره اثر زمان کاشت بر عملکرد لوبیای لیما در استان گیلان، میانگین عملکرد دانه در واحد سطح در کشت بهار نسبت به کشت تابستانه بیشتر بود و تاریخ کاشت چهارم اردیبهشت بیشترین عملکرد را داشت. برتری عملکرد در تاریخ کاشت فروردین و اردیبهشت، می تواند ناشی از تسریع در تجمع ماده خشک، تولید سلول های بیشتر در گیاه، جذب مقادیر بیشتر مواد معدنی و در نتیجه بهبود عملکرد دانه باشد (Ghanbari et al., 2021).

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات گیاهی لوبیای محلی (پاچ باقلا) در تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول پاشی بور
Table 8. Mean comparison of local bean (Pach-Baghela) plant traits in sowing date, sowing pattern and boron application treatments

زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)	سرعت تشکیل دانه Seed formation rate (Seed.day ⁻¹ .m ⁻²)	سرعت پر شدن دانه Seed filling rate (mg.day ⁻¹)	سرعت تشکیل		
				عملکرد Yield formation rate (g.day ⁻¹)	سرعت رشد رویشی Vegetative growth rate (g.day ⁻¹)	محتوای پروتئین دانه Seed protein content (%)
بهار Spring	348.3 ^a	20.5 ^a	13.5 ^a	4.8 ^a	8.5 ^a	24.7 ^a
تابستان Summer	204.0 ^b	12.3 ^b	9.8 ^b	2.5 ^b	4.2 ^b	24.6 ^a
آرایش کاشت Sowing pattern						
مستطیل Rectangle (20 × 31)	278.2 ^a	16.4 ^a	11.7 ^a	3.7 ^a	6.5 ^a	24.5 ^a
لوزی Rhombus (23 × 27)	274.7 ^a	16.5 ^a	11.6 ^a	3.6 ^a	6.4 ^a	24.7 ^a
مربع Square (25 × 25)	275.7 ^a	16.4 ^a	11.6 ^a	3.6 ^a	6.3 ^a	24.6 ^a
محلول پاشی بور Boron application						
محلول پاشی بور Boron application	307.9 ^a	17.9 ^a	12.1 ^a	4.1 ^a	7.0 ^a	24.9 ^a

عدم مصرف بور	244.5 ^b	14.9 ^b	11.2 ^b	3.2 ^b	5.8 ^b	24.3 ^b
No boron application						

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس آزمون توکی) هستند

In each column, the means with at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level, based on Tukey's test

جدول ۹- مقایسه میانگین وزن صددانه، عملکرد دانه، سرعت پُرشدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد در برهمکنش تیمارهای زمان کاشت و محلول پاشی بور

Table 9. Mean comparison of the 100 seed weight, seed yield, seed filling rate and yield formation rate in interaction of sowing date and boron application treatments

صفات گیاهی Plant traits	بهار Spring		تابستان Summer	
	محلول پاشی بور Boron application	عدم مصرف بور No boron application	محلول پاشی بور Boron application	عدم مصرف بور No boron application
وزن صددانه 100 Seed weight (g)	43.7 ^a	41.8 ^b	41.6 ^b	38.7 ^c
عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)	385.5 ^a	311.1 ^b	230.2 ^c	177.8 ^d
سرعت پُرشدن دانه Seed filling rate (mg.day ⁻¹)	13.7 ^a	13.2 ^b	10.4 ^c	9.3 ^d
سرعت تشکیل عملکرد Yield formation rate (g.day ⁻¹)	5.4 ^a	4.3 ^b	2.8 ^c	2.1 ^d

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد (بر اساس آزمون توکی) هستند

The means with at least one common letter do not have a significant difference at the five percent probability level, based on Tukey's test

سرعت تشکیل دانه

نتایج نشان داد که در زمان (فصل) کاشت بهار سرعت تشکیل دانه با میانگین ۲۰/۵ دانه در مترمربع در روز، تفاوت معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۱۲/۳ دانه در مترمربع در روز داشت. هم‌چنین، تیمار محلول پاشی بور با میانگین ۱۷/۹ دانه در مترمربع در روز، برتری معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۱۴/۹ دانه در مترمربع در روز داشت (جدول ۸). بور در روند تشکیل دانه بسیار مؤثر است و کمبود آن باعث کاهش میکروسیپورزایی، جوانه‌زنی و طولیل شدن لوله کرده شده و باعث کاهش باروری می‌شود. کمبود بور پس از انجام لقاح نیز بر جنین‌زایی تأثیر منفی می‌گذارد و باعث زوال بذر یا تشکیل جنین‌های ناقص یا جنین‌های غیر طبیعی می‌شود (Brdar-Jokanović, 2020). گزارش شده است که سرعت تشکیل دانه بیشترین همبستگی را با صفات تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه دارد. در نتیجه، اثر تیمارها بر سرعت تشکیل دانه با اثر آن‌ها بر مقدار عملکرد دانه، متناظر است (Moshatati et al., 2018) که نتایج آزمایش حاضر نیز با این موضوع مطابقت دارد.

سرعت پُرشدن دانه

طبق نتایج به‌دست آمده، سرعت پُرشدن دانه در فصل بهار با میانگین ۱۳/۵ میلی گرم در روز برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۹/۸ میلی گرم در روز داشت و در تیمار محلول پاشی بور با میانگین ۱۲/۱ میلی گرم در روز تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۱۱/۲ میلی گرم در روز حاصل شد (جدول ۸). بیشترین مقدار میانگین سرعت پُرشدن دانه، در برهمکنش زمان (فصل) کاشت بهار و محلول پاشی بور، معادل ۱۳/۷ میلی گرم در روز محاسبه شد (جدول ۹). در اکثر گیاهان زراعی، ظرفیت عملکرد عمدتاً ناشی از تعداد دانه در واحد سطح و دوره پُرشدن دانه است. زمانی که دسترسی کافی به

کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز یا اندوخته شده در ساقه یا برگ‌ها وجود داشته باشد، پُرشدن سریع‌تر دانه و بهبود تحرک کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای می‌تواند اثرات نامناسب محیطی بر عملکرد را به حداقل برساند (Ghanbari, 2015). وزن بذر از طریق دو مؤلفه سرعت پُرشدن دانه و مدت پُرشدن دانه تامین می‌شود. سرعت پُرشدن دانه نشان دهنده مقدار تجمع ماده خشک در طی مرحله نمو دانه است و بیشتر بودن وزن دانه‌ها با پُرشدن سریع دانه‌ها و طولانی شدن مدت آن همراه است. در یک آزمایش روی گیاه باقلا گزارش شد که با توجه به رابطه همبستگی منفی سرعت پُرشدن دانه با مدت پُرشدن دانه، دستیابی به عملکرد بالا از طریق افزایش سرعت پُرشدن دانه و کاهش طول مدت پُرشدن دانه امکان‌پذیر است (Alipour et al., 2018) و نتایج آزمایش حاضر نیز با این موضوع مطابقت دارد. با اینکه در کشت بهاره دوره پُرشدن دانه نسبت به کشت تابستانه کوتاه‌تر بود (جدول ۳)، سرعت پُرشدن دانه در کشت بهاره بیشتر بود.

سرعت تشکیل عملکرد

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین $4/8$ گرم در روز برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین $2/5$ گرم در روز داشت و در محلول‌پاشی بور سرعت تشکیل عملکرد با میانگین $4/1$ گرم در روز تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با مقدار میانگین $3/2$ گرم در روز نشان داد (جدول ۸). بیشترین سرعت تشکیل عملکرد در برهمکنش فصل بهار و محلول‌پاشی بور با میانگین $5/4$ گرم در روز به‌دست آمد که نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت (جدول ۹). گزارش شده است که مصرف بور باعث افزایش میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها، افزایش تعداد و وزن دانه‌ها شده (Uddin et al., 2020) و باعث افزایش سرعت تشکیل عملکرد می‌شود. گزارش شد که در شرایط محیطی مناسب در طول دوره‌های کاشت تا گرده‌افشانی تا رسیدگی و کاشت تا رسیدگی، حداکثر سرعت تشکیل دانه، سرعت پُرشدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد حاصل شد و صفت سرعت تشکیل عملکرد با صفات تعداد دانه در مترمربع، عملکرد دانه و سرعت تشکیل دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (Moshatati et al., 2018) که نتایج آزمایش حاضر نیز با این موضوع مطابقت دارد.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها برای محتوای پروتئین دانه نشان داد که فقط اثر تیمار محلول‌پاشی بور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز محلول‌پاشی بور بر محتوای پروتئین دانه با میانگین $24/9$ درصد نسبت به عدم مصرف بور با میانگین $24/3$ درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۸). با توجه به نقش بور در سنتز اوراسیل که یکی از بازهای سازنده RNA است، مشخص شده است که در اثر کمبود بور در گیاه، میزان فسفر که جزء اصلی ترکیبات نوکلئوتیدی است، کاهش یافت ولی بعد از فراهم شدن بور، جذب فسفر در گیاه افزایش یافت و باعث تسریع در عمل پروتئین‌سازی شد. به دلیل نقش بور در واکنش‌های متابولیکی و تسریع در سنتز پروتئین، فراهمی این عنصر بر مقدار محتوای پروتئین دانه مؤثر است (Nasef et al., 2006). نتایج یک آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت بور در برگ‌های لوبیا، محتوای پروتئین دانه افزایش یافت و بیشترین میزان پروتئین دانه از مصرف چهار کیلوگرم اسید بوریک در هکتار در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن به‌صورت کود آبیاری و در بین سطوح محلول‌پاشی بور، بیشترین میزان پروتئین دانه از تیمار محلول‌پاشی با غلظت $0/4$ درصد اسید بوریک در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن حاصل شد (Hosseini, 2016).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در این آزمایش، اثر زمان (فصل) کاشت بهار بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ باقلا) بسیار معنی دار بود و برتری قابل ملاحظه‌ای را نسبت به عملکرد دانه در کشت تابستانه داشت. همچنین، آرایش کاشت مربع به طور معنی داری بر وزن صدانه، به عنوان یکی از اجزای عملکرد، مؤثر بوده و باعث افزایش وزن صدانه لوبیا شد. نتایج آزمایش نشان داد که اثر محلول پاشی بور با غلظت ۰/۱ درصد بر عملکرد دانه بسیار معنی دار بود و در برهمکنش آن با سایر تیمارها نیز مقدار میانگین‌های بیشتری نسبت به عدم مصرف بور به دست آمد. بر اساس نتایج این آزمایش، زراعت لوبیای محلی در دو فصل بهار و تابستان همراه با محلول پاشی بور، می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری تولید محصول این گیاه در شرایط اقلیمی استان گیلان شود که اقدام به توصیه آن، مستلزم تحقیقات تکمیلی است.

فهرست منابع

- Abou Seeda, M. A., Abou El-Nour, E. A. A., Yassen, A. A., & Hammad, S. A. (2021). Boron, structure, functions and its interaction with nutrients in plant physiology. A Review. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 10(1), 117-179.
<http://dx.doi.org/10.36632/mejar/2021.10.1.9>
- Ali Hosseinpour, F., Rafiei, M., and Farnia, A. (2011). Studying the effect of foliar application of boron on quantitative and qualitative characteristics of soybean genotypes. *Scientific Research Journal of Crop Physiology*, 3(11), 33-46.
- Alipour Ghasem Abad Sofla, A., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghaddam, A., Biabani, A. and Tarashy, M. (2018). Top removal effect on yield, yield components and the dry matter production of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, 9(1), 129-141.
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.57934>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Science*, (21), 24p. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
- Broughton, W. J., Blair, M., Beebe, S., & Vander Leyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.), model food legumes. *Plant and Soil*, 252(74), 55–128.
- Dameto, L., Cardoso, M., Krzyzanowski, F., & Moreira, A. (2023). Boron sources and rates on soybean seed physiological quality and root system volume. *Journal of Seed Science*. (45).
<http://dx.doi.org/10.1590/2317-1545v45262849>
- Dapaah, H. K., McKenzie, B. A., & Hill, G. D. (2000). Influence of sowing date and irrigation on the growth yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a sub-humid temperate environment. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 134, 33-43.
- Didinger, C., Foster, M. T., Bunning, M., & Thompson, H. J. (2022). Nutrition and human health benefits of dry beans and other pulses. *Dry Beans and pulses, Production, processing, and Nutrition*, 481–504. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776802.ch19>
- Esmailzadeh, S., & Aminpanah, H. (2015). Effects of planting date and spatial arrangement on common bean (*Phaseolus vulgaris*) yield under weed-free and weedy conditions. *Planta Daninha*, 33(3), 425-432. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582015000300005>

Fageria, N. K., & Santos, A. B. (2008). Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 983–1004.

Getachew, E., Tesfaye, A., & Mulualem, T. (2014). The effects of sowing date and spacing for yield of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties at Jimma, Southwestern Ethiopia. *Sky Journal of Agricultural Research*, 3(9), 174-180.

Ghanbari, A. A. (2015). Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. *Applied Field Crops Research*, 28(107), 190-199. <https://doi.org/10.22092/aj.2015.105723>

Ghanbari, A. A., Gholami, M., & Ahmadi, M. (2023). Evaluation of adaptability and stability of yield of selected PachBaghela lines in spring cultivation (*Phaseolus vulgaris*) in Guilan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 27-40. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.348968.654943>

Ghanbari, A., Mostafavi Rad, M., & Sekhavat, R. (2021). Determination of plant density and appropriate planting time of Lima bean (*Phaseolus lunatus*) in Guilan province. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 209-219. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12808>

Ghorbani, R., & Safarzadeh Vishkaei, M. N. (2019). The effect of planting dates and rice residue application (Mulch) on growth and yield of Cranberry bean. *Plant Ecophysiology*, 10(35), 267-279. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1397.10.35.24.5>

Hamouda H. A., Anany. T. G., & El-Bassyouni. M. S. S. (2018). Growth and yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by ZN and B foliar application. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(2), 639-649.

Hosseini, S. M. (2016). Effect of different levels and application methods of boric acid on yield and protein content of common bean. *Iranian Journal of Soil Research*, 29(4), 383-394. <https://doi.org/10.22092/ijssr.2016.105899>

İpekeşen, S., Biçer, B. T., & Bayrak, İ. H. (2022). Determination of the effect of different sowing dates on growth and yield parameters of some dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 482–491. <http://dx.doi.org/10.55817/GMKS4054>

Jamalzehi, B., Mostafavi-Rad, M., & Ansary, M. H. (2017). Evaluation of seed protein content, yield and important agronomic traits of some determinate and indeterminate bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars as affected by different sowing dates in Talesh (Guilan). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 221-231. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.136778.653982>

Kakon, S. S., Shawquat, M. D., Choudhury, J. A., Ali, M. Z., & Aziz, M. (2017). Influence of sowing time-based temperature on flowering and seed yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *SAARC Journal of Agriculture*. 15(1), 77-80. <http://dx.doi.org/10.3329/sja.v15i1.33152>

Kazemi Taskooh, N., Mostafavi Rad, M., & Ansari, M. H. (2017). Effect of row spacing on yield quantity and quality of some determinate and indeterminate growth bean (*Phaseolus*

- vulgaris* L.) varieties in Guilan climatic condition. *Journal of Plant Ecophysiology*. 29(9), 136-145. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1396.9.29.12.4>
- Khajehpour, M. R. (2022). Principles and fundamentals of agriculture. *Jahad Daneshgahi Publications, Isfahan University of Technology*. 622 p
- Mahadule, P. A., Jagdhani, A. D., Sawale, D. D., Jagtap, P. B., & Tamboli, B. D. (2020). Effect of foliar sprays of boron on quality and nutrient uptake of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Entisol. *South Asian Research Journal of Natural Products*, 3(3), 131–135.
- Makhlouf, S., & Aws, M. (2022). Response of faba bean to planting distance between plants and spraying with nano and traditional boron. *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*, 14((1), 84-93. [http://dx.doi.org/10.28936/jmracpc14.1.2022.\(9\)](http://dx.doi.org/10.28936/jmracpc14.1.2022.(9))
- Malakooti, M.J., & Tehrani, M. (2023). Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products and promoting the health of society "Micronutrients with a macro effect". *Tarbiat Modares University Publications*, 398 p.
- Meier, U. (2001). Growth stages of mono-and dicotyledonous plants, BBCH. *Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Germany*.
- Misagh, M., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., & Khadem Hamzeh, H. (2016). Improvement of yield, oil and protein percentage of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress by foliar application of zinc and boron. *Journal of Crop Production*, 9(1), 163-180. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2016.2962>
- Moshatati, A., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Jalal-Kamali, M. R. (2018). The effect of growth and development periods on grain yield of spring bread wheat under terminal heat stress in Ahwaz. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 197-209. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.355.1067>
- Mozumber, S. N., Moniruzzaman, M., Islam, M. R., & Alam, S. N. (2003). Effect of planting time and spacing on the yield performance of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the eastern hilly area of Bangladesh. *Legume Research*, 26(4), 242-247.
- Nasef, M. A., Badran, N. M., & Abd El-Hamide, A. F. (2006). Response of peanut to foliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. *Journal of Applied Sciences Research*. 2(12), 1330-1337.
- Rabiee, M. & Ibrahimi M. (2023). Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production as Second Crop in Paddy Field. Rice Research Institute of Iran.
- Robertson, M. J., Silim, S., Chauhan, Y. S. & Ranganathan, R. (2001). Predicting of growth and development of pigeon pea: biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Research*, 70: 89-100.
- Robinson, S. L., & Wilcox, J. R. (1998). Comparison of determinate and indeterminate soybean near isolines and their response to row spacing and planting date. *Crop Science*, (38), 1554-1557.

- Saini, L., Kumar, P., & Upadhyay, H. (2024). Zinc and boron foliar application effects on primed mung bean (*Vigna radiata* L.) growth and productivity. *Nature Environment and Pollution Technology*. 23, 1407-1418. <http://dx.doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i03.012>
- Shafaroodi, A., Zavareh, M., Peyvast, G. A., & Dorri, H. R. (2012). Effect of sowing date and plant density on grain yield and yield components in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(3), 47-61.
- Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., & Bie, Z. (2018). Boron: functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(7),1856. <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>
- Sirait, Y., Pill. W. G., & Kee, W. E. (1994). Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) response to irrigation regime and plant population density. *Horticulture Science*, 29(2), 71-73.
- Soufifard, S., & Sadeghi, S. M. (2020). Effect of potassium Sulfate fertilizer levels and row spacing on yield and yield components of bean in tea uprooted garden. *Journal of Plant Ecophysiology*, 40(12), 250-262. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1399.12.40.21.6>
- Uddin, F. M., Hadiuzzaman, M., Rashid, M. H., & Karim, S. (2020). Effect of phosphorus and boron on the growth and yield of French bean. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*. 6. 18-25. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2020/v6i430079>
- Ullah, I., Direk, M., & Chamidah, D. (2024). Effect of boron on growth and seed yield of pea cultivars. *Journal of Natural Science and Learning*. 3(1), 39-65. <http://dx.doi.org/10.30742/jnsl.v3i1.137>