

پژوهش‌های حبوبات ایران

ISSN (print): 2980-793X
ISSN (online): 2783-5367

نشر علمی - دوفصلنامه
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

سال (دوره) ۱۷، شماره ۱، نیمه اول ۱۴۰۵ - شماره پیاپی: ۳۳

- احیاء و ارزیابی صفات کلکسیون ژرم پلاسما لوبیای (*Phaseolus vulgaris* L.) پردیس خمین و بررسی میزان حساسیت آن ها به کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae*) ۳
بهروز اسدی، صدیقه اشتری
- بررسی کارآیی زراعی-اقتصادی ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) به‌عنوان کشت دوم پس از برنج (*Oryza sativa* L.) در منطقه گیلان ۱۹
محمد ربیعی، مریم حسینی چالشتی، سجاد شاکرکوهی
- ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) با استفاده از روش‌های AMMI و REML/BLUP ۳۳
بهروز اسدی، سیده سودابه شبیری، علی اکبر اسدی، فرود صالحی، حسین استرکی
- ارزیابی ارزش زراعی نخود رقم "ساکار" (*Cicer arietinum* L.) متقاضی تجاری‌سازی ۵۱
بایک درویشی، حسین کمری، سامان شیدائی، محمدرضا جزایری نوش-آبادی
- بررسی اثر سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) ۶۷
ساجده السادات حسینی هدک، محمد خواجه حسینی، احمد نظامی، فرنوش فلاح پور
- ارزیابی ارزش زراعی و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای (*Pisum sativum* L.) در مناطقی با شرایط اقلیمی متفاوت در ایران ۷۹
نیما خالدی، محمد رحمانی، فرشید حسینی، علی شایان فر، سامان شیدائی
- اثر تاریخ کاشت، کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر برخی صفات آگرومورفولوژیک، فیزیولوژیکی و پروتئین دانه دو رقم عدس (*Lens culinaris* L.) ۹۹
زهرا احمدی، محمدرضا تدین، محمد رفیعی‌الحسینی، مرضیه حسینی
- تأثیر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و جذب عناصر دو رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) ۱۲۱
زینب ایمانی، محمدرضا مرادی تلاوت، احمد کوچک زاده، بهروز میردریگوند، آیدین خدایی جوقان
- بررسی تأثیر اسید هیومیک و کود دامی بر رشد و عملکرد توده‌های ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط اقلیمی سمنگان - افغانستان ۱۳۷
جمشید شهاب، حمید سودایی زاده، ولی الله زارع، محمد انور سخی زاده
- عملکرد نسبی، شاخص پایداری و مزیت نسبی کشت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران ۱۵۳
امیر هوشنگ جلالی، فرود صالحی
- اثر کاربرد اسید هیومیک بر صفات ریخت‌شناختی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام ماش (*Vigna radiata* L.) ۱۶۵
سجاد رحیمی، خسرو عزیزی، سجاد رحیمی-مقدم
- پاسخ صفات فیزیولوژیکی ماش (*Vigna radiata* L.) به محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تحت تأثیر تنش خشکی ۱۷۹
بهروز امید، نصرت اله عباسی، فرشته دارابی



با همکاری



فصلنامه تخصصی حبوبات



دانشگاه صنعتی امیرکبیر



دانشگاه تربیت مدرس



دانشگاه شهید بهشتی تهران



دانشگاه علوم کشاورزی

و منابع طبیعی کرمان



دانشگاه علم و تحقیقات



دانشگاه علوم کشاورزی

و منابع طبیعی ساری

پژوهش‌های حبوبات ایران

نشریه علمی-دوفصلنامه

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

با مجوز شماره ۸۸/۶۱۲۴ مورخ ۱۳۸۸/۰۸/۲۵ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
و درجه علمی پژوهشی به شماره ۳/۱۱/۳۷۸۵ مورخ ۱۳۸۹/۰۳/۱۷ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
(بر اساس مصوبه وزارت عتف، از سال ۱۳۹۸، تمامی نشریات دارای درجه «علمی-پژوهشی»، به نشریه «علمی» تغییر نام یافتند).
* این نشریه، از اول تیرماه سال ۱۳۸۹، به طور منظم و در قالب دوفصلنامه، منتشر می‌شود. *

سال (دوره) ۱۷، شماره ۱، نیمه اول ۱۴۰۵ - شماره پیاپی: ۳۳

صاحب امتیاز:	دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول:	دکتر محمد کافی
سر دبیر:	دکتر احمد نظامی
هیأت تحریریه:	دکتر احمد ارزانی دکتر هادی استوان دکتر علیرضا افشاری‌فر دکتر علی ایزدی دربندی دکتر نادرعلی بابائیان جلودار دکتر عبدالرضا باقری دکتر سیدحسین صباغ‌پور دکتر محمد کافی دکتر سرالله گالشی دکتر محمد گلوی دکتر علی گنجعلی دکتر ناصر مجنون حسینی دکتر حسین معصومی دکتر سعید ملک‌زاده شفاوردی دکتر احمد نظامی
همکاران این شماره:	مهندس حسن پُرسا (ویراستار علمی) دکتر محمد بنایان اول (ویراستار چکیده مبسوط انگلیسی) دکتر فهیمه فیضی (ویراستار فنی، صفحه‌آرا)

این نشریه در قالب تفاهم‌نامه همکاری میان دانشگاه فردوسی مشهد با دانشگاه‌های صنعتی اصفهان، تربیت مدرس، شهید باهنر کرمان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آزاد اسلامی واحد شیراز و علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و با هدف گسترش همکاری‌های علمی و پژوهشی منتشر می‌شود.

برخی از پایگاه‌هایی که این نشریه در آن‌ها نمایه می‌شود:



نشانی:

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دفتر نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
کد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، تلفن: ۳۸۸۰۴۶۵۳ (۰۵۱)، نمابر: ۳۸۷۸۷-۴۲۰ (۰۵۱)
پست الکترونیک: ijpr@um.ac.ir
تارنما: <http://ijpr.um.ac.ir>

مندرجات

صفحه	مقالات پژوهشی
۳	احیاء و ارزیابی صفات کلکسیون ژرم پلاسما لوبیای (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) پردیس خمین و بررسی میزان حساسیت آن‌ها به کنه تارتن دولکه‌ای (<i>Tetranychus urticae</i>) بهرز اسدی، صدیقه اشتری
۱۹	بررسی کارایی زراعی-اقتصادی ژنوتیپ‌های باقلا (<i>Vicia faba</i> L.) به‌عنوان کشت دوم پس از برنج (<i>Oryza sativa</i> L.) در منطقه گیلان محمد ربیعی، مریم حسینی چالشتی، سجاد شاکرکوهی
۳۳	ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) با استفاده از روش‌های AMMI و REML/BLUP بهرز اسدی، سیده سودابه شبیری، علی اکبر اسدی، فرود صالحی، حسین استرکی
۵۱	ارزیابی ارزش زراعی نخود رقم "ساکار" (<i>Cicer arietinum</i> L.) متقاضی تجاری‌سازی بابک درویشی، حسین کمری، سامان شیدائی، محمدرضا جزایری نوش‌آبادی
۶۷	بررسی اثر سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های نخود (<i>Cicer arietinum</i> L.) ساجده السادات حسینی هدک، محمد خواجه حسینی، احمد نظامی، فرنوش فلاح پور
۷۹	ارزیابی ارزش زراعی و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای (<i>Pisum sativum</i> L.) در مناطقی با شرایط اقلیمی متفاوت در ایران نیما خالدی، محمد رحمانی، فرشید حسینی، علی شایان فر، سامان شیدائی
۹۹	اثر تاریخ کاشت، کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر برخی صفات آگرومورفولوژیک، فیزیولوژیکی و پروتئین دانه دو رقم عدس (<i>Lens culinaris</i> L.) زهرا احمدی، محمودرضا تدین، محمد رفیعی‌الحسینی، مرضیه حسینی
۱۲۱	تأثیر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و جذب عناصر دو رقم نخود (<i>Cicer arietinum</i> L.) در لرستان زینب ایمانی، محمدرضا مرادی تلاوت، احمد کوچک زاده، بهروز میردیریکوند، آیدین خدایی جوقان
۱۳۷	بررسی تأثیر اسید هیومیک و کود دامی بر رشد و عملکرد توده‌های ماش (<i>Vigna radiata</i> L.) در شرایط اقلیمی سمنگان - افغانستان جمشید شهاب، حمید سودایی زاده، ولی الله زارع، محمد انور سخی زاده
۱۵۳	عملکرد نسبی، شاخص پایداری و مزیت نسبی کشت لوبیا (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) در ایران امیر هوشنگ جلالی، فرود صالحی
۱۶۵	اثر کاربرد اسید هیومیک بر صفات ریخت‌شناختی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام ماش (<i>Vigna radiata</i> L.) سجاد رحیمی، خسرو عزیزی، سجاد رحیمی‌مقدم
۱۷۹	پاسخ صفات فیزیولوژیکی ماش (<i>Vigna radiata</i> L.) به محلول‌پاشی باکلوپترازول تحت تأثیر تنش خشکی بهرز امیددی، نصرت اله عباسی، فرشته دارابی



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96585.1123>

Revival and Evaluation of the Traits of the Bean Germplasm Collection of the Khomein Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Assessment of Their Sensitivity to the Two-Spotted Spider Mite (*Tetranychus urticae*)

Behroz Asadi¹, Sedighe Ashtari^{2*}

Received: 9 November 2025
Revised: 28 April 2026
Accepted: 10 May 2026
Available Online: 10 May 2026

Cite this article:

Asadi, B., & Ashtari, S. (2026). Revival and evaluation of the traits of the bean germplasm collection of the Khomein Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and assessment of their sensitivity to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 1-16. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96585.1123>

Introduction

Given the projected population of nine billion by the year 2050, and despite the increase in crop yields, concerns about food security still remain. Among various agricultural crops, legumes play a significant role in providing human food. These plants have high nutritional value and are the most important food source rich in protein (11 to 32 percent) (Schoonhoven & Voysest, 1991). An appropriate combination of legume proteins with cereals can alleviate malnutrition and amino acid deficiencies.

Materials and Methods

To regenerate and evaluate certain traits of the accessions in the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) collection of the Khomein Bean Research and Education Center, an experiment was conducted over three years. A total of 720 bean accessions of pinto, red, and white types from the Khomein bean collection were planted using an augmented design. The number of blocks varied each year depending on the number of planted accessions: in the first year, the accessions were planted in 19 blocks; in the second year, in 14 blocks; and in the third year, in 12 experimental blocks. Each spring, after land preparation, furrows and ridges were created at 50-cm intervals, and the seeds of each genotype were planted on two rows of two meters. Plant spacing within the rows was set at 50 cm, and one unplanted row was considered between each experimental plot. To determine block uniformity during data analysis, three check varieties were used: the pinto bean cultivar 'Kousha', the red bean 'Ofogh', and the white bean 'Dorsa'. All required agronomic practices—including irrigation, weed control, pest and disease management were applied uniformly across all blocks. Data were recorded for days to maturity, plant type, yield, and hundred-seed weight. Lines with a visual damage scale of less than 2.5 were considered resistant; those rated 2.5–3.7 as moderately resistant; 3.7–4.6 as moderately susceptible; and 4.6–6 as susceptible. For quantitative traits, descriptive statistics, including arithmetic mean, dispersion, range, variance, standard deviation, and coefficient of variation were estimated. Excel and SPSS software were used for data recording, analysis of variance, and chart preparation.

Results and Discussion

The results showed that the genotypes under study exhibited variation for the measured traits. The greatest amount of variation observed during the three years was related to grain yield, followed by hundred-seed weight. One of the main objectives of establishing gene banks and collections is the conservation of plant genetic resources and the utilization of storable materials in breeding programs through the use of their desirable genes to increase production, either directly or indirectly, under various biotic and abiotic stresses. For selecting desirable bean accessions, traits such as yield, earliness, marketability, and plant growth habit are of great importance. Based on the seed yield and maturity period of the genotypes over the three years of the experiment, a biplot of these two traits was used (Figures 1 to 3), and the accessions with

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization AREEO, Arak, Iran

2- Plant Protection Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Arak, Iran

* Corresponding Author: s.ashtari@areeo.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

above-average yield and early maturity were selected. The characteristics of the selected genotypes for each year are presented in Tables 8 to 10. The greatest amount of variation in common bean has been reported for number of pods per plant, yield, and hundred-seed weight, and this variation contributes the most to the development of high-yielding cultivars. In addition, pod number per plant has high heritability, and this trait is influenced by factors such as the number and size of leaves on the plant. Because of its positive correlation with yield, it should be considered a key criterion when selecting high-yielding plants (Dargahi et al., 2008). Similarly, Ashtari et al. (2020), in their evaluation of the tolerance of several promising bean lines to the two-spotted spider mite under greenhouse and field conditions, concluded that the Dadfar cultivar and line 31286 exhibited higher resistance indices compared with the other genotypes, and they recommended these genotypes for cultivation in the region. These findings indicate that it is possible to identify mite-tolerant genotypes within bean populations, and that this trait can be utilized to reduce dependence on chemical pesticides.

Conclusions

Based on the results obtained from this project during the restoration and evaluation of part of the accessions in the bean collection of the Khomein Bean Research and Education Campus, a total of 64 accessions with above-average yield and early maturity were selected over the three years of the project. These selected accessions will undergo further detailed evaluations.

Keywords: Early maturity, Field experiment, Genetic diversity, Genotype, Seed yield



احیاء و ارزیابی صفات کلکسیون ژرم پلاسما لوبیای (*Phaseolus vulgaris* L.) پردیس خمین و بررسی میزان حساسیت آن‌ها به کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae*)

بهروز اسدی^{۱*}، صدیقه اشتری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

چکیده

به منظور احیاء و ارزیابی صفات نمونه‌های موجود در کلکسیون لوبیای (*Phaseolus vulgaris* L.) پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا خمین، آزمایشی به مدت سه سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۱) در این پردیس اجرا شد. در این تحقیق، تعداد ۷۲۰ نمونه لوبیا از انواع چیتی، قرمز و سفید در قالب طرح آگمنت در ۴۵ بلوک کشت شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو خط به طول دو متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. برای تشخیص یکنواختی بلوک‌ها از سه شاهد لوبیا چیتی رقم کوشا، لوبیا قرمز رقم افق و لوبیا سفید رقم درسا استفاده شد. نتایج نشان داد که در بین صفات مورد ارزیابی، بیشترین تنوع مربوط به عملکرد دانه بود. نتایج تجزیه به عامل نشان داد که دو عامل اصلی در مجموع ۶۱/۹ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. براساس تجزیه خوشه‌ای به روش ward، ژنوتیپ‌ها در شش گروه قرار گرفتند. همچنین ژنوتیپ‌ها نسبت به میزان حساسیت به کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae*)، نمره‌دهی شدند و مشخص گردید که ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی نسبت به ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز و لوبیا سفید حساسیت بیشتری نسبت به آفت کنه دولکهای داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده، ۶۴ نمونه لوبیا که از عملکرد بالا و زودرسی برخوردار بودند به منظور استفاده در برنامه‌های اصلاحی این محصول برای مراحل بعدی انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: آزمایش مزرعه‌ای، تنوع ژنتیکی، زودرسی، ژنوتیپ، عملکرد دانه

مقدمه

با توجه به پیش‌بینی افزایش جمعیت جهان به حدود ۹ میلیارد نفر، در سال ۲۰۵۰ و علی‌رغم افزایش عملکرد محصولات زراعی، همچنان نگرانی‌هایی در مورد امنیت غذایی وجود دارد. در بین گیاهان زراعی مختلف، حبوبات اهمیت زیادی در تأمین غذای بشر دارند. این دسته از گیاهان دارای ارزش زیادی بوده و مهم‌ترین منبع غذایی سرشار از پروتئین (۱۱ تا ۳۲ درصد) می‌باشند (Parsa & Bagheri, 2023). ترکیب مناسبی از پروتئین حبوبات با غلات می‌تواند سوء تغذیه و کمبود اسیدهای آمینه را برطرف نماید. همچنین حبوبات با توجه به توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن و قرار گرفتن این گیاهان در تناوب زراعی با سایر محصولات حائز اهمیت می‌باشند (Majnun Hosseini, 2008). در بین حبوبات، لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی یک‌ساله و خودگشن با ۲۲ کروموزوم است که به عنوان یک غذای اصلی و تأمین‌کننده بخشی از پروتئین مورد نیاز در جیره غذایی انسان‌ها به شمار می‌رود. در جنس *Phaseolus* پنج گونه زراعی و پنج گونه وحشی وجود دارد. مهم‌ترین گونه زراعی این جنس، *vulgaris* می‌باشد که در سطح وسیع در سراسر دنیا مورد

کشت و کار قرار می‌گیرد (Schoonhoven & Voysest, 1991). براساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی، سطح زیرکشت این محصول در جهان حدود ۳۷ میلیون هکتار و میزان تولید آن ۲۸/۵ میلیون تن با متوسط عملکرد ۷۵۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2023). در ایران سطح زیرکشت لوبیا ۸۵۰۶۰ هکتار، مقدار تولید آن ۲۰۷۱۲۰ تن و عملکرد آن ۲۴۳۵ کیلوگرم در هکتار است (Deputy for Statistics, Statistical Center of Information Technology and Communications, 2025). با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد برنامه‌های اصلاحی، بررسی خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی تعیین‌کننده عملکرد از جمله روش‌های مناسب برای دستیابی به معیارهای انتخاب در جهت بهبود عملکرد، اصلاح و معرفی ارقام تجاری است. تنوع ژنتیکی نتیجه تکامل در طول سالیان متمادی بوده و توده‌های گیاهی موجود در طبیعت با محیط خود به‌ویژه عوامل نامساعد محیطی به حالت تعادل درآمده‌اند و به ثبات و پایداری رسیده‌اند. منابع ژنتیکی گیاهی علاوه بر نقش زیربنایی برای تولید ارقام جدید و گسترش سطح زیرکشت به عنوان منبعی از ژن‌های مفید برای مقاومت به تنش‌های زنده و

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۲- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

(*)- نویسنده مسئول: s.ashtari@areeo.ac.ir

رنگ و الگوی آن مورد بررسی قرار دادند. در بین این مجموعه، انواع پروتئین‌های فازتولین C، T و S را مشاهده نمودند. وجود این تنوع منجر به جمع‌آوری کل توده‌های بومی منطقه و جلوگیری از فرسایش ژنتیکی آن‌ها شد (Piergovani et al., 2000). محققان ۵۰۰ نمونه لوبیا سفید بانک ژن گیاهی ملی ایران را در سال ۱۳۸۳ در منطقه کرج مورد ارزیابی قرار دادند و تنوع قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با صفاتی مثل تعداد بذر در بوته، عملکرد، تعداد غلاف در بوته، ارتفاع گیاه، تعداد گره در ساقه، شکل بذر و تیپ رشد مشاهده کردند (Dargahi et al., 2008). کنه تارتن دولکهای (*Tetranychus urticae*) یکی از مهم‌ترین آفات لوبیا در استان مرکزی محسوب می‌شود (Ashtari et al., 2020). این آفت همه ساله خسارت زیادی را به مزارع لوبیای کشور وارد می‌کند (Taghizadeh & Fathi, 2017). از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاحی لوبیا، مقاومت به آفات و بیماری‌ها است (Yazdi Samadi & Abd Mishani, 2000). کنه تارتن دو لکهای چند خوار بوده و انتشار جهانی دارد. خسارت کنه تارتن دولکهای به دلیل تئیدن تار و تغذیه از شیربه سلولی می‌باشد. این کنه از روی بیش از ۱۲۰۰ گونه گیاهی جمع‌آوری شده است و خسارت آن برای بیش از ۱۵۰ گونه گیاهی دارای اهمیت اقتصادی می‌باشد (Shahrayin et al., 2018). با توجه به اهمیت لوبیا در ایران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده پروتئین، بررسی حاضر با هدف احیاء و بررسی میزان تنوع ژنتیکی موجود در نمونه‌های لوبیا کلکسیون پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا خمین و به‌کارگیری ژرمپلاسماهای برتر در برنامه‌های به‌نژادی این محصول انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور احیاء و ارزیابی برخی صفات نمونه‌های موجود در کلکسیون لوبیای پردیس تحقیقات و آموزش خمین، آزمایشی به مدت سه سال اجرا شد. پردیس تحقیقات لوبیای خمین در منطقه خرم دشت و هشت کیلومتری شهرستان خمین با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه و در ارتفاع ۱۹۳۰ متری از سطح دریا واقع شده است. میانگین بلندمدت بارندگی در این منطقه براساس آمار هواشناسی ۳۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. تعداد ۷۲۰ نمونه لوبیا از انواع چیتی، قرمز و سفید موجود در کلکسیون مذکور در قالب طرح آگمنت کشت گردید. تعداد بلوک‌ها در هر سال با توجه به تعداد نمونه‌های کشت‌شده متفاوت بود، به‌طوری که در سال اول نمونه‌ها در ۱۹ بلوک، در سال دوم نمونه‌ها در ۱۴ بلوک و در سال سوم نمونه‌ها در ۱۲ بلوک آزمایشی کشت گردید. بافت خاک محل اجرای آزمایش لومی رسی با اسیدیته ۷/۸ بود. میزان کود به‌کاررفته

غیرزننده و گسترش سازگاری ژنتیکی در برابر تغییرات محیطی می‌باشند، لذا احیاء و ارزیابی و استفاده از منابع ژنتیکی گیاهان به‌عنوان وسیله‌ای در برابر مشکلات و مسائل غیرآشکار و پیش‌بینی نشده در آینده می‌باشد. در بین محصولات مختلف کشاورزی، لوبیا دارای تنوع وسیعی در شکل، اندازه دانه و دوره رسیدگی می‌باشد و در شرایط مطلوب واکنش زیادی برای ایجاد عملکردهای متفاوت از خود نشان می‌دهند (Schoonhoven & Voysest, 1991). گومز و همکاران (Gomez et al., 2004) بیان کردند که در مرکز تحقیقات بین‌المللی لوبیا (CIAT¹) حدود ۴۰۰۰۰ توده جمعیتی لوبیا وجود دارد که ۲۶۵۰۰ مورد آن مربوط به گونه *vulgaris* است. این توده‌ها دارای تنوع زیادی از نظر عملکرد دانه بوده و این تنوع، به‌عنوان باارزش‌ترین قسمت تنوع زیستی برای آینده تولید جهانی لوبیا اهمیت زیادی دارد. بررسی تعدادی از صفات زراعی و ریخت‌شناسی ارقام لوبیا نشان داد که تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر صفات الگوی رشد، تعداد گره در ساقه اصلی، تعداد غلاف در گیاه، رنگ گل و غلاف، ارتفاع بوته، تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدن غلاف‌ها مشاهده شد، همچنین در بررسی همبستگی صفات معلوم شد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات مورد مطالعه وجود داشت (Garcia et al., 1997). پژوهشگران با مطالعه تنوع ژنتیکی ۸۲ رقم لوبیای منطقه کارپاتین گزارش نمودند که تنوع ژنتیکی قابل ملاحظه‌ای از نظر صفات الگوی رشد، ارتفاع بوته، رنگ بال، رنگ غلاف، آرایش نوک غلاف، فیبر دیواره غلاف، شکل بذر، رنگ زمینه بذر، تعداد روز تا شروع گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدن غلاف‌ها، طول بذر، عرض بذر، ضخامت بذر و وزن ۱۰۰ دانه به دست آمد (Hornakova et al., 2003). مطالعه تنوع ژنتیکی، وراثت‌پذیری و پایداری ژنتیکی ۳۱ ژنوتیپ لوبیا نشان داد که بیشترین تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی به‌ترتیب مربوط به صفات تعداد روز تا رسیدگی و طول غلاف بود و صفات زمان تا ۵۰ درصد گل‌دهی، زمان رسیدگی، ارتفاع گیاه، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه وراثت‌پذیری بالایی داشتند (Raffi & Nath, 2004). ارزیابی ۶۹۷ نمونه از کلکسیون حبوبات دانشگاه تهران نشان داد که تنوع بالایی از نظر صفات عملکرد دانه و اجزای عملکرد و مقاومت به بیماری و ویروسی وجود داشت (Mirzaei Nedoushan, 1997). بررسی دیگری روی همین کلکسیون، وجود تنوع را برای صفات مورد مطالعه تأیید نموده و در صفات ارتفاع و تعداد گره روی شاخه اصلی نیز تنوع مشاهده کردند (Amini, 1998). پژوهشگران، یک کلکسیون انتخابی لوبیا شامل ۳۶ توده که از جنوب ایتالیا جمع شده بود را از لحاظ تنوع شکل دانه،

خسارت تنها یک بار انجام شد و شدت آلودگی براساس علائم ظاهري خسارت شامل زردی، لکه دار شدن و کاهش سطح سبزینه برگ ها طبق مقیاس نمره دهی مربوطه ثبت گردید (Ashtari et al., 2023). برای صفات ارزيابي شده کمی آماره های توصيفی شامل آماره های متوسط میانگین حسابی، پراکندگی، حدود تغییرات، واریانس، انحراف معیار و ضریب تغییرات برآورد شد. همچنین از تجزیه به مؤلفه های اصلی و تجزیه کلاستر به روش WARD استفاده گردید. از نرم افزارهای Excel و SPSS جهت ثبت داده ها و تجزیه واریانس و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج

یکنواختی ماده آزمایشی

جهت بررسی وضعیت یکنواختی زمین آزمایش، با در نظر گرفتن قطعات کشت به عنوان بلوک و شاهد ها به عنوان تیمار در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی، تجزیه واریانس برای صفات انجام شد. نتایج مربوط به بلوک ها در کلیه صفات برای آزمایش ها در طی سه سال اجرا غیر معنی دار بود ($P>0.05$) که نشان دهنده یکنواختی بلوک ها، شرایط آزمایش و اعتبار داده ها بوده و نیازی به تصحیح داده ها نبود (جدول ۱).

پارامترهای آماری مورد بررسی

جدول های ۲ تا ۴ شاخص های آماری توصيفی صفات مورد بررسی در طی سه سال اجرای آزمایش را نشان می دهد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ های مورد بررسی برای صفات اندازه گیری شده دارای تنوع می باشند. بیشترین میزان ضریب تغییرات فنوتیپی در طی سه سال اجرای آزمایش مربوط به عملکرد دانه و پس از آن مربوط به وزن ۱۰۰ دانه بود. کمترین ضریب تغییرات فنوتیپی مربوط به صفت روز تا رسیدگی بود.

در زمین با توجه به آزمون خاک محل اجرای آزمایش و از نوع سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره بود. کودهای فسفاته و پتاسه در زمان آماده سازی زمین و کود اوره پس از سبز شدن و در حین فصل رشد به صورت سرک در حین دوره رشدی گیاه مصرف گردید. پس از آماده سازی زمین، اقدام به ایجاد جوی و پشته به فواصل ۵۰ سانتی متر از یکدیگر شد و بذور هر یک از ژنوتیپ ها روی دو خط دو متری کشت شدند. فواصل بوته ها روی ردیف ۵۰ سانتی متر از یکدیگر در نظر گرفته شد و بین هر کرت آزمایشی یک خط نکاشت لحاظ گردید. به منظور تشخیص یکنواختی بلوک ها در زمان تجزیه و تحلیل داده ها از سه شاهد لوبیا چیتی رقم کوشا، لوبیا قرمز افق و لوبیا سفید درسا استفاده شد. کلیه مراقبت های زراعی لازم شامل آبیاری و مبارزه با علف های هرز، آفات و بیماری ها برای تمامی بلوک ها به صورت یکسان صورت گرفت. صفات روز تا رسیدگی، تیپ بوته (تیپ ۱: ایستاده رشد محدود، تیپ ۲: ایستاده رشد نامحدود، تیپ ۳: رونده)، عملکرد و وزن ۱۰۰ دانه نمونه ها یادداشت برداری شد. مقیاس های ارزيابي خسارت کنه تارتن دولک های در لوبیا براساس میزان آلودگی سطح برگ ها (که همان نقاط کلروز سطح برگ می باشد) شامل ۱- بدون خسارت، ۲- خسارت کمتر از ۵ درصد، ۳- خسارت بین ۲۵-۵ درصد، ۴- خسارت بین ۴۵-۲۵ درصد، ۵- خسارت بین ۶۵-۴۵ درصد و ۶- خسارت بیش از ۶۵ درصد می باشد. لاین هایی که مقیاس خسارت ظاهری آن ها کمتر از ۲/۵ بود به عنوان مقاوم، ۳/۷-۲/۵ به عنوان نیمه مقاوم، ۴/۶-۳/۷ به عنوان نیمه حساس و ۶-۴/۶ به عنوان حساس در نظر گرفته شد (Ashtari et al., 2025). به منظور ارزيابي حساسیت ژنوتیپ های لوبیا به کنه تارتن دولک های، آلودگی به صورت طبیعی و تحت شرایط مزرعه ای انجام گردید. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، از هر کرت پنج بوته به صورت تصادفی انتخاب و از هر بوته دو برگ (یک برگ از قسمت پایینی و یک برگ از قسمت بالایی گیاه) مورد بررسی و نمره دهی قرار گرفت. ارزيابي

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس یکنواختی بلوک ها برای صفات مورد ارزيابي ژنوتیپ های لوبیا در سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹

Table 1- Analysis of variance results for block uniformity for the evaluated traits bean genotypes in 2021-2023

صفت مورد ارزيابي Evaluated traits	میانگین مربعات Meab of squares		
	سال ۱۳۹۹ Year 2021	سال ۱۴۰۰ Year 2022	سال ۱۴۰۱ Year 2023
روز تا رسیدگی Days to maturity	18.6 ^{ns}	8.3 ^{ns}	9.7 ^{ns}
عملکرد دانه (گرم در پلات) Yield (g.plot ⁻¹)	2303.1 ^{ns}	11195.9 ^{ns}	14859.8 ^{ns}
وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	2.1 ^{ns}	10.2 ^{ns}	11.6 ^{ns}

توزیع فراوانی تیپ بوته

جدول ۵، درصد فراوانی متوسط تیپ بوته ژنوتیپ‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در طی سه سال اجرای آزمایش، ۲۸/۴ درصد از ژنوتیپ‌ها دارای تیپ بوته رونده (تیپ ۳)، ۴۱/۸ درصد دارای تیپ رشدی ایستاده (تیپ ۱) و ۴۴/۹ درصد دارای به‌منظور گروه‌بندی صفات و تعیین میزان اهمیت و ارتباط هر یک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل داده‌ها و همچنین تعیین اهمیت متغیرهایی که در گروه‌ها نقش داشتند، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفه در

مجموع ۶۱/۹ درصد از تغییرات کل را توجیه نمودند (**جدول ۶**). عامل اول ۳۵/۶ درصد از تغییرات را توجیه کرد که در این عامل، صفات دوره رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه دارای بالاترین ضرایب مثبت عاملی بودند. عامل دوم نیز ۲۶/۳ درصد از تغییرات را توجیه نمود و در این عامل، صفات تیپ بوته و عملکرد دانه دارای بالاترین ضرایب مثبت عاملی بودند، لذا برای کاهش دوره رسیدگی می‌توان گزینش منفی براساس عامل اول انجام داد و یا برای افزایش وزن ۱۰۰ دانه می‌توان گزینش مثبت براساس عامل اول صورت گیرد. تیپ بوته نیمه‌رونده (تیپ ۲) بودند.

جدول ۲- آمار توصیفی صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیا در سال ۱۳۹۹
Table 2- Descriptive statistics of the evaluated traits bean genotypes in 2021

ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	انحراف معیار Standard deviation	واریانس Variance	خطای معیار Standard error	میانگین Mean	دامنه تغییرات Range	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	صفت مورد ارزیابی Evaluated trait
8.6	7.88	62.2	0.45	91.1	36	111	75	روز تا رسیدگی Days to maturity
50.2	176.9	31321	10.3	352.6	1300	1400	100	عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)
31.6	10.8	116.7	0.61	34.2	49.4	65	15.6	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)

جدول ۳- آمار توصیفی صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیا در سال ۱۴۰۰
Table 3- Descriptive statistics of the evaluated traits bean genotypes in 2022

ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	انحراف معیار Standard deviation	واریانس Variance	خطای معیار Standard error	میانگین Mean	دامنه تغییرات Range	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	صفت مورد ارزیابی Evaluated trait
9.4	8.7	75.9	0.6	92.2	39	116	79	روز تا رسیدگی Days to maturity
41.7	322.1	103728.6	22.3	772.5	2363	2463	100	عملکرد دانه (گرم) Seed yield (g)
26.6	8.7	75.2	0.6	32.7	36.8	54.4	17.6	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)

جدول ۴- آمار توصیفی صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیا در سال ۱۴۰۱
Table 4- Descriptive statistics of the evaluated traits bean genotypes in 2023

ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	انحراف معیار Standard deviation	واریانس Variance	خطای معیار Standard error	میانگین Mean	دامنه تغییرات Range	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	صفت مورد ارزیابی Evaluated trait
6.5	6.05	36.6	0.56	93.7	28	111	83	روز تا رسیدگی Days to maturity
43.4	250.7	62868.1	23.1	578	1200	1300	100	عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)
23.4	7.7	60.4	0.71	32.8	34.9	55.4	20.5	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)

جدول ۵- درصد فراوانی تیپ بوته ژنوتیپ‌های لوبیا در طی سه سال اجرای آزمایش

Table 5- Frequency percentage of plant type bean genotypes over the three years of the experiment

تیپ بوته Plant type	درصد فراوانی تیپ بوته Plant type frequency (%)			درصد فراوانی متوسط Average frequency percentage
	سال ۱۳۹۹ Year 2021	سال ۱۴۰۰ Year 2022	سال ۱۴۰۱ Year 2023	
ایستاده و رشد محدود upright with limited growth	27.2	17.2	44.9	29.8%
ایستاده و رشد نامحدود upright with indeterminate growth	40.5	41.6	43.2	41.8%
رونده creeping	32.3	41.1	11.9	28.4%

تیپ بوته (۱: ایستاده و رشد محدود، ۲: ایستاده و رشد نامحدود، ۳: رونده)

Plant type (1: upright with limited growth, 2: upright with indeterminate growth, 3: creeping)

جدول ۶- نتایج تجزیه عامل‌ها در ژنوتیپ‌ها برای صفات ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 6. Results of factor analysis in bean genotypes for genotype traits

صفات Traits	عامل ۱ Factor1	عامل ۲ Factor2
روز تا رسیدگی Days to maturity	0.71	0.14
تیپ بوته Plant type	-0.12	0.89
عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)	0.85	-0.04
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	0.33	0.55
درصد واریانس Variance percentage	35.55	26.34
واریانس تجمعی Cumulative variance	35.55	61.9

برخوردار بودند. با توجه به ویژگی‌های ذکرشده برای هر خوشه به‌منظور ایجاد زودرسی و افزایش عملکرد می‌توان از ژنوتیپ‌های موجود در خوشه‌های اول، پنجم و ششم بهره گرفت.

اسدی و همکاران (Asadi et al., 2015) تنوع ژنتیکی و تعیین روابط بین صفات را در ۳۵۰ نمونه لوبیا چیتی مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که چهار عامل اصلی به‌نام‌های خصوصیات ایدئوتایی، اجزای عملکرد، دوره فنولوژیکی و عملکرد ۷۵ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمود. همچنین براساس تجزیه خوشه به‌روش WARD، ژنوتیپ‌ها در شش گروه قرار گرفتند و براساس بای پلات عامل‌های دوم و چهارم، ۶۴ نمونه برتر را برای برنامه‌های به‌نژادی گزینش نمودند (جدول ۸، ۹ و ۱۰).

به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین فواصل ژنتیکی از نظر دوری و نزدیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها، تجزیه خوشه (کلاستر) انجام شد. با برش دندروگرام، ژنوتیپ‌ها در شش گروه قرار گرفتند. مشخصات هر یک از خوشه‌ها در جدول ۷ ارائه شده است. در خوشه اول ۲۸۷ ژنوتیپ قرار گرفت. مشخصه اصلی این خوشه دوره رسیدگی کمتر (۹۰) و وزن ۱۰۰ دانه پایین (۲۸/۶) بود. در خوشه دوم ۲۳۴ ژنوتیپ قرار گرفت و مشخصه اصلی این خوشه، ژنوتیپ‌هایی با فرم بوته ایستاده بودند. در خوشه سوم ۲۰ ژنوتیپ قرار گرفتند. در خوشه چهارم ۳۳ ژنوتیپ قرار گرفتند که مشخصه بارز آن وجود ژنوتیپ‌هایی با وزن ۱۰۰ دانه بود. در خوشه پنجم تعداد نه ژنوتیپ قرار داشت که از دوره رسیدگی بالا و همچنین عملکرد بالا برخوردار بودند. در خوشه ششم نیز سه ژنوتیپ قرار گرفت که از عملکرد بالایی

جدول ۷- مشخصات خوشه‌ها در ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 7. Characteristics of clusters in bean genotypes

صفات Traits	کلاستر ۱ Cluster 1		کلاستر ۲ Cluster 2		کلاستر ۳ Cluster 3	
	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average
روز تا رسیدگی Days to maturity	90.14	-1.8	91.7	-0.01	92.9	1.2
تیپ بوته Plant type	2.4	19.5	1.5	-25	2.4	20
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	28.6	-14.3	36.4	8.9	35.5	6.38
عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)	481.8	-9.5	525.1	-1.39	912	71.3

ادامه جدول ۷- مشخصات خوشه‌ها در ژنوتیپ‌های لوبیا

Continuation of Table 7. Characteristics of clusters in bean genotypes

صفات Traits	کلاستر ۴ Cluster 4		کلاستر ۵ Cluster 5		کلاستر ۶ Cluster 6	
	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average	میانگین Mean	انحراف از میانگین کل Deviation of total average
روز تا رسیدگی Days to maturity	100.4	9.4	110.1	19.9	96.6	5.2
تیپ بوته Plant type	2.7	35	2.4	20	2.3	15
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	51.7	54.7	39.9	19.5	30.3	-10.2
عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)	458.5	-13.9	1153.5	116.6	2379	346.7

انتخاب ژنوتیپ مطلوب

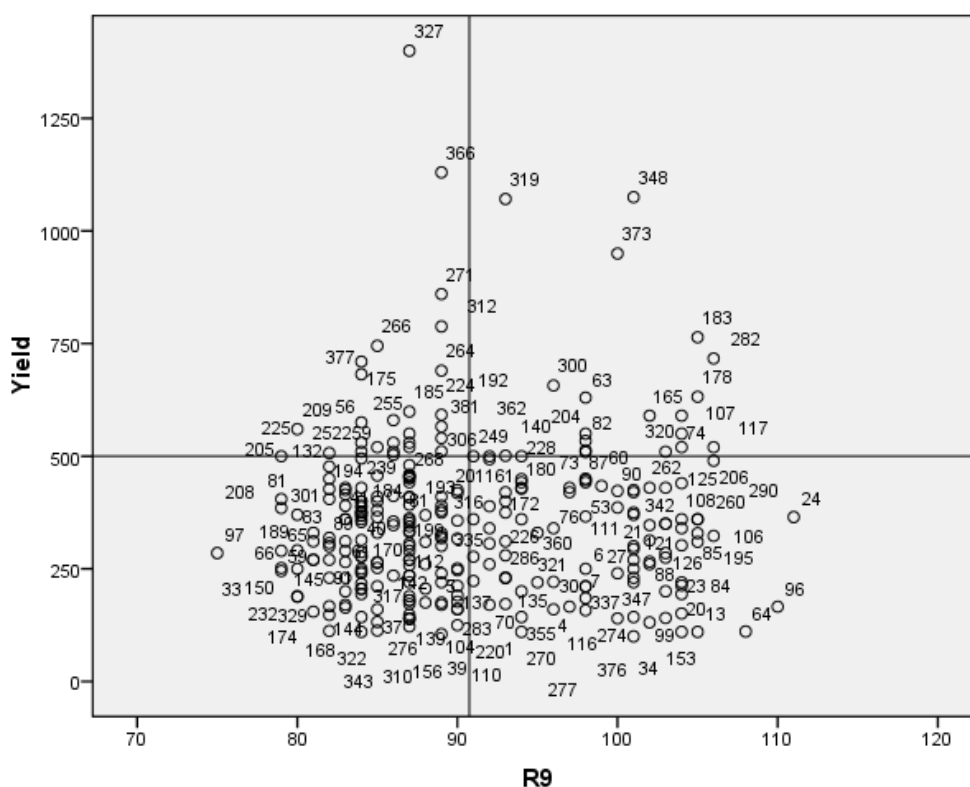
یکی از اهداف اصلی ایجاد بانک‌های ژن و کلکسیون‌ها، حفاظت از ذخایر ژنتیک گیاهی و به‌کارگیری مواد قابل نگهداری در برنامه‌های به‌نژادی به‌واسطه استفاده از ژن‌های مطلوب آن‌ها در افزایش تولید چه به‌صورت مستقیم و چه غیرمستقیم در برنامه‌های به‌نژادی برای مقابله با انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد. جهت گزینش نمونه‌های مطلوب لوبیا، توجه به صفاتی چون عملکرد، زودرسی، بازارپسندی و فرم بوته حائز اهمیت می‌باشند. با توجه به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و دوره رسیدگی در طی سه سال اجرای آزمایش، از نمودار دوطرفه این دو صفت استفاده شد (شکل‌های ۱ تا ۳) و نمونه‌هایی که دارای عملکرد بالاتر از میانگین و زودرس بودند، گزینش شدند. مشخصات ژنوتیپ‌های انتخابی در هر سال در جدول‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در سال اول، بیشترین و کمترین

عملکرد دانه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های چیتی (۱۱۳۰) کیلوگرم در هکتار و قرمز (۴۸۲) کیلوگرم در هکتار اختصاص یافت. در سال دوم، بیشترین و کمترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های قرمز به‌میزان ۱۳۵۵ و ۴۷۰ کیلوگرم در هکتار بود. در سال سوم، ژنوتیپ لوبیا قرمز با عملکرد ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ لوبیا سفید با عملکرد ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند. براساس نمودارهای دوطرفه عملکرد و دوره رسیدگی، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بالاتر از میانگین و دوره رسیدگی کوتاه‌تر داشتند، گزینش شدند. این ژنوتیپ‌ها شامل لوبیا قرمز، چیتی و سفید بودند که عملکرد آن‌ها بین ۴۷۰ تا ۱۱۳۰ کیلوگرم در هکتار نوسان داشت. انتخاب ژنوتیپ‌های برتر براساس ترکیب عملکرد و زودرسی نشان می‌دهد که این معیار می‌تواند برای برنامه‌های به‌نژادی و افزایش بهره‌وری مزارع کاربردی باشد.

حساسیت ژنوتیپ‌ها نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای

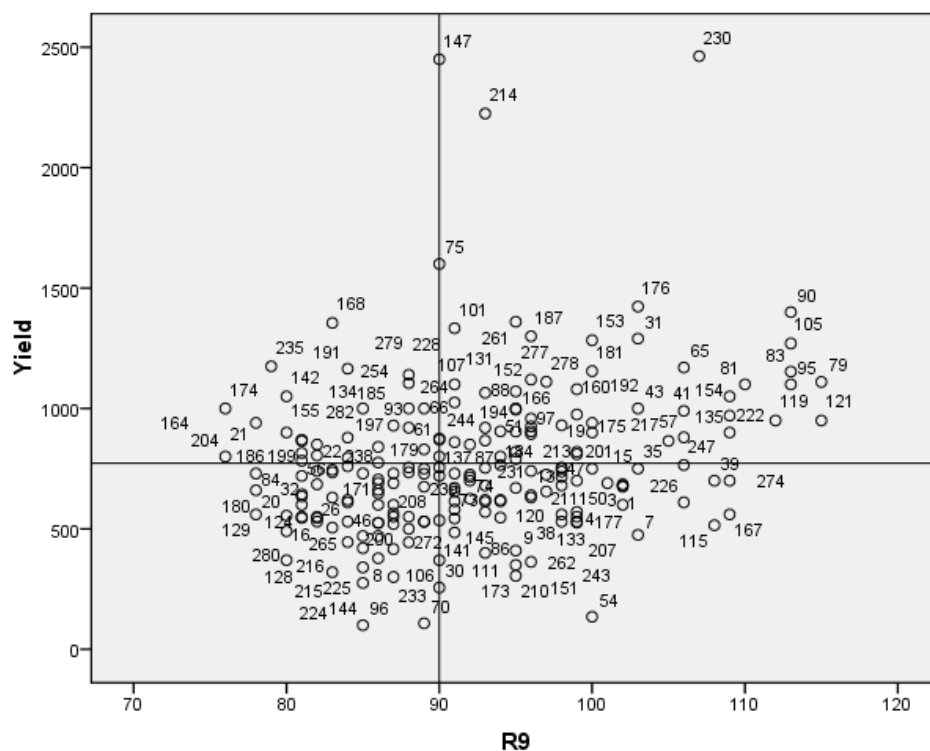
در این پژوهش، ارزیابی حساسیت ژنوتیپ‌ها نسبت به کنه تارتن دولکه‌ای براساس مقیاس نمره‌دهی ۱ تا ۶ انجام شد. در این مقیاس، نمره ۱ نشان‌دهنده عدم بروز علائم ژنوتیپ و نمره ۲ بیانگر وجود زردی بسیار خفیف و جمعیت کم کنه می‌باشد. نمره ۳ به ژنوتیپ‌هایی اختصاص یافت که زردی پراکنده و خسارت خفیف تا متوسط را نشان دادند و به‌عنوان نسبتاً متحمل طبقه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های دارای نمره ۴ با شدت خسارت متوسط، ظهور لکه‌های زرد و افزایش جمعیت کنه، در گروه نیمه‌حساس قرار گرفتند. نمره ۵ بیانگر زردی و برنزه شدن واضح، پیچیدگی برگ و افزایش چشمگیر جمعیت کنه بوده و به‌عنوان حساس طبقه‌بندی شد. در نهایت، ژنوتیپ‌هایی که نمره ۶ دریافت کردند دارای برنزه شدن شدید، خشکیدگی برگ‌ها و بیشترین شدت خسارت بوده و به‌عنوان بسیار حساس شناخته شدند. این

مقیاس، امکان مقایسه دقیق و استاندارد ژنوتیپ‌ها را از نظر تحمل یا حساسیت به آلودگی کنه فراهم می‌کند. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی نسبت به ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز و سفید از حساسیت بیشتری برخوردار بودند. محققان در بررسی میزان خسارت غلاف‌خوار لوبیا در مزارع استان مرکزی گزارش کردند که از بین توده‌های مورد بررسی به‌ترتیب چیتی، قرمز و سفید حساسیت بیشتری نسبت به به این آفت نشان دادند (Ashtari et al., 2022). پژوهشگران کاربرد برخی ارقام لوبیا سفید و قرمز که نسبت به ارقام لوبیا چیتی خسارت کمتری می‌بینند را جهت مهار این آفت، توصیه کرده‌اند (Shahrayin et al., 2018). این نتایج، اهمیت ارزیابی هم‌زمان عملکرد و مقاومت به آفات برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و کاهش خسارت در مزرعه را نشان می‌دهد.

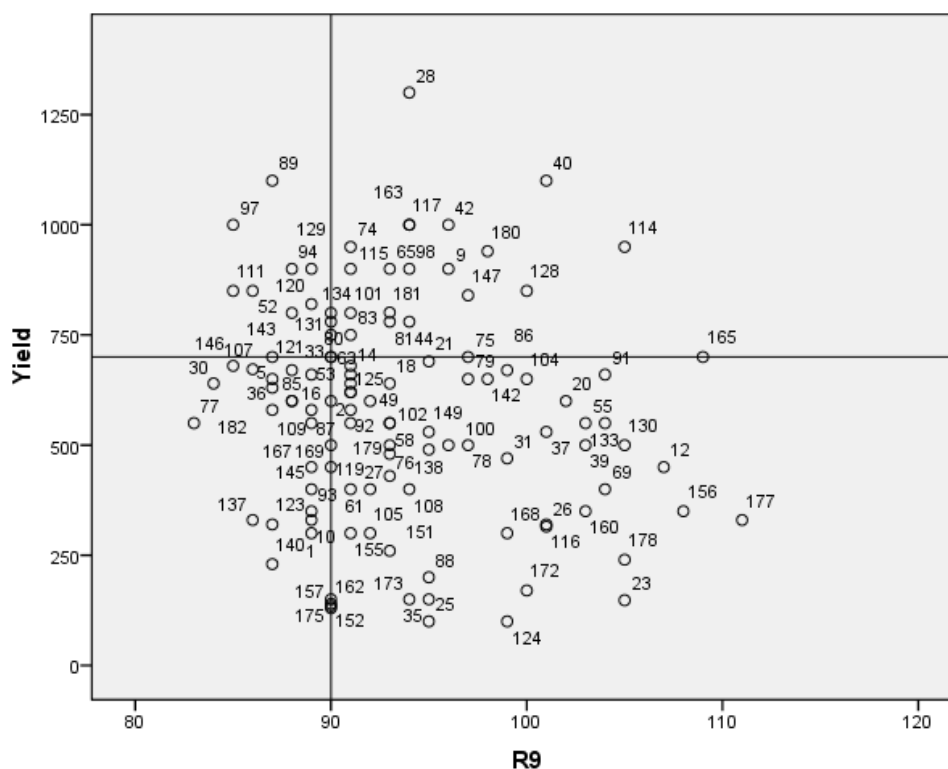


شکل ۱- نمودار دوطرفه عملکرد و دوره رسیدگی در سال ۱۳۹۹

Figure 1- Biplot of yield and days to maturity in 2021



شکل ۲- نمودار دوطرفه عملکرد و دوره رسیدگی در سال ۱۴۰۰
Figure 2- Biplot of yield and days to maturity in 2022



شکل ۳- نمودار دوطرفه عملکرد و دوره رسیدگی در سال ۱۴۰۱
Figure 3- Biplot of yield and days to maturity in 2023

جدول ۸- مشخصات ژنوتیپ‌های انتخابی لوبیا در سال ۱۳۹۹
Table 8- Characteristics of selected bean genotypes, in 2021

ردیف Row	شماره ژنوتیپ Genotype No	مقیاس خسارت کنه تارتن دو لکه‌ای Two-spotted spider mite damage scale	کد لاین Genotype code	تیپ بوته Plant type	رسیدگی (روز) Maturity (days)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)	نوع لوبیا Bean type
1	56	3	KS31147	1	84	50.8	575	قرمز Red
2	132	3	KS31119	2	82	26	482	قرمز Red
3	162	2	KS31110	2	89	28.4	566	قرمز Red
4	175	4	KS31103	3	84	30.8	710	قرمز Red
5	185	4	KS21275	1	87	31.4	599	چیتی Pinto
6	192	4	KS31114	2	87	25.6	530	قرمز Red
7	209	4	KS21270	1	80	29	560	چیتی Pinto
8	218	3	KS940008	3	86	25.5	510	سفید White
9	224	2	KS940082	3	89	28	592	سفید White
10	229	3	KS31233	3	86	26.4	503	قرمز Red
11	242	4	KS21203	1	86	44	580	چیتی Pinto
12	246	3	KS21182	3	89	50	510	چیتی Pinto
13	252	4	KS21233	2	84	34	510	چیتی Pinto
14	255	3	KS21219	2	87	47	550	چیتی Pinto
15	259	4	KS21218	3	85	45.4	520	چیتی Pinto
16	264	4	KS21212	1	89	32	690	چیتی Pinto
17	266	4	KS21211	1	85	44	745	چیتی Pinto
18	268	2	KS31236	2	86	24.5	530	قرمز Red
19	271	4	KS21214	3	89	44.8	860	چیتی Pinto
20	280	3	KS31224	2	87	24	520	قرمز Red
21	306	4	KS21223	2	89	32.8	540	چیتی Pinto
22	312	3	KS940004	3	89	36.8	780	سفید White
23	366	5	KS21188	1	89	38	1130	چیتی Pinto

جدول ۹- مشخصات ژنوتیپ‌های انتخابی لوبیا در سال ۱۴۰۰

Table 9- Characteristics of selected bean genotypes, in 2022

ردیف Row	شماره ژنوتیپ Genotype No.	مقیاس خسارت کنه تارتن دو لکه‌ای Two-spotted spider mite damage scale	کد لاین Genotype code	تیپ بوته Plant type	رسیدگی (روز) Maturity (days)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g.plot ⁻¹)	نوع لوبیا Bean type
1	21	3	KS31268	2	81	35.6	815	قرمز Red
2	61	3	KS21126	3	89	36.8	830	چیتی Pinto
3	66	3	KS41122	3	89	35.2	1000	سفید White
4	71	4	KS31252	2	82	23.6	850	قرمز Red
5	84	3	KS31155	2	81	23.4	470	قرمز Red
6	93	4	KS21112	3	88	42.2	920	چیتی Pinto
7	134	3	KS31303	3	85	27.8	1000	قرمز Red
8	142	2	KS31297	2	80	27.4	1050	قرمز Red
9	155	2	KS31287	2	80	36.7	900	قرمز Red
10	164	4	KS31275	2	78	20	940	قرمز Red
11	168	3	KS31294	3	83	28.7	1355	قرمز Red
12	174	4	KS31289	3	80	25.6	1000	قرمز Red
13	185	3	KS31310	2	88	26.2	1000	قرمز Red
14	191	4	KS31298	2	84	29.8	1165	قرمز Red
15	197	3	KS41147	2	87	32.6	790	سفید White
16	204	4	KS31288	1	76	29.2	800	قرمز Red
17	206	2	KS41142	1	81	34.4	870	سفید White
18	209	3	KS21408	1	84	29.5	795	چیتی Pinto
19	219	3	KS21381	1	82	41.5	805	چیتی Pinto
20	228	3	KS21395	2	88	43.8	1050	چیتی Pinto
21	234	5	KS21376	2	81	37.2	865	چیتی Pinto
22	235	4	KS31295	1	80	27.3	1175	قرمز Red
23	254	3	KS31305	2	86	24.8	840	قرمز Red
24	279	3	KS31293	3	88	25.6	1140	قرمز Red

جدول ۱۰- مشخصات ژنوتیپ‌های انتخابی لوبیا در سال ۱۴۰۱
Table 10- Characteristics of selected bean genotypes, in 2023

ردیف Row	شماره ژنوتیپ Genotype No.	مقیاس خسارت کنه تارتن دو لکه‌ای Two-spotted spider mite damage scale	کد لاین Genotype code	تیپ بوته Plant type	رسیدگی (روز) Maturity (days)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در پلات) Seed yield (g plot ⁻¹)	نوع لوبیا Bean type
1	5	4	KS21440	1	87	36	630	چیتی Pinto
2	30	2	KS21447	1	84	36.8	640	چیتی Pinto
3	33	4	KS31354	1	88	22	670	قرمز Red
4	52	3	KS31345	1	86	21	850	قرمز Red
5	53	3	KS21449	1	89	40.7	660	چیتی Pinto
6	85	3	KS41249	2	88	28.4	600	سفید White
7	89	3	KS31242	2	87	26.8	1100	قرمز Red
8	94	2	KS41247	2	88	36.8	900	سفید White
9	97	3	KS31330	1	85	22.8	1000	قرمز Red
10	107	2	KS31337	3	85	34.6	680	قرمز Red
11	109	3	KS31331	2	88	27	600	قرمز Red
12	111	2	KS21457	2	85	44.6	850	چیتی Pinto
13	120	3	KS41246	1	89	43	900	سفید White
14	121	2	KS31327	2	87	23.6	650	قرمز Red
15	129	2	KS41251	2	89	32.2	820	سفید White
16	143	3	KS41256	2	88	25.6	800	سفید White
17	146	3	KS41237	2	87	35	700	سفید White

بحث

(Schoonhoven & Voysest, 1991) است که تنوع وسیع در شکل، اندازه بذر و طول دوره رشد را از ویژگی‌های بارز لوبیا دانسته‌اند. هدف اصلی برنامه‌های اصلاح نباتات، افزایش یا تثبیت عملکرد قابل برداشت در واحد سطح همراه با کمترین هزینه تولید است که موجب افزایش درآمد زارع گردد. جایی که شرایط رشد به‌طور ثابتی مناسب و مطلوب است، افزایش در پتانسیل عملکرد از طریق به‌نژادی احتمالاً می‌تواند توسط تجمع ژن‌هایی که موجب تولید حداکثر عملکرد می‌شوند، صورت بگیرد. نتایج این پژوهش نشان داد که برخی نمونه‌ها

بیشترین میزان تنوع ژنتیکی در لوبیا برای صفاتی نظیر تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه گزارش شده است که این تنوع، نقش اساسی در موفقیت برنامه‌های اصلاحی این محصول دارد. در تحقیق حاضر نیز تنوع قابل توجهی بین نمونه‌ها از نظر عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه مشاهده شد که نشان‌دهنده پتانسیل بالای این مواد ژنتیکی برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و توسعه ارقام پرمحصول می‌باشد. این نتایج همسو با یافته‌های اسچونه‌اون و وایسس

مراحل پایانی رشد، به دلیل کاهش توانایی ترمیم گیاه و تجمع خسارت، علائم آلودگی شدیدتر بروز می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که بین نمونه‌ها از نظر شدت خسارت کنه تارتن دولکه‌ای تفاوت قابل توجهی وجود داشت که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی مؤثر در واکنش به این آفت است. این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف در ویژگی‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی برگ‌ها نظیر ضخامت کوتیکول، تراکم کرک‌های برگ و ترکیبات فنلی باشد که بر تغذیه و استقرار کنه تأثیر می‌گذارند (Luczynski et al., 1990; Warabieda & Olszak, 1994). وجود چنین تنوعی، فرصت مناسبی برای شناسایی و استفاده از منابع مقاومت یا تحمل در برنامه‌های اصلاحی فراهم می‌سازد. طهماسبی (Tahmasebi, 2013) با بررسی مقاومت چند لاین لوبیا نسبت به کنه تارتن دولکه‌ای نشان داد که لاین‌های ۲۱۴۷۹، ۳۱۱۶۷، ۱۱۸۶ سیاه و ۱۱۱۴ چیتی از مقاومت بالاتری برخوردار بودند. همچنین اشتری و همکاران (Ashtari et al., 2020) در بررسی تحمل چند لاین امیدبخش لوبیا به کنه تارتن در شرایط گلخانه و مزرعه، به این نتیجه رسیدند که رقم دادفر و لاین ۳۱۲۸۶ شاخص مقاومت بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشتند و این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در منطقه توصیه نمودند. این نتایج بیانگر آن است که امکان شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به کنه در جمعیت‌های لوبیا وجود دارد و می‌توان از این ویژگی در کاهش وابستگی به سموم شیمیایی بهره گرفت. وجود تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها از نظر شدت خسارت کنه در این مطالعه نیز مؤید تنوع ژنتیکی مؤثر در واکنش به این آفت می‌باشد. این امر، اهمیت ارزیابی مستمر ژرم‌پلاس‌های بومی را برای شناسایی منابع جدید تحمل یا مقاومت برجسته می‌سازد. نکته مهم دیگر، امکان هم‌زمان‌سازی صفات مطلوب زراعی مانند عملکرد بالا و زودرسی با تحمل نسبی به کنه تارتن دولکه‌ای است. نتایج این تحقیق نشان داد که برخی نمونه‌ها علاوه بر عملکرد بالاتر از میانگین، از شدت خسارت کمتری نیز برخوردار بودند که این موضوع از نظر اصلاحی بسیار حائز اهمیت است. ترکیب صفات عملکردی مطلوب با تحمل به آفات می‌تواند نقش مهمی در پایداری تولید و کاهش هزینه‌های کنترل شیمیایی داشته باشد. چنین رویکردی با اصول مدیریت تلفیقی آفات (IPM) هم‌خوانی داشته و به حفظ سلامت محیط زیست کمک می‌نماید (Dent, 2000). براساس نتایج به‌دست‌آمده از این پروژه و طی مراحل احیاء و ارزیابی بخشی از نمونه‌های موجود در کلکسیون لوبیای پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا خمین، در طی سه سال اجرای پروژه، در مجموع ۶۴ نمونه که دارای عملکرد بالاتر از میانگین و زودرسی مناسب بودند، انتخاب شدند تا وارد مراحل ارزیابی تکمیلی گردند. این امر نشان می‌دهد که مواد ژنتیکی ارزشمندی در این کلکسیون وجود دارد که می‌تواند در

از ترکیب مطلوب صفات عملکردی برخوردارند که این موضوع می‌تواند در انتخاب والدین مناسب برای برنامه‌های تلاقی و اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد. وجود چنین تنوعی در جمعیت‌های مورد بررسی بیانگر آن است که بانک‌های ژرم‌پلاس‌های داخلی، منبع ارزشمندی برای بهبود صفات زراعی لوبیا محسوب می‌شوند (Asadi et al., 2015). محققان در بررسی تنوع ژنتیکی ۳۵۰ نمونه لوبیا گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر صفات عملکرد دانه، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد گره در ساقه اصلی و ارتفاع بوته تنوع بالایی وجود داشت. این محققان با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار دوطرفه، ۶۹ ژنوتیپ برتر را شناسایی نمودند. نتایج تحقیق حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان داد که تنوع ژنتیکی موجود در کلکسیون لوبیای پردیس تحقیقات و آموزش لوبیا خمین، پتانسیل بالایی برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و سایر صفات زراعی داشت. این امر اهمیت حفظ، احیا و ارزیابی مستمر منابع ژنتیکی بومی را برجسته می‌سازد.

از سوی دیگر، با توجه به قرارگرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان و محدودیت شدید منابع آب، اصلاح ارقام لوبیا با دوره رشد کوتاه‌تر و عملکرد بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه لوبیا به‌عنوان یکی از محصولات با نیاز آبی نسبتاً بالا (حدود ۱۷ هزار مترمکعب در هکتار در شرایط آبیاری غرقابی) محسوب می‌شود، با دستیابی به لاین‌ها و ارقامی از لوبیا با دوره رشد کوتاه‌تر و عملکرد بالا می‌توان حداقل سه مرحله آبیاری را در لوبیا کاهش داد و در هر هکتار بین ۳-۵ هزار مترمکعب در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و باعث افزایش کارایی مصرف آب در این محصول شد. همچنین در مناطقی از کشور که سرما و بارندگی‌های زود هنگام پاییزه وجود دارد، امکان کاشت ارقام و لاین‌های زودرس وجود خواهد داشت.

گزارش‌ها نشان می‌دهد که با استفاده از لاین‌ها و ارقام زودرس می‌توان حداقل سه نوبت آبیاری را حذف و بین سه تا پنج هزار مترمکعب در هکتار در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. این موضوع نه‌تنها موجب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود، بلکه امکان کشت لوبیا را در مناطقی با محدودیت منابع آبی و یا خطر سرما و بارندگی‌های زود هنگام پاییزه فراهم می‌سازد. در کنار عوامل زراعی و محیطی، آفات نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش عملکرد لوبیا دارند. کنه تارتن دولکه‌ای یکی از مهم‌ترین آفات لوبیا در بسیاری از مناطق کشت این محصول است که با تغذیه از شیر سلولی برگ‌ها موجب زردی، لکه‌دار شدن، کاهش سطح فتوسنتز و در نهایت افت عملکرد می‌گردد (Van de Vrie et al., 1972; Sabelis, 1985). شدت خسارت این آفت تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله رقم، شرایط محیطی و مرحله رشدی گیاه قرار دارد. گزارش شده است که در

نتيجه گيري

نتايج اين پژوهش نشان داد که مجموعه ژرم پلاسِم لوبياي موجود در کلکسيون پرديس تحقيقات و آموزش لوبيا خمين از تنوع ژنتيکي و فنوتيکي قابل توجهي، به ويژه از نظر عملکرد دانه، برخوردار است و قابليت بالايي براي بهره برداري در برنامه هاي اصلاحي دارد. طبقه بندي ژنوتيپ ها بر اساس تجزيه عاملي و خوشه اي، امکان شناسايي گروه هاي متمايز و انتخاب ژنوتيپ هاي برتر را فراهم ساخت. همچنين، ارزيابي واکنش ژنوتيپ ها به کنه تارتن دولکه اي نشان داد که ژنوتيپ هاي لوبيا چيتي نسبت به ژنوتيپ هاي لوبيا قرمز و سفيد حساس تر هستند؛ موضوعي که ضرورت توجه به مقاومت به آفات را در کنار صفات زراعي در برنامه هاي به نژادي نشان مي دهد. در مجموع، انتخاب ۶۴ ژنوتيپ زودرس و پرمحصول، ظرفيت ارزشمندی را براي توسعه ارقام جديد با عملکرد مطلوب و سازگاري بيشتر فراهم مي کند و مي تواند در برنامه هاي اصلاحي و حفاظت از منابع ژنتيکي لوبيا مورد استفاده قرار گيرد.

برنامه هاي اصلاحي آينده مورد استفاده قرار گيرد. ادامه ارزيابي اين نمونه ها از نظر پايداري عملکرد، تحمل به تنش هاي زيستي و غيرزيستي و سازگاري با شرايط مختلف اقليمي مي تواند منجر به معرفي ارقام جديد و سازگار با شرايط کشور گردد. در مجموع، نتايج اين تحقيق و مطالعات پيشين نشان مي دهد که تنوع ژنتيکي موجود در لوبيا از نظر صفات عملکردي، زودرسي و واکنش به کنه تارتن دولکه اي، فرصت بسيار مناسبی براي انتخاب و معرفي ارقام متحمل و پرمحصول فراهم مي سازد. بهره گيري از اين تنوع در برنامه هاي اصلاحي مي تواند ضمن افزايش عملکرد و پايداري توليد، مصرف سموم شيميايي را کاهش داده و به مديريت پايدار منابع آب و خاک کمک نمايد. بنا بر اين، پيشنهاده مي شود که در برنامه هاي به نژادي آينده، توجه ويژه اي به ترکيب صفات عملکرد بالا، زودرسي و تحمل به کنه تارتن دولکه اي معطوف گردد تا بتوان به توسعه ارقام سازگار با شرايط اقليمي و نيازهاي کشاورزان دست يافت.

References

- Asadi, B., Vaezi, S., & Fathi Haftshejani, A. (2015). Genetic diversity and grouping of different pinto bean genotypes using multivariate statistical methods. *Journal of Breeding and Seedling*, 31(4), 641-652. (In Persian)
- Ashtari, S., Asadi, B., & Dorri, H. R. (2025). Resistance of promising genotypes of Chitti bean to two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch in greenhouse conditions. *Journal of Entomological Society of Iran*, 45(1), 63-74. (In Persian). <https://doi.org/10.61186/jesi.45.1.5>
- Ashtari, S., Asadi, B., & Dorri, H. R. (2023). Evaluation of the tolerance of promising genotype of bean (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)) in field conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 15(2), 301-315. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86974.1085>
- Ashtari, S., Yousefi, M., & Goodarzi, G. R. (2022). Investigation of distribution and the loss assessment of *Helicoverpa armigera* in bean fields of Markazi province. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 160-175. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2204-1032>
- Ashtari, S., Yousefi, M., & Dorri, H. R. (2020). Evaluation of the resistance of new bean genotypes to two-spotted mite in field and greenhouse conditions, *Applied Researches in Plant Protection*, 9(2), 15-30. (In Persian). https://arpp.tabrizu.ac.ir/article_11140_70f59f9c5a5e93abeaf6a5c24a0c018e.pdf?lang=en.
- Amini, E. (1998). Study of genetic and geographical diversity of 576 bean accessions from the gene bank of the Faculty of Agriculture using multivariate statistical methods. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
- Dargahi, H. R., Vaezi, S., Omid, M., & Jafar Aghaei, M. (2008). Study on morphological trait diversity and identification of relationships in the white bean collection of the National Plant Gene Bank of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 39(1), 155-162. (In Persian)
- Dent, D. (2000). Host Plant Resistance in Dent, D. editors. Insect Pest Management CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom. pp. 123-179. <https://doi.org/10.1079/9780851993409.0123>
- Deputy for Statistics, Statistical Center of Information Technology and Communications. (2025). Agricultural Statistical Yearbook. Volume I: Field Crops. 120 p.
- FAO. (2023). www.faostat.fao.org
- Garcia, H., Rogelio Aguirre, J. R., & Muruaga, Jose S. M. (1997). Morphological and agronomic traits of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*, 79, 207-213. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0329>
- Gomez, O. J., Blair, M. W., Frankow-Lindberg, B. E., & Gullberg, U. (2004). Molecular and phenotypic diversity of common bean landraces from Nicaragua. *Crop Science*, 44, 1412-1418. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1412>

- Hornakova, O., Zavodna, M., Zakova, M., Kraic, J., & Debre, F. (2003). Diversity of common bean landraces collected in the western and eastern Carpatien. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 39(3), 73-83. <https://doi.org/10.17221/3723-CJGPB>
- Luczynski, A., Isman, M. B., & Raworth, D. A. (1990). Strawberry cultivar resistance to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 87, 10-15.
- Majnun Hosseini, N. (2008). Cultivation and Production of Legumes. Jihad University Press, Tehran, Iran. 294 pp.
- Mirzaei Nedoushan, H. (1997). Study of genetic and geographical diversity in the collection of Iranian and foreign beans. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Parsa, M., & Bagheri, A. (2023). Legumes (2nd ed.). Jahad Daneshgahi of Mashhad, Mashhad, Iran. 608 p.
- Piergovani, A. R., Taranto, G., & Pignone, D. (2000). Diversity among common bean population from Abruzzo region (central Italy): A preliminary inquiry. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47, 467-470. <https://doi.org/10.1023/A:1008777119601>
- Raffi, S. A., & Nath, U. K. (2004). Variability, heritability, genetic advance and relationships of yield and yield contributing characters in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biological Science*, 4(2), 157-159. <https://doi.org/10.3923/jbs.2004.157.159>
- Sabelis, M. W. (1985). Reproductive strategies. In W. Helle & M. W. Sabelis (Eds.). Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier. Vol. 1A, pp. 265-278.
- Shahrayin, N., Qotbi, T., Azadbakht, N., Arbabi, M., Shafaqi, F., & Mousavi, S. K. (2018). Bean Plant Protection. *Iranian Research Institute of Plant Protection*, 2018, 136-143. (In Persian).
- Schoonhoven, A. V., & Voysest, O. (1991). Bean Cultivation and Breeding. A. Bagheri, A. A. Mahmoudi, & F. D. Ghazali, (Trans.). Jihad University Press, Mashhad, Iran. <https://books.google.com/books?id=gYWnQgAACAAJ>
- Tahmasebi, Z. (2013). Determination of susceptible and susceptible cultivars to bean spider mites using resistance index. 6th Conference on Agricultural Research Findings, University of Kurdistan, Sanandaj. 95 pp. (In Persian)
- Taghizadeh, R., & Fathi, Y. (2017). Population density and spatial distribution of immature stages of *Callosobruchus maculatus* (Col.: Bruchidae) on cowpea in Tehran region. *Plant Protection Research*, 6, 1-13. (In Persian)
- Van de Vrie, M., McMurtry, J. A., & Huffaker, C. B. (1972). Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: A review. III. Biology, ecology, and pest status, and host-plant relations of tetranychids. *Hilgardia*, 41(13), 343-432.
- Warabieda, W., & Olszak, R. W. (1994). The influence of some morphological and biochemical characters of strawberry leaves on the degree of infestation by the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 2(3), 101-108.
- Yazdi Samadi, B., & Abd Mishani, S. (2000). Crop Improvement. Tehran University Press, Tehran, Iran. 283 pp.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96983.1125>

Evaluation of the Agro-Economic Efficiency of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes as a Second Crop after Rice (*Oryza sativa* L.) in Guilan Region

Mohammad Rabiee^{1*}, Maryam Hosseini Chaleshtori¹, Sajjad Shaker Kouhi¹

Received: 14 December 2025
Revised: 10 January 2026
Accepted: 31 January 2026
Available Online: 31 January 2026

Cite this article:

Rabiee, M., Hosseini Chaleshtori, M., & Shaker Kouhi, S. (2026). Evaluation of the agro-economic efficiency of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes as a second crop after rice (*Oryza sativa* L.) in Guilan region. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 17-30. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96983.1125>

Introduction

Despite having a high potential for paddy fields in Northern provinces, unfortunately, most of these paddy fields are left unused for about 7 months after rice (*Oryza sativa* L.) harvesting. The presence of fertile soils, a long growing season, and favorable environmental conditions between rice harvest and planting the following year make these paddy fields well suited for cultivating a second crop. Faba bean (*Vicia faba* L.) is one of the most important legumes that is adapted to the climatic conditions in most Northern regions of Iran. Given the large areas of paddy fields in the North of Iran, utilizing these areas for faba bean cultivation after rice harvesting can be an effective strategy for increase land productivity, sustainable rice production, higher paddy farmers' income, achieving self-sufficiency and ensuring food security. Among legumes, faba bean has one of the highest rates of biological nitrogen fixation, improving soil fertility by leaving residual nitrogen benefitting subsequent crops. The use of suitable varieties can play an important role in development and sustainability of faba bean cultivation in paddy fields. Therefore, the main objective of the present study was to examine the yield and economic indices of different faba bean genotypes as a second crop in rotation after rice.

Materials and Methods

This study was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research fields of Rice Research Institute of Iran in Rasht during two cropping seasons of 2023-2024 and 2024-2025. The experimental treatments included four varieties (Feyz, Barkat, Shadan and Mahta) and two promising lines of faba bean (332 and WRB1-5). In this study, traits such as number of pods, number of seeds per pod, 100-seed weight, green pod yield, grain yield, biological yield, harvest index and protein yield were evaluated. Additionally, gross and net profit, percent of sale return, and benefit-cost ratio, were assessed to evaluate economic indices. The protein content of samples was determined by the Kjeldahl method. After measurement of the sample total nitrogen by applying factor 6.25, the seed protein content was measured. Data was analyzed using SAS 9.2 and mean comparisons were done by least significant difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance revealed that genotype had significant effect on all studied traits. Mean comparison showed that the second year of the experiment had higher green pod yield (24518 kg.ha⁻¹), grain yield (5060 kg.ha⁻¹) and protein yield (1535 kg.ha⁻¹) compared to the first year. Between faba bean genotypes, the highest green pod yield with an average of 28883 and 27217 kg.ha⁻¹ and the highest grain yield with an average of 6025 and 5653 kg.ha⁻¹, respectively, were obtained from Feyz and Barkat varieties. The Shadan variety was also in the next position. The lowest green pod yield (17181 kg.ha⁻¹) and grain yield (3662 kg.ha⁻¹) was obtained in Mahta variety. The highest biological yield (18368 kg.ha⁻¹) and harvest index (32.8%) was related to the Feyz variety. The Mahta variety also had the lowest biological yield (11996 kg.ha⁻¹) and harvest index (29.1%). Among the genotypes of faba bean, Mahta variety had higher protein content (32.1%). The highest and lowest protein yield was obtained in Feyz variety (1703 kg.ha⁻¹) and line WRB1-5 (1016 kg.ha⁻¹), respectively. Based on the results of stepwise regression analysis, biological yield, pods per plant, green pod yield and seeds per pod were entered into the regression model, respectively, and explained 95% of the variation in grain yield. The analysis of the economic indices showed that the Feyz variety ranked first in terms of gross and net

1- Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

* Corresponding Author: m.rabiee@areeo.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

profits with 3012500 and 2554650 thousand rials/ha, respectively. Barkat and Shadan varieties were also ranked next. Mahta variety had the lowest gross (1464800 thousand rials ha⁻¹) and net profits (1043450 thousand rials.ha⁻¹) among genotypes of faba bean. Feyz, Barkat and Shadan varieties with percent of sale return and benefit-cost ratio (84.8 and 6.6), (83.6 and 6.1) and (79.7 and 4.9) were ranked first to third, respectively. The lowest amount of percent of sale return and benefit-cost ratio (71.2 and 3.5, respectively) were assigned to Mahta variety.

Conclusions

Based on the results of this study, the Feyz, Barkat, and Shadan cultivars are recommended, in that order, for faba bean cultivation as a second crop in the paddy fields of Guilan province due to their superior yield performance and greater economic returns. These findings indicate that integrating faba bean into rice-based cropping systems has the potential to enhance farmers' income while promoting the sustainability of rice production.

Keywords: Grain yield, Legumes, Net profit, Paddy field, Protein yield



بررسی کارآیی زراعی-اقتصادی ژنوتیپ‌های باقلا (*Vicia faba* L.) به‌عنوان کشت دوم پس از برنج (*Oryza sativa* L.) در منطقه گیلان

محمد ربیعی^{۱*}، مریم حسینی چالشتی^۱، سجاد شاکرکوهی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

چکیده

با وجود پتانسیل بالای اراضی شالیزاری استان‌های شمالی کشور جهت کشت دوم در پاییز، متأسفانه بیشتر آن‌ها تنها یک بار در سال کشت می‌شوند. باقلا (*Vicia faba* L.) از جمله مناسب‌ترین حبوبات برای کشت دوم پس از برداشت برنج (*Oryza sativa* L.) در شالیزار محسوب می‌شود. در همین راستا، به‌منظور بررسی عملکرد و شاخص‌های اقتصادی ژنوتیپ‌های باقلا به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهرستان رشت به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل چهار رقم (فیض، برکت، شادان و مهتا) و دو لاین امیدبخش و پرمحصول باقلا (۳۳۲ و WRB1-5) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد غلاف سبز (۲۸۸۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۶۰۲۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۱۷۰۳ کیلوگرم در هکتار) به رقم فیض تعلق داشت. ارقام برکت و شادان نیز به‌ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند. براساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، عملکرد غلاف سبز و تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب وارد مدل شده و در مجموع ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. ارقام فیض، برکت و شادان به‌ترتیب از نظر سود خالص و نسبت سود به هزینه در رتبه اول تا سوم قرار داشتند. در مجموع، جهت حصول عملکرد بیشتر و مزیت اقتصادی بالاتر، ارقام فیض، برکت و شادان برای کشت دوم باقلا پس از برداشت برنج در منطقه گیلان قابل توصیه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، سود خالص، شالیزار، عملکرد پروتئین، عملکرد دانه

مقدمه

کشت و تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در اراضی شالیزاری شمال کشور به‌دلیل بالا بودن هزینه تولید، سنتی بودن عملیات کشت، کمبود آب، کوچک بودن اراضی و در نتیجه کاهش بهره‌وری، با چالش جدی مواجه می‌باشد. از این‌رو، ارائه راهکارهای مختلف برای افزایش بهره‌وری اراضی شالیزاری و افزایش درآمد شالیکاران، امری ضروری است. یکی از شیوه‌های مقابله با این روند، جایگزین کردن شیوه‌های چندکشتی در سال به‌جای تک‌کشتی برنج می‌باشد (Tabrizi et al., 2015). ۲۳۸ هزار هکتار اراضی شالیزاری در استان گیلان به‌عنوان یک ظرفیت بالقوه برای اجرای کشت دوم پس از برداشت برنج می‌باشد. با وجود پتانسیل بالای این اراضی، متأسفانه اغلب آن‌ها تنها یک بار در سال کشت می‌شوند. کشت دوم پس از برداشت برنج می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش بهره‌وری زمین، بهبود شرایط محیط و خاک، پایداری تولید برنج، ایجاد اشتغال و افزایش درآمد کشاورزان و جلوگیری از مهاجرت آن‌ها باشد (Rabiee & Modarresi, 2021).

از طرف دیگر، با توجه به اینکه در کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری شمال کشور، رطوبت مورد نیاز جهت رشد و نمو محصولات پاییزه، بدون مصرف آب و از طریق بارندگی تأمین می‌شود، لذا این امر علاوه‌بر کاهش فشار به منابع آبی و کاهش هزینه تولید، می‌تواند گامی مؤثر در جهت تأمین امنیت غذایی کشور باشد. باقلا (*Vicia faba* L.) گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده بقولات است که به‌سبب مقادیر زیاد پروتئین و کربوهیدرات‌ها، از ارزش غذایی بالایی برخوردار می‌باشد (Mayer Labba et al., 2021). گیاه باقلا با تأثیر بر فعالیت‌های زیستی خاک از جمله تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، می‌تواند نقش مؤثری در حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک ایفا نماید (Jithesh et al., 2024). این گیاه با قرار گرفتن در تناوب با غلات باعث شکستن چرخه بسیاری از بیماری‌ها و کاهش جمعیت نامتدها شده و در نتیجه موجب کاهش مصرف سموم شیمیایی می‌شود (Karkanis et al., 2018). باقلا به‌دلیل عملکرد قابل قبول،

کشت و تولید برنج (*Oryza sativa* L.) در اراضی شالیزاری شمال کشور به‌دلیل بالا بودن هزینه تولید، سنتی بودن عملیات کشت، کمبود آب، کوچک بودن اراضی و در نتیجه کاهش بهره‌وری، با چالش جدی مواجه می‌باشد. از این‌رو، ارائه راهکارهای مختلف برای افزایش بهره‌وری اراضی شالیزاری و افزایش درآمد شالیکاران، امری ضروری است. یکی از شیوه‌های مقابله با این روند، جایگزین کردن شیوه‌های چندکشتی در سال به‌جای تک‌کشتی برنج می‌باشد (Tabrizi et al., 2015). ۲۳۸ هزار هکتار اراضی شالیزاری در استان گیلان به‌عنوان یک ظرفیت بالقوه برای اجرای کشت دوم پس از برداشت برنج می‌باشد. با وجود پتانسیل بالای این اراضی، متأسفانه اغلب آن‌ها تنها یک بار در سال کشت می‌شوند. کشت دوم پس از برداشت برنج می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش بهره‌وری زمین، بهبود شرایط محیط و خاک، پایداری تولید برنج، ایجاد اشتغال و افزایش درآمد کشاورزان و جلوگیری از مهاجرت آن‌ها باشد (Rabiee & Modarresi, 2021).

۱- مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
(*)- نویسنده مسئول: m.rabiee@areeo.ac.ir

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت پس از برداشت برنج طراحی و اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل چهار رقم (فیض، برکت، شادان و مهتا) و دو لاین امیدبخش و پرمحصول باقلا (۳۳۲ و WRB1-5) ارسالی از مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان گلستان بودند. قبل از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از چندین نقطه مزرعه آزمایشی تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). الگوی تغییرات جوی محل اجرای آزمایش شامل میزان دما و مجموع بارندگی منطقه طی سال‌های زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۲ در شکل ۱ ارائه شده است.

پس از برداشت برنج، عملیات شخم حداقل با استفاده از روتیواتور طی دو مرحله در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت و جهت مبارزه با علف‌های هرز، از علف‌کش تری‌فلورالین (ترفالان) پنج روز پیش از کاشت و به‌میزان دو لیتر در هکتار استفاده شد. به‌منظور خروج آب اضافی در اثر بارندگی‌های سنگین احتمالی و ایجاد شرایط مناسب برای کاشت باقلا، زهکش‌هایی به عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متر و به عرض ۳۰-۲۵ سانتی‌متر دور تا دور زمین و همچنین مابین تکرارها احداث شد. تاریخ کاشت در هر دو سال آزمایش، هشت آبان ماه بود. هر کرت شامل هشت خط با فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر، روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و به طول هفت متر بود. فواصل بین کرت‌ها دو متر و بین تکرارها نیز سه متر در نظر گرفته شد. کاشت بذور به‌صورت دستی و در عمق ۵-۴ سانتی‌متری خاک صورت گرفت. مبارزه با آفت حلزون در ابتدای سبز شدن ژنوتیپ‌های باقلا و در مرحله سه تا چهار برگی با استفاده از سم متالدهاید (سه کیلوگرم در هکتار) انجام شد. عملیات برداشت جهت محاسبه عملکرد غلاف سبز، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، به‌صورت دستی از چهار مترمربع و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک صورت گرفت. عملکرد غلاف سبز برحسب ۴۰ درصد رطوبت دانه به دست آمد. برای محاسبه عملکرد دانه، مقدار دو کیلوگرم بذر تر پس از جدا کردن از غلاف به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و عملکرد دانه خشک برحسب رطوبت ۱۲ درصد تعیین گردید. میزان پروتئین دانه از طریق اندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه به‌روش کج‌لدال و ضرب کردن آن در عدد ثابت ۶/۲۵ به دست آمد (Tabatabaei & Ranjbar, 2012). عملکرد پروتئین نیز از حاصل ضرب درصد پروتئین دانه در عملکرد دانه محاسبه گردید (Ul-Allah et al., 2014).

بازده اقتصادی مطلوب، آشنابودن کشاورزان به فرهنگ کشت‌وکار آن و جایگاه ویژه‌ای که در رژیم غذایی ساکنان استان‌های شمالی کشور دارد، از جمله مناسب‌ترین حبوبات برای کشت دوم بعد از برداشت برنج محسوب می‌شود. سرمدوست بودن و در نتیجه امکان کشت به‌صورت پاییزه، برداشت زودهنگام در بهار و عدم هم‌زمانی با نشای برنج، از جمله مزایای دیگر باقلا به‌عنوان یک محصول اقتصادی مناسب برای کشت دوم پس از برداشت برنج در شالیزار به‌شمار می‌رود (Rabiee & Jilani, 2015).

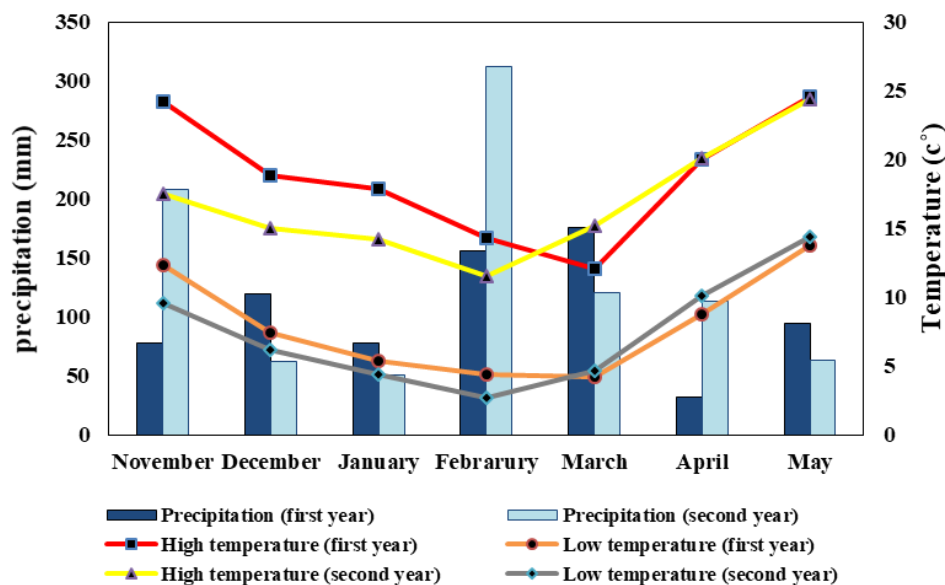
انتخاب صحیح واریته زراعی برای یک مکان خاص، از عوامل مهم مدیریت زراعی بوده و می‌تواند نقش زیادی در سوددهی یک پروژه تولید کشاورزی داشته باشد. هر محصولی، حداکثر رشد و عملکرد خود را در مجموعه خاصی از شرایط محیطی دارد. ارقام مختلف یک محصول نیز تفاوت‌های زیادی از نظر سازگاری با محیط‌های مختلف نشان می‌دهند (Sekhavat et al., 2025). در همین راستا، جهت دستیابی به حداکثر عملکرد باقلا، کشت ارقام پُرپتانسیل و سازگار با شرایط اقلیمی کشور ضرورت دارد. نتایج بررسی ربیعی و شاکر کوهی (Rabiee & Shaker Kouhi, 2024) نشان داد که کشت باقلا رقم برکت به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در رشت با موفقیت امکان‌پذیر است. شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2014) در بررسی اثرات ژنوتیپ و محیط بر عملکرد برخی از ژنوتیپ‌های باقلا در گیلان گزارش کردند که باقلا توده بومی گیلان و رقم برکت از بیشترین عملکرد دانه برخوردار بودند. سرپرست (Sarparast, 2017) در بررسی امکان کشت دوم پس از برداشت برنج ارقام جدید باقلا در استان مازندران گزارش کرد که رقم لوزدی اتونو بیشترین عملکرد دانه، عملکرد غلاف سبز و مقاومت به بیماری لکه‌شکلانی (*Botrytis faba*) را نسبت به دو رقم هیستال و برکت داشت.

با توجه به افزایش قیمت پروتئین حیوانی و در نتیجه کاهش مصرف آن در سبد غذایی خانواده‌های ایرانی، پیش‌بینی می‌شود که مصرف حبوبات به‌عنوان یک جایگزین مناسب در سال‌های آینده افزایش یابد و این موضوع می‌تواند بر اهمیت کشت حبوبات در کشور به‌ویژه به‌صورت کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری تأثیرگذار باشد. بررسی و انتخاب ارقام مناسب باقلا که سازگاری مناسبی با شرایط اقلیمی استان گیلان داشته باشند، می‌تواند نقش مهمی در توسعه کشت این محصول در شالیزار ایفا نماید. از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی عملکرد و شاخص‌های اقتصادی ژنوتیپ‌های باقلا جهت دستیابی به مناسب‌ترین رقم برای کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان طراحی و اجرا شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن (درصد) N (%)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	اسیدیته pH	بافت Texture
0.76	175	19.1	0.128	1.24	7.1	رسی-سیلتی Clay-silty



شکل ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۴۰۲-۱۴۰۴)

Figure 1- Meteorological information of the experiment site (2023-2025)

مختلف، تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. همچنین به‌منظور محاسبه ضرایب همبستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال در سطح احتمال پنج درصد و اثر ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، سال دوم آزمایش با میانگین ۱۹/۳ نسبت به سال اول با میانگین ۱۷/۲، از تعداد غلاف بیشتری برخوردار بود. از جمله دلایل کم‌تر بودن تعداد غلاف در سال اول می‌توان به برخورداری ژنوتیپ‌های باقلا از درجه حرارت بالاتر و در نتیجه کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد و تسریع فرآیندهای فنولوژیکی اشاره کرد. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، ارقام برکت و فیض به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۴/۳ و ۲۲/۱ بیشترین تعداد غلاف در بوته را

بررسی و تحلیل اقتصادی تولید ژنوتیپ‌های باقلا در شرایط شالیزاری با استفاده از شاخص‌های سود ناخالص، سود خالص، درصد بازده فروش محصول و نسبت سود به هزینه و از طریق معادله‌های ۱ تا ۴ انجام شد (Asadi et al., 2024).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{TR} = Y \times P$$

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{NR} = \text{TR} - \text{TC}$$

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{SRP} = \frac{\text{NR}}{\text{TR}} \times 100$$

$$\text{معادله (۴)} \quad \frac{B}{C}R = \frac{\text{TR}}{\text{TC}} \times 100$$

که در آن‌ها، TR: سود ناخالص، Y: عملکرد محصول، P: قیمت فروش محصول، NR: سود خالص، TC: هزینه کل، SRP: درصد بازده فروش محصول و $\frac{B}{C}R$: نسبت سود به هزینه می‌باشد. قیمت فروش هر کیلو محصول باقلا برای ارقام فیض و برکت ۵۰۰ هزار ریال، لاین ۳۳۲ و رقم شادان ۴۵۰ هزار ریال و برای لاین WRB1- 5 و رقم مهتا ۴۰۰ هزار ریال در نظر گرفته شد (Sheikh et al., 2025).

پس از انجام آزمون یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی (آزمون بارتلت) و اطمینان از یکنواخت بودن خطاهای آزمایشی در سال‌های

و تا حد زیادی مستقل از عوامل محیطی می‌باشد (Abdalla et al., 2015). نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که بین ژنوتیپ‌های باقلا از نظر تعداد دانه در غلاف اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم فیض با میانگین ۶/۸ دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف بود. رقم برکت نیز با میانگین ۵/۸ در جایگاه بعدی قرار داشت. همچنین کمترین تعداد دانه در غلاف با میانگین ۳/۱ به رقم مهتا اختصاص داشت (شکل ۲). بیشتر بودن تعداد دانه در غلاف در ارقام فیض و برکت را می‌توان به بیشتر بودن طول غلاف این ارقام نسبت داد. با افزایش طول غلاف، فضای کافی برای تشکیل دانه ایجاد شده و در نتیجه تعداد دانه در غلاف افزایش می‌یابد. نتایج بررسی نمو فنولوژیک و عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف باقلا در گرگان نشان داد که در ژنوتیپ‌های دارای غلاف طویل‌تر، تعداد دانه بیشتری تشکیل شد، به‌طوری که رقم هیستال بیشترین طول غلاف (۲۱/۴۳ سانتی‌متر) و تعداد دانه در غلاف (۴/۶۶) را دارا بود (Sheikh & Jafar Node, 2020).

دارا بودند و به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار داشتند. لاین WRB1-5 نیز با میانگین ۱۳/۳، کمترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۳). ظرفیت حبوبات در تشکیل جوانه‌های گل و غلاف بسیار بالا است، اما دستیابی به این ظرفیت به ژنتیک گیاه و به‌ویژه شرایط محیطی بستگی دارد (Ozlam & Hakan, 2007). سرپرست و همکاران (Sarparast et al., 2011) با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و سال بر عملکرد دانه برخی لاین‌های باقلا گزارش کردند که در بین ارقام باقلا از نظر تعداد غلاف در بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری که بیشترین تعداد غلاف در بوته به ژنوتیپ Giza717 مربوط بود. نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های محققان دیگر مبنی بر وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام باقلا از نظر تعداد غلاف در بوته مطابقت دارد (Ozlam & Hakan, 2007; Chaieb et al., 2011).

تعداد دانه در غلاف

زیادبودن تعداد دانه در غلاف یکی از معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا است. تعداد دانه در غلاف، صفتی وابسته به ژنوتیپ بوده

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مختلف ژنوتیپ‌های باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴

Table 2- Combined variance analysis for different traits of faba bean genotypes in the 2023-2025

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	میزان پروتئین Protein content	عملکرد پروتئین Protein yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	38.02*	0.69 ^{ns}	12.01 ^{ns}	27413950**	2037756**	7576256**	0.46 ^{ns}	294487**	15.58**
تکرار سال Y × R	2	5.86	0.44	56.09	526302	157075	517131	0.47	14774	2.45
ژنوتیپ Genotype (G)	5	103.29**	15.25**	1533.75**	103255859**	4812155**	31395085**	12.11**	478913**	11.37**
سال × ژنوتیپ Y × G	5	1.42 ^{ns}	0.09 ^{ns}	3.91 ^{ns}	988109 ^{ns}	103268 ^{ns}	512901 ^{ns}	0.12 ^{ns}	8038 ^{ns}	3.47 ^{ns}
خطا Error	20	7.84	0.28	24.42	3603925	282444	1825213	0.27	25507	2.65
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.5	2.1	7.3	12.8	14.5	12.2	0.9	11.2	1.8

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

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مختلف ژنوتیپ‌های باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴

Table 3- Mean comparison for different traits of faba bean genotypes in the 2023-2025

شاخص برداشت (درصد)	عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)	میزان پروتئین (درصد)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد غلاف سبز (کیلوگرم در هکتار)	تعداد غلاف در بوته	تیمار
Harvest index (%)	Protein yield (kg.ha ⁻¹)	Protein content (%)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Grain yield (kg.ha ⁻¹)	Green pod yield (kg.ha ⁻¹)	Pods per plant	Treatments
سال	Year						
سال اول	First year	30.1 ^a	14931 ^b	4584 ^b	22772 ^b	17.2 ^{b*}	
سال دوم	Second year	30.3 ^a	15848 ^a	5060 ^a	24518 ^a	19.3 ^a	
ژنوتیپ	Genotype						
برکت	Barkat	29.9 ^{cd}	17330 ^{ab}	5653 ^{ab}	27217 ^a	24.3 ^a	
فیض	Feyz	30.5 ^{bc}	18368 ^a	6025 ^a	28883 ^a	22.1 ^{ab}	
شادان	Shadan	31.1 ^b	15687 ^{bc}	4841 ^{bc}	23723 ^b	17.8 ^{bc}	
مهتا	Mahta	32.1 ^a	11996 ^d	3662 ^d	17181 ^c	16.1 ^c	
لاین ۳۳۲	Line 332	29.6 ^d	14840 ^c	4631 ^c	23179 ^b	16.0 ^c	
لاین WRB1-5	Line WRB1-5	27.9 ^e	14114 ^{cd}	4122 ^{cd}	21687 ^b	13.3 ^c	

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

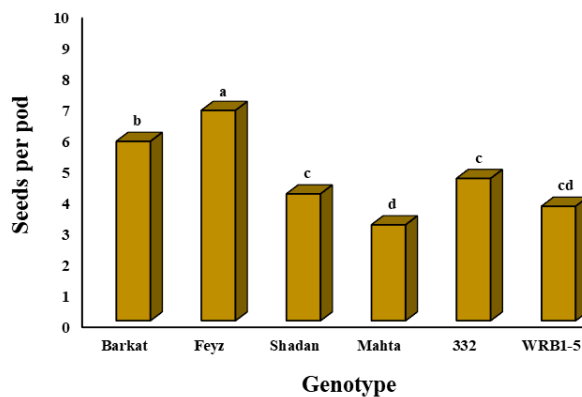
* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test.

وزن ۱۰۰ دانه

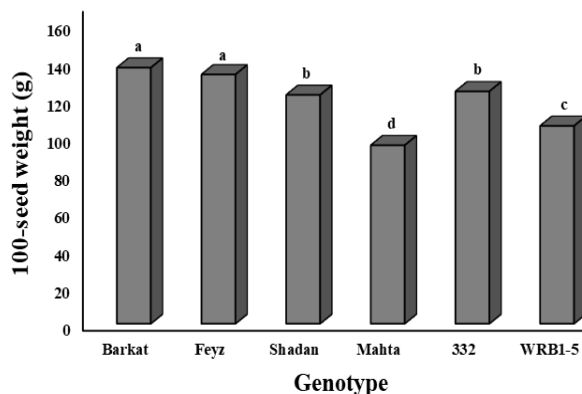
نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ژنوتیپ بر وزن ۱۰۰ دانه بود، اما اثر سال و اثر متقابل سال و ژنوتیپ بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های باقلا، رقم برکت و فیض به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۳۶/۴ و ۱۳۲/۸ گرم دارای بیشترین وزن ۱۰۰ دانه بودند و در یک گروه آماری قرار داشتند. رقم مهتا نیز با میانگین ۹۵/۱ گرم، کمترین وزن ۱۰۰ دانه را به خود اختصاص داد (شکل ۳). وزن ۱۰۰ دانه از با ثبات‌ترین صفات گیاه باقلا محسوب می‌شود. به‌طور عمده وزن ۱۰۰ دانه متأثر از اندازه و قدرت مخزن می‌باشد، اما ژنوتیپ و شرایط آب‌وهوایی طی دوره رشد و نمو گیاه نیز بر آن مؤثر است (Hasanvand et al., 2015). تفاوت در وزن ۱۰۰ دانه ژنوتیپ‌ها، می‌تواند به وضعیت متفاوت آن‌ها از نظر زمان گل‌دهی، تحت تأثیر قرار گرفتن از شرایط محیطی، کارایی متفاوت از نظر میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه و اندازه دانه که منشأ ژنتیکی دارد، مرتبط باشد (Sarparast et al., 2011). همسویا این نتایج، محققان دیگر نیز تفاوت معنی‌داری از نظر وزن ۱۰۰ دانه برای ژنوتیپ‌های مختلف باقلا گزارش کردند (Sarparast et al., 2011; Sheikh & Jafar Node, 2020).

عملکرد غلاف سبز

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب بیانگر اثر معنی‌دار سال و ژنوتیپ بر عملکرد غلاف سبز بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین، عملکرد غلاف سبز در سال دوم آزمایش با میانگین ۲۴۵۱۸ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال اول با میانگین ۲۲۷۷۲ کیلوگرم در هکتار، دارای برتری معنی‌داری بود که دلیل اصلی آن را می‌توان مرتبط با بیشتر بودن تعداد غلاف در این سال دانست. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، ارقام فیض و برکت به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۸۸۸۳ و ۲۷۲۱۷ کیلوگرم در هکتار به‌طور مشترک در جایگاه نخست قرار داشتند. رقم مهتا نیز با میانگین ۱۷۱۸۱ کیلوگرم در هکتار، کمترین میزان عملکرد غلاف سبز را به خود اختصاص داد (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد غلاف سبز در ارقام فیض و برکت را می‌توان به بیشتر بودن تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه نسبت داد. فنائی و همکاران (Fanaei et al., 2019) در بررسی خصوصیات زراعی، عملکرد و اجرای عملکرد ارقام باقلا در منطقه سیستان گزارش کردند که بین ارقام از نظر عملکرد غلاف سبز اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد غلاف سبز با عملکرد دانه، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف ژنوتیپ‌های مختلف باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Figure 2- Mean comparison for seeds per pod of different faba bean genotypes in the 2023-2025



شکل ۳- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه ژنوتیپ‌های مختلف باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Figure 3- Mean comparison for 100-seed weight of different faba bean genotypes in the 2023-2025

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال و ژنوتیپ بر عملکرد دانه باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، سال دوم آزمایش با میانگین ۵۰۶۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال اول با میانگین ۴۵۸۴ کیلوگرم در هکتار، از نظر عملکرد دانه برتری داشت (جدول ۳). از جمله دلایل بیشتر بودن عملکرد دانه در سال دوم را می‌توان به بیشتر بودن تعداد غلاف در بوته و عملکرد غلاف سبز نسبت داد. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، ارقام فیض و برکت به ترتیب با میانگین‌های ۶۰۲۵ و ۵۶۵۳ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین عملکرد دانه بودند و به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار گرفتند. رقم شادان نیز با میانگین ۴۸۴۱ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار داشت. همچنین کمترین عملکرد دانه با میانگین ۳۶۶۲ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم مهتا بود، هرچند با لاین WRB1-5 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). بیشتر بودن عملکرد در ارقام فیض و برکت را می‌توان به بیشتر بودن

اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه نسبت داد. وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالا بین آن‌ها از نظر عملکرد دانه می‌باشد. شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2014) تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه برای ژنوتیپ‌های مختلف باقلا گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط گیلان، توده بومی گیلان و رقم برکت نسبت به سه ژنوتیپ دانه ریز بروجرد از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بودند. همسو با نتایج این آزمایش، محققان دیگر نیز گزارش کردند که بین ژنوتیپ‌های باقلا از نظر عملکرد دانه و اجزای عملکرد، تنوع بالایی وجود دارد (Kubure et al., 2016; Fanaei et al., 2019).

عملکرد بیولوژیک

نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب بیانگر اثر معنی‌دار سال و ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد بیولوژیک در سال دوم آزمایش با میانگین ۱۵۸۴۸

۱۷۰۳ و ۱۶۹۱ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین عملکرد پروتئین بودند و به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار داشتند که دلیل این امر را می‌توان به بیشتر بودن عملکرد دانه این ارقام نسبت داد. رقم شادان نیز با میانگین ۱۳۷۲ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار داشت. همچنین کمترین عملکرد پروتئین با میانگین ۱۰۱۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به لاین WRB1-5 بود، هرچند با رقم مهتا و لاین ۳۳۲ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). از دلایل کمتر بودن عملکرد پروتئین در لاین WRB1-5 می‌توان به کمتر بودن درصد پروتئین و عملکرد دانه اشاره نمود.

شاخص برداشت

شاخص برداشت، نسبت عملکرد دانه به کل ماده خشک تولیدشده توسط گیاه است و بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد کل می‌باشد (Shabani & Sepaskhah, 2019). براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر سال و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که شاخص برداشت در سال دوم آزمایش با میانگین ۳۱/۸ درصد نسبت به سال اول با میانگین ۳۰/۴ درصد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳). از جمله دلایل این امر می‌توان به بیشتر بودن عملکرد دانه در سال دوم اشاره کرد. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، رقم فیض با میانگین ۳۲/۸ درصد، بیشترین شاخص برداشت را به خود اختصاص داد. رقم برکت نیز با میانگین ۳۲/۶ درصد، در رتبه بعدی قرار داشت. همچنین کمترین شاخص برداشت با میانگین ۲۹/۱ درصد مربوط به لاین WRB1-5 بود (جدول ۳). اختلاف معنی‌دار بین ارقام باقلا از نظر شاخص برداشت توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Abdalla et al., 2015; Alipour Ghasem, 2018; Abad Sofla et al., 2018).

تجزیه همبستگی و رگرسیون

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های باقلا در جدول ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، عملکرد بیولوژیک با تعداد غلاف در بوته ($r = 0.78^{**}$)، تعداد دانه در غلاف ($r = 0.65^{**}$)، وزن ۱۰۰ دانه ($r = 0.54^{**}$) و عملکرد غلاف سبز ($r = 0.93^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت را به ترتیب با عملکرد غلاف سبز ($r = 0.92^{**}$)، تعداد دانه در غلاف ($r = 0.87^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($r = 0.86^{**}$) داشت. همسو با این نتایج، شیخ و جعفرنوده (Sheikh & Jafar, 2020) همبستگی مثبت و معنی‌داری برای صفت عملکرد دانه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه در

کیلوگرم در هکتار نسبت به سال اول با میانگین ۱۴۹۳۱ کیلوگرم در هکتار دارای برتری معنی‌داری بود، که از دلایل این امر می‌توان به بیشتر بودن تعداد غلاف در بوته و عملکرد غلاف سبز در این سال اشاره کرد. هم‌راستا با عملکرد دانه، ارقام فیض و برکت به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۸۳۶۸ و ۱۷۳۳۰ کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک بودند و به‌طور مشترک در یک گروه آماری قرار داشتند. کمترین عملکرد بیولوژیک نیز با میانگین ۱۱۹۹۶ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم مهتا بود، هرچند با لاین WRB1-5 با میانگین ۱۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). عملکرد بیولوژیک نتیجه کارآیی گیاه از نظر استفاده از پتانسیل تولید و شرایط محیطی می‌باشد. هر رقم با توجه به میزان سازگاری با شرایط محیطی، توان تولیدی خاصی دارد (Hasanvand et al., 2015). بنابراین، ارقام فیض و برکت توانستند که خود را با شرایط محیطی موجود بهتر وفق داده و عملکرد بیولوژیک بیشتری تولید کنند.

میزان و عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ژنوتیپ بر میزان پروتئین دانه بود، اما اثر سال و اثر متقابل سال در ژنوتیپ بر این صفت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین ژنوتیپ‌های باقلا، بیشترین میزان پروتئین دانه با میانگین ۳۲/۱ درصد مربوط به رقم مهتا بود. ارقام شادان و فیض نیز به‌ترتیب با میانگین‌های ۳۱/۱ درصد و ۳۰/۵ درصد به‌طور مشترک در رتبه بعدی قرار داشتند. همچنین کمترین میزان پروتئین دانه با میانگین ۲۷/۹ درصد به لاین WRB1-5 اختصاص داشت (جدول ۳). همسو با این نتایج، شیخ و چکانی (Sheikh & Chekani, 2021) تفاوت معنی‌داری از نظر میزان پروتئین دانه برای ارقام مختلف باقلا (برکت، فیض، شادان و مهتا) گزارش کردند. به‌طوری که رقم مهتا با میانگین ۳۲ درصد، دارای بیشترین میزان پروتئین دانه بود و پس از آن به‌ترتیب ارقام شادان، فیض و برکت قرار داشتند.

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال و ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، سال دوم آزمایش با میانگین ۱۵۳۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال اول با میانگین ۱۳۵۴ کیلوگرم در هکتار، از نظر عملکرد پروتئین برتری داشت (جدول ۳). با توجه به اینکه عملکرد دانه و عملکرد پروتئین دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با یکدیگر هستند، لذا برتری عملکرد پروتئین در سال دوم به دلیل عملکرد دانه بیشتر، منطقی و توجیه‌پذیر به نظر می‌رسد. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، ارقام فیض و برکت به‌ترتیب با میانگین‌های

دانه به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که صفات عملکرد بیولوژیک، تعداد غلاف در بوته، عملکرد غلاف سبز و تعداد دانه در غلاف به‌ترتیب وارد مدل رگرسیونی شده و در مجموع ۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. بر این اساس، عملکرد بیولوژیک به‌تنهایی ۷۵ درصد، تعداد غلاف در بوته ۱۱ درصد، عملکرد غلاف سبز هشت درصد و تعداد دانه در غلاف یک درصد از تغییرات عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

ژنوتیپ‌های مختلف باقلا گزارش کردند. نتایج همچنین بیانگر رابطه مثبت و قوی بین شاخص برداشت با تمامی صفات به‌جز میزان پروتئین بود. عملکرد پروتئین نیز با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد و با وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال پنج درصد همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۴).

برای تبیین سهم اثر تجمعی صفات در تعیین عملکرد دانه، از روش رگرسیون گام‌به‌گام استفاده گردید. در این روش، صفت عملکرد

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده پیرسون بین صفات مختلف ژنوتیپ‌های باقلا

Table 4- Pearsons simple correlation coefficients between different traits of faba bean genotypes

صفات Traits	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	میزان پروتئین Protein content	عملکرد پروتئین Protein yield	شاخص برداشت Harvest index
تعداد غلاف در بوته Pods per plant	1								
تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	0.45*	1							
وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	0.58**	0.45*	1						
عملکرد غلاف سبز Green pod yield	0.77**	0.93**	0.63**	1					
عملکرد دانه Grain yield	0.80**	0.87**	0.81**	0.92**	1				
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.78**	0.65**	0.54**	0.93**	0.86**	1			
میزان پروتئین Protein content	0.26 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	1		
عملکرد پروتئین Protein yield	0.62**	0.70**	0.46*	0.84**	0.94**	0.70**	0.19 ^{ns}	1	
شاخص برداشت Harvest index	0.58**	0.49*	0.52**	0.54**	0.74**	0.45*	0.21 ^{ns}	0.54**	1

^{ns}: غیرمعنی‌دار و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام بین عملکرد دانه و سایر صفات در ژنوتیپ‌های باقلا

Table 5- Stepwise regression analysis for grain yield and other characteristics in faba bean genotypes

مرحله Step	صفات Traits	خطای استاندارد Standard error	ضرایب رگرسیون Regression coefficients	F	ضریب تبیین R ²
1	عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.02	0.96	441.98**	0.75
2	تعداد غلاف در بوته Pods per plant	1.83	0.40	103.20**	0.86
3	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	0.69	0.72	173.95**	0.94
4	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	4.44	0.61	89.52**	0.95

***: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

***: significant at 1% probability level

شاخص‌های اقتصادی

هزینه‌های تولید ژنوتیپ‌های باقلا به‌عنوان کشت دوم پس از برداشت برنج در شالیزار در **جدول ۶** نشان داده شده است. مقادیر هزینه‌ها از شرکت خدمات حمایتی کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان اخذ گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده، هزینه‌های اجاره زمین، نهاده‌های تولید و کاشت به‌ترتیب بیشترین سهم از هزینه کل تولید را به خود اختصاص دادند. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، بیشترین هزینه تولید به‌ترتیب با میانگین ۴۶۲۸۵۰ و ۴۵۷۸۵۰ هزار ریال در هکتار مربوط به ارقام برکت و فیض بود. کمترین هزینه تولید (۴۲۱۳۵۰ هزار ریال در هکتار) نیز به‌طور مشترک به رقم مهتا و لاین WRB1-5 اختصاص داشت.

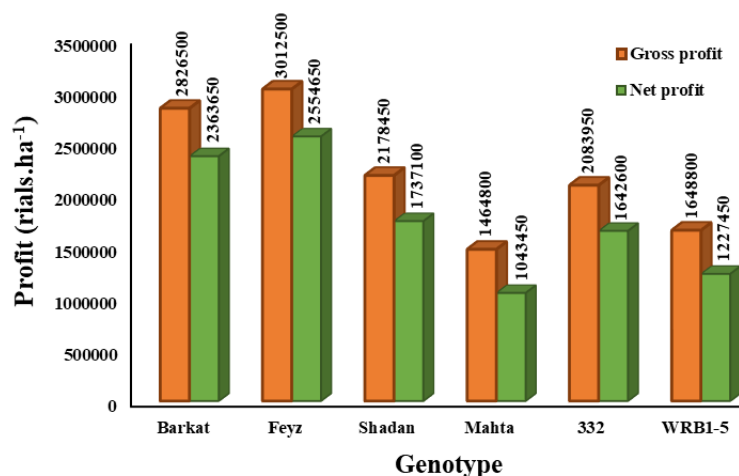
براساس نتایج اقتصادی، دامنه تغییرات سود ناخالص از ۳۰۱۲۵۰۰ هزار ریال در هکتار برای رقم فیض تا ۱۴۶۴۸۰۰ هزار ریال در هکتار برای رقم مهتا بود. ارقام فیض، برکت و شادان از نظر سود خالص به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۵۵۴۶۵۰، ۲۳۶۳۶۵۰ و ۱۷۳۷۱۰۰ هزار ریال در هکتار در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند. کمترین سود خالص (۱۰۴۳۴۵۰ هزار ریال در هکتار) نیز به رقم مهتا

اختصاص داشت که نسب به میانگین سود خالص رقم فیض ۵۹/۲ درصد کمتر بود (**شکل ۴**). کسب سود بیشتر ارقام فیض و برکت در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها را می‌توان به بیشتر بودن عملکرد دانه و قیمت فروش بالاتر محصول به‌دلیل کیفیت و بازارپسندی بیشتر نسبت داد. بیشترین درصد بازده فروش محصول و نسبت سود به هزینه به‌ترتیب با میانگین‌های ۸۴/۸ و ۶/۶ مربوط به رقم فیض بود. رقم برکت نیز با میانگین‌های ۸۳/۶ و ۶/۱ در رتبه بعدی قرار داشت. همچنین کمترین درصد بازده فروش محصول و نسبت سود به هزینه به‌ترتیب با میانگین‌های ۷۱/۲ و ۳/۵ به رقم مهتا اختصاص داشت (**شکل ۵ و ۶**). بازده فروش محاسبه‌شده برای تولید رقم فیض نشان داد که به‌ازای یک ریال فروش این محصول، ۸۴/۸ درصد سود به دست آمده است. نسبت سود به هزینه برای این رقم نیز نشان داد که به‌ازای یک ریال سرمایه‌گذاری در تولید، ۶/۶ ریال منفعت به دست آمده است. نتایج شیخ و همکاران (Sheikh et al., 2025) نشان داد که در استان گیلان، تولید باقلا رقم شادان نسبت به رقم مهتا به‌صرفه‌تر می‌باشد، به‌طوری که میانگین سود خالص در رقم شادان ۵۶/۷ درصد نسبت به رقم مهتا بیشتر بود.

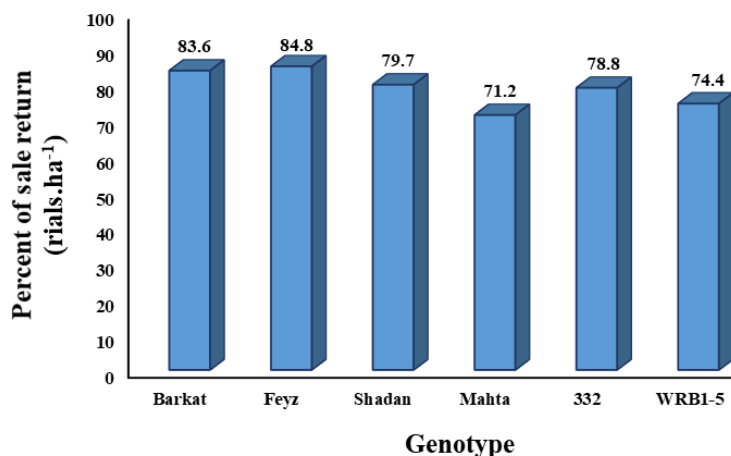
جدول ۶- هزینه‌های تولید ژنوتیپ‌های مختلف باقلا (هزار ریال در هکتار)

Table 6- Production costs of different faba bean genotypes (thousand rials.ha⁻¹)

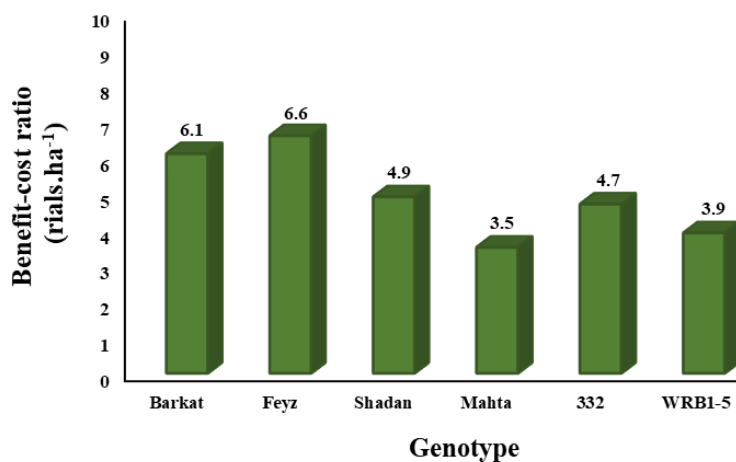
هزینه‌های تولید	برکت	فیض	شادان	مهتا	لاین ۳۳۲	لاین WRB1-5
Production costs	Barkat	Feyz	Shadan	Mahta	Line 332	Line WRB1-5
اجاره زمین	125000	125000	125000	125000	125000	125000
Land rent						
آماده‌سازی زمین	60000	60000	60000	60000	60000	60000
Land preparation						
نهاده‌ها	106500	101500	87500	70500	87500	70500
Inputs						
کاشت	65500	65500	63000	60000	63000	60000
Planting						
داشت	52850	52850	52850	52850	52850	52850
Growing						
برداشت	53000	53000	53000	53000	53000	53000
Harvesting						
هزینه کل	462850	457850	441350	421350	441350	421350
Total costs						



شکل ۴- مقادیر سود خالص و ناخالص تولید ژنوتیپ‌های باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Figure 4- Values of net and gross profits of faba bean genotypes production in the 2023-2025



شکل ۵- بازده فروش محصول تولید ژنوتیپ‌های باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Figure 5- The percent of sale return of faba bean genotypes production in the 2023-2025



شکل ۶- نسبت سود به هزینه تولید ژنوتیپ‌های باقلا طی سال‌های ۱۴۰۲-۱۴۰۴
Figure 6- The benefit-cost ratio of faba bean genotypes production in the 2023-2025

نتیجه‌گیری

بود. همچنین بیشترین عملکرد پروتئین (۱۷۰۳ کیلوگرم در هکتار) به رقم فیض اختصاص داشت که نسبت به عملکرد پروتئین لاین WRB1-5، برتری ۴۰/۳ درصدی داشت. از نظر شاخص‌های اقتصادی، رقم فیض با سود خالص ۲۵۵۴۶۵۰ هزار ریال در هکتار و نسبت سود به هزینه ۶/۶ در جایگاه نخست قرار داشت. ارقام برکت و شادان نیز به‌ترتیب رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند. به‌طور کلی، برای دستیابی به عملکرد بالا و همچنین سودآوری اقتصادی مطلوب، به‌ترتیب اولویت کشت ارقام فیض، برکت و شادان به‌عنوان ارقام مناسب باقلا برای کشت دوم پس از برداشت برنج در اراضی شالیزاری استان گیلان قابل توصیه می‌باشند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که سال دوم آزمایش نسبت به سال اول از عملکرد غلاف سبز (۲۴۵۱۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۵۰۶۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۱۵۳۵ کیلوگرم در هکتار) بیشتری برخوردار بود. در بین ژنوتیپ‌های باقلا، ارقام فیض، برکت و شادان از نظر عملکرد غلاف سبز و عملکرد دانه به‌ترتیب با میانگین‌های ۲۸۸۸۳، ۲۷۲۱۷ و ۲۳۷۲۳ کیلوگرم در هکتار و ۶۰۲۵، ۵۶۵۳ و ۴۸۴۱ کیلوگرم در هکتار، در رتبه‌های اول تا سوم قرار داشتند. عملکرد دانه در رقم مهتا ۳۹/۲ درصد کمتر از عملکرد دانه رقم فیض

References

- Abdalla, A. A., Ahmed, M. F., Taha, M. B., & El Naim, A. M. (2015). Effects of different environments on yield components of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agriculture and Forestry*, 5(1), 1-9.
- Alipour Ghasem Abad Sofla, A., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghaddam, A., Biabani, A., & 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. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.57934>
- Asadi, H., Gholzardi, F., & Zamaniyan, M. (2024). Economic evaluation of the intercropping of forage sorghum and berseem clover in Alborz province. *Plant Production and Genetics*, 5(1), 91-100. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/plant.2023.62943>
- Chaieb, N., Bouslama, M., & Mars, M. (2011). Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Journal of Natural Product and Plant Resources*, 1(2), 81-90.
- Fanaei, H. R., Akbari Moghaddam, A. R., Raoufi, A., & Khajehdad Keshtehgar, M. (2019). Evaluation of agronomic characteristics, seed yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in Sistan region in Iran. *Seed and Plant Journal*, 34(4), 423-446. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/spij.2019.119545>
- Hasanvand, H., Ataolah Siadat, S., Moraditelavat, M. R., Mussavi, S. H., & Karaminejad, A. (2015). Yield and some morphological characteristics of two faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars to different sowing dates in Ahwaz region. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(2), 79-89. (In Persian).
- Jithesh, T., James, E. K., Iannetta, P. P. M., Howard, B., Dickin, E., & Monaghan, J. M. (2024). Recent progress and potential future directions to enhance biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Plant Environment Interactions*, 5(3), e10145. <https://doi.org/10.1002/pei3.10145>
- Karkanis, A., Ntatsi, G., Lapse, L., Fernández, J. A., Vagen, I. M., Rewald, B., Alsina, I., Kronberga, A., Balliu, A., Olle, M., Bodner, G., Dubova, L., Rosa, E., & Savvas, D. (2018). Faba bean cultivation—revealing novel managing practices for more sustainable and competitive European cropping systems. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1115. <https://doi.org/10.3389%2Ffpls.2018.01115>
- Kubure, T. E., Raghavaiah, C. V., & Hamza, I. (2016). Production potential of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes in relation to plant densities and phosphorus nutrition on vertisols of central highlands of west showa zone, Ethiopia, East Africa. *Advances Crop Science and Technology*, 4(2), 214. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000214>
- Rabiee, M., & Jilani, M. (2015). Determination of planting date, seed rate and row spacing on yield and agronomical traits of faba bean (*Vicia faba* L.) in Rasht area. *Plant Production Technology*, 7(2), 81-93. (In Persian).
- Rabiee, M., & Modarresi, M. (2021). Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivation as Second Crop in Paddy Field. Narvan Danesh, Tehran, Iran. 124 p. (In Persian).
- Rabiee, M., & Shaker Kouhi, S. (2024). Evaluation of morphological traits, yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) under different levels of chemical fertilizers in paddy fields. *Iranian Journal Pulses Research*, 16(1), 55-69. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89419.1096>
- Sarparast, R. (2017). Assessment of Faba Bean Varieties Performance as Second Cropping System (After Rice) in Mazandaran province. Seed and Plant Improvement Institute. Karaj, Iran. 48 p. (In Persian).

- Sarparast, R., Sheikh, F., & Sowghi, H. A. (2011). Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal Pulses Research*, 2(1), 99-106. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i1.12023>
- Sekhvat, R., Keshavarz Nia, R., Alavi Siney, S. M., & Moshref Ghahfaroukhi, G. A. (2025). Evaluation of yield stability and adaptability of promising lines of cowpea in hot and dry regions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(2), 13-25. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2024.381058.655095>
- Sheikh, F., & Jafar Node, S. (2020). Investigation of phonological development and yield of different faba bean genotypes in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 12(4), 57-67. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.15915.2182>
- Sheikh, F., & Chekani, O. (2021). The comparison of forage and grain yield of faba bean cultivars. *Journal of Fodder and Animal Feed*, 2(1), 70-71. (In Persian).
- Sheikh, F., Asadi, H., Seyedi, F., Sarparast, R., Gholami, M., & Feyzbakhsh, M. T. (2025). Feasibility of cultivating low-tannin faba bean (cv. Mahta) for livestock and poultry feed in the northern provinces of Iran. *Plant Production and Genetics*, 6(1), 125-134. (In Persian).
- Shabani, A., & Sepaskhah, A. R. (2019). Reviewing the harvest index estimation in crop modeling. *Iran Agricultural Research*, 38(2), 1-8. (In Persian). <https://doi.org/10.22099/iar.2019.5455>
- Sharifi, P., Astereki, H., Safari Motlagh, M. R. (2014). Evaluation of genotype, environment and genotype $\times$ environment interaction effects on some of important quantitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Crop Breedin*, 6(13), 73-88. (In Persian).
- Mayer Labba, I. C., Frokiaer, H., & Sandberg, A. S. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. Minor) cultivars. *Food Research International*, 140(2), 110038. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>
- Ozlam, A., & Hakan, G. (2007). Evaluation of heritability and correlation for seed yield and yield components in faba bean. *Journal of Agronomy*, 6(3), 484-487. <https://doi.org/10.3923/ja.2007.484.487>
- Tabatabaei, S. A., & Ranjbar, G. H. (2012). Effect of different levels of nitrogen and potassium on grain yield and protein of triticale. *International Research Applied and Basic Sciences*, 3(2), 390-393.
- Tabrizi, A. A., Nour Mohammadi, G., & Mobasser, H. R. (2015). Effects of different cropping systems on fertility of paddy soil. *Journal of Crop Ecophysiology*, 34(9), 191-202. (In Persian).
- Ul-Allah, S., Khan, A. A., Fricke, T., Buerkert, A., & Wachendorf, M. (2014). Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Research*, 159, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.01.003>



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97257.1126>

Evaluation of the Compatibility and Stability of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes using AMMI and REML/BLUP Methods

Behrouz Asadi¹, Seyedeh Soudabeh Shobeiri², Ali Akbar Asadi^{2*}, Foroud Salehi³, Hossein Astaraki⁴

Received: 30 December 2025
Revised: 21 April 2026
Accepted: 22 April 2026
Available Online: 22 April 2026

Cite this article:

Asadi, B., Shobeiri, S. S., Asadi, A. A., Salehi, F., & Astaraki, H. (2026). Evaluation of the compatibility and stability of Pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using AMMI and REML/BLUP methods. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 31-47. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97257.1126>

Introduction

In bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding programs, the ultimate goal of researchers is to produce varieties with high yield potential to increase production in different environments. Due to the differences in the adaptability of genotypes in different environments, the yield of genotypes fluctuates in different environments, which is known as the genotype $\times$ environment interaction (GEI) and is the result of the different phenotypic responses of genotypes to environmental changes. It is of particular importance to understand the type and nature of the interaction and to obtain the figures that show the least reaction to the interaction. To account for GEI, breeders evaluate genotypes in multiple environments to identify genotypes with high yield and stability and genotypes that have a non-significant GEI are considered stable genotypes. There are various methods, such as parametric and nonparametric methods, to evaluate interaction effects but the best result is achieved when a genotype shows similar results of stability with different evaluation methods. Therefore, identifying and developing stable, high-yielding cultivars that perform consistently across diverse environmental conditions is a major objective of pinto bean breeding programs. To this end, the present study evaluated the yield stability of 13 pinto bean genotypes across multiple environments using multivariate stability analysis.

Materials and Methods

In order to compare the yield and study the compatibility of bean genotypes, 12 bean genotypes along with the Kosha cultivar (check) were studied in a randomized complete block design with three replications in four regions: Khomein, Boroujerd, Shahrekord, and Zanjan for 2 years. The F-test of sources of variation was performed based on the arithmetic Mean of squares expectation, assuming randomness of years and locations (environments) and fixed genotypes. To determine the stability and compatibility of genotypes, AMMI multivariate methods and BLUP-based linear mixed model were used, and WAASBi and WAASBYi stability quantities were calculated to quantify stability.

Results and Discussion

A combined analysis of variance was performed assuming randomness of years and locations (environments) and fixed genotypes and it showed that the interaction effects of genotype $\times$ location, year $\times$ location and genotype $\times$ year $\times$ location were significant. The main effect of genotype, the main effect of environment (sum of main effects and interaction effect), and the interaction effect of genotype $\times$ environment (sum of dual and triple effects) explained 15, 39, and 40 percent of the total sum of squares, respectively. AMMI analysis of variance showed that the first to seventh principal components were significant and together explained nearly 100% of the variation in the genotype $\times$ environment interaction. The first and second principal components explained nearly 76% of the sum of squares of the GEI. Genotypes G11, G9 and G6 had the lowest values of the IPCA1, and among them, only genotype G9 had a yield higher than the average total yield,

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Arak Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran

3- Crop and Horticultural Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

4- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Lorestan, Iran

* Corresponding Author: asadipm@gmail.com



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

which was introduced as a stable genotype with high general adaptability to all environments. Genotypes G8, G6, and G11 had the lowest values of the second principal component of IPCA2; therefore, considering the yield, genotype G6 can also be introduced as a stable genotype in all environments. AMMI2 biplot showed compatibility of genotype G12 with Shah1 and Zan2, genotypes G2, G3 and G4 with Boro1, genotypes G9 and G13 with Khom1 and Khom2 and genotypes G1 and G8 with Boro2 environments. Based on the simultaneous selection criterion based on average grain yield and WAASB stability index, genotypes G7, G9, G8, G6, G1 and G3 with the highest WAASBY value were stable genotypes with high grain yield. Based on the biplot of grain yield versus weighted average absolute scores (WAASB), genotypes G7, G8, and G9 located in the fourth quartile had higher yields than the average yield of genotypes and were more stable than other genotypes. Finally, based on equal importance for yield and stability, G11 and G4 are stable and low-yielding genotypes, G6, G7, G8 and G9 are stable and high-yielding genotypes, G1, G3 and G5 are unstable and high-yielding genotypes, and finally G10, G12, G13, G20 and G2 are unstable and high-yielding genotypes.

Conclusions

Because the WAASBY index incorporates mixed-model analysis and all relevant components of genotype performance, it appears to provide a more comprehensive assessment of genotype stability and adaptability than the other indices evaluated. Based on the WAASBY index, genotypes G9, G7, G8, and G6 were ranked first through fourth, respectively, and were identified as the most promising genotypes.

Keywords: AMMI Analysis, Mixture model, Yield stability index



ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) با استفاده از روش‌های AMMI و REML/BLUP

بهروز اسدی^{۱*}، سیده سودابه شبیری^۲، علی اکبر اسدی^۳، فرود صالحی^۴، حسین استرکی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

چکیده

شناسایی و معرفی ارقام پایدار با عملکرد دانه بالا در شرایط محیطی متفاوت از اولویت‌های برنامه‌های اصلاحی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وجود دارد، ولی بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که یک ژنوتیپ با روش‌های مختلف ارزیابی، نتیجه مشابهی از نظر پایداری نشان دهد. به همین منظور، جهت مقایسه عملکرد دانه و سازگاری ژنوتیپ‌های لوبیا، ۱۲ ژنوتیپ لوبیا چیتی به همراه رقم کوشا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه خمین، بروجرد، شهرکرد و زنجان به مدت دو سال کشت شدند. جهت تعیین پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها از روش‌های چندمتغیره AMMI و مدل مخلوط خطی مبتنی بر BLUP و محاسبه کمیت‌های پایداری WAASBi و WAASBYi برای کمی‌سازی پایداری استفاده گردید. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان، سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان معنی‌دار بودند. اثر اصلی ژنوتیپ، اثر اصلی محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به ترتیب ۱۵، ۳۹ و ۴۰ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کردند. تجزیه واریانس AMMI نشان داد که اولین و دومین مؤلفه اصلی ۷۶ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را تبیین کردند. ژنوتیپ‌های G6، G9، G11 و G12 دارای IPCA1 نزدیک به صفر بودند و از بین آن‌ها ژنوتیپ G9 دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بود که به عنوان ژنوتیپ پایدار با سازگاری عمومی بالا برای تمامی محیط‌ها معرفی شد. ژنوتیپ‌های G6، G8، G11 و G12 دارای کمترین مقادیر IPCA2 بودند؛ بنابراین با توجه به عملکرد ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ G6 را نیز می‌توان به عنوان ژنوتیپ پایدار در تمامی محیط‌ها معرفی کرد. براساس بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ G12 با محیط Shah1 و Zan2، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G4 با محیط Boro1، ژنوتیپ‌های G9 و G13 با محیط‌های Khom1 و Khom2 و ژنوتیپ‌های G1 و G8 با محیط Boro2 سازگاری نشان دادند. براساس معیار گزینش هم‌زمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه و شاخص پایداری WAASB، ژنوتیپ‌های G7، G9، G8، G6، G1 و G3 با داشتن بیشترین مقدار WAASBY ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد دانه بالا بودند. براساس بای‌پلات عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB)، ژنوتیپ‌های G7، G8 و G9 در چارک چهارم جای گرفته و دارای عملکرد بیشتر از متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها و پایداری بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر بودند. در نهایت بر مبنای اهمیت یکسان برای عملکرد و پایداری، ژنوتیپ‌های G6، G7، G8 و G9 به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه AMMI، شاخص پایداری عملکرد، مدل مخلوط

مقدمه

است (FAO, 2020). در ایران سطح زیرکشت لوبیا ۸۹۸۹۸ هکتار و مقدار تولید آن ۲۰۷۳۵۹ تن با عملکرد ۲۳۰۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (Ahmadi et al., 2021).

در برنامه‌های اصلاحی تولید ارقام با پتانسیل عملکرد بالا، هدف نهایی محققان افزایش تولیدات محصولات کشاورزی است. از آنجاکه بخشی از بیان ژن در قالب محیط القاء تنظیم می‌شود، آزمایش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کمک کند. به تغییری که در عملکرد نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های

لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) گیاهی یک‌ساله و خودگشن به عنوان یک غذای اصلی و تأمین‌کننده بخشی از پروتئین مورد نیاز در جیره غذایی انسان‌ها به شمار می‌رود. این گیاه زراعی دارای ارزش غذایی زیادی بوده و مهم‌ترین منبع غذایی سرشار از پروتئین (۱۱ تا ۳۲ درصد) می‌باشد (Bagheri et al., 2002). سطح زیرکشت این محصول در جهان حدود ۳۴/۸ میلیون هکتار و میزان تولید آن ۲۷/۵ میلیون تن با متوسط عملکرد ۷۹۱ کیلوگرم در هکتار

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۵- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لرستان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: asadiipm@gmail.com

مختلف پدید می‌آید، اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط گفته می‌شود که دلیل عمده آن نیز تفاوت سازگاری ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد (Peterson et al., 1997; Cleveland, 2001). اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط ممکن است باعث کاهش همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی (ارزش اصلاحی) و فنوتیپی شده و کارایی گزینش را کاهش دهد (Brandle & Mcverty, 1994; Ebdon & Gauch, 2002). اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، از یک طرف همبستگی بین اثرات ژنوتیپی و فنوتیپی و از طرف دیگر، پیشرفت در گزینش ژنوتیپ‌ها را به‌ویژه در شرایط تنش کاهش می‌دهد (Kaya et al., 2006; Yan & Tinker, 2006). اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط $\times$ محیط (Genotype $\times$ environment interaction) اهمیت زیادی برای به‌نژادگران لوبیا دارد که به‌عنوان پاسخ فنوتیپی ژنوتیپ‌ها به تغییرات محیطی تعریف می‌شود (Yan & Kang, 2003). به‌منظور محاسبه اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط، به‌نژادگران ژنوتیپ‌ها را در چندین محیط ارزیابی می‌کنند تا ژنوتیپ‌های با عملکرد و پایداری بالا شناسایی شوند و ژنوتیپ‌هایی که اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط غیرمعنی‌دار دارند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته می‌شوند (Semakula & Dixon, 2007). بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار از جمله روش‌های کاهش اثرات متقابل محیط و ژنوتیپ است. در صورتی که پایداری یک ژنوتیپ با عوامل ژنتیکی کنترل شود، انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار موفقیت‌آمیز خواهد بود (Farshadfar, 1998). باین حال متخصصان اصلاح نباتات با روش‌های متفاوت، همگی معتقد به پایداری بالای عملکرد هستند، اما توافق واحدی بر روی تعریف پایداری و روش‌های اندازه‌گیری آن وجود ندارد (Kang & Magari, 1995).

شناخت نوع و ماهیت اثر متقابل و دستیابی به ارقامی که کمترین واکنش را نسبت به اثرات متقابل نشان دهند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات متقابل معرفی شده است که هر یک ماهیت اثر متقابل را از دیدگاه مشخصی بررسی می‌کند. نتایج روش‌های مختلف ممکن است با هم یکسان نباشند، اما بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که یک ژنوتیپ با روش‌های مختلف ارزیابی، نتیجه مشابهی از نظر پایداری نشان دهد (Dorri et al., 2014). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیری روش AMMI و روش گرافیکی GGE Biplot اشاره کرد (Gauch & Zobel, 1996). روش تجزیه AMMI توسط محققان مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و مشخص شده است که این روش می‌تواند برای تعیین ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی و خصوصی و برای مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد (Elakhdar et al., 2017; Mohammadi & Esmailzadeh Moghaddam et al., 2011; Amri, 2013). فیلیپو و همکاران (Philipo et al., 2021) با ارزیابی

۹۹ ژنوتیپ مختلف لوبیا در سه منطقه مشاهده کردند که هر سه اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط بسیار معنی‌دار بوده و اثر اصلی ژنوتیپ ۳۹/۳، اثر اصلی محیط ۲۶/۸ درصد و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط ۳۱/۴ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کردند. مکبیب (Mekbib, 2004) پس از انجام تجزیه پایداری با مقایسه روش‌های مختلف پایداری برای انتخاب ارقام پایدار و پرمحصول لوبیای معمولی نتیجه‌گیری کرد که معیارهای واریانس درون مکانی، اکی والانس ریک و واریانس پایداری موجب انتخاب ارقام پایدار و پرمحصول می‌شوند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش اکی والانس و واریانس پایداری را به‌خاطر انتخاب ارقام پایدار پرمحصول در لوبیا و سایر حبوبات می‌توان به‌عنوان معیار مناسب پایداری توصیه نمود. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2024) با استفاده از تجزیه‌های چند متغیره مانند AMMI جهت تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی از بین ژنوتیپ‌های ناشی از برنامه‌های اصلاحی، چهار ژنوتیپ پایدار و با عملکرد بالا را معرفی نمودند. کوشکی و همکاران (Kooshki et al., 2017) در تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های لوبیا سفید با استفاده از تجزیه AMMI نشان دادند که اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط مهم‌تر از اثر اصلی ژنوتیپ برای عملکرد دانه بود و شش مؤلفه اصلی در تجزیه AMMI معنی‌دار شدند. همچنین دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع ۷۱ درصد واریانس کل را توجیه می‌کردند و براساس مقادیر اولین مؤلفه اصلی معنی‌دار، ارزش پایداری AMMI (ASV) و شاخص پایداری ژنوتیپ (GSI)، ژنوتیپ DANESHKADEH/11805 به‌عنوان ژنوتیپ با عملکرد و پایداری عملکرد بالا شناخته شد. دانیالی و همکاران (Danyali et al., 2012) با ارزیابی ۱۷ ژنوتیپ نخود (*Cicer arietinum*) در ۱۶ محیط نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۷/۴۹ و ۲۵/۲۵ درصد از اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط را توجیه کردند.

مدل اثرات مختلط خطی LMM و روش برآوردگر حداکثر درست‌نمایی محدودشده REML، از جمله روش‌های مهم دیگری هستند که برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های چند محیطی پیشنهاد شده‌اند (Olivoto, Lúcio, da Silva, Marchioro et al., 2019). اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ $\times$ محیط بیانگر این است که عملکرد ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر دارای نوسان است، بنابراین برآورد بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی BLUP و انجام تجزیه AMMI بر روی آن‌ها، می‌تواند به شناسایی پایدارترین ژنوتیپ‌ها کمک کند (Olivoto, Lúcio, da Silva, Marchioro et al., 2019). در این روش، برای بهره‌گیری از مزایای دو روش AMMI و BLUP با مدل مخلوط خطی مبتنی بر BLUP، یک ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط به دست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با تجزیه ارزش منفرد SVD، که پایه تجزیه AMMI است، یک معیار

ژنوتیپ در محیط روی ۱۳ ژنوتیپ لوبیا چیتی با استفاده از روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری بود.

مواد و روش‌ها

به منظور مقایسه عملکرد و بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های لوبیا، تعداد ۱۲ ژنوتیپ لوبیا چیتی به همراه رقم کوشا در مجموع ۱۳ ژنوتیپ (جدول ۱)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه خمین، بروجرد، شهرکرد و زنجان به مدت دو سال بررسی شدند. بنابراین تعداد ۱۳ ژنوتیپ در هشت محیط مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به اینکه کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و لوبیا نیز یکی از محصولات با نیاز آبی بالا می‌باشد، دستیابی لاین‌ها و ارقامی با دوره رشد کوتاه‌تر و عملکرد بالا می‌تواند حداقل سه مرحله آبیاری را در لوبیا کاهش دهد و باعث افزایش کارایی مصرف آب شود. همچنین در مناطقی از کشور که سرما و بارندگی‌های زودهنگام پاییزه وجود دارد، امکان کاشت ارقام و لاین‌های زودرس وجود خواهد داشت. آمارهای هواشناسی چهار منطقه مورد بررسی در طول دو سال زراعی در جدول ۲ نشان داده شده است. لاین‌های مورد بررسی از مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی مناطق گرمسیری (CIAT) وارد شده و در قالب دو پروژه تحقیقاتی فوق‌الذکر مورد ارزیابی قرار گرفته و لاین‌هایی که دارای دوره رسیدگی کوتاه‌تر و عملکرد مناسب و بازپسندی دانه خوبی بیشتری برخوردار بودند، گزینش و در پروژه سازگاری با رقم کوشا در چهار منطقه کشور مقایسه گردید.

پایداری ژنوتیپی به نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق WAASB به دست می‌آید که حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است (Olivoto, Lúcio, da Silva, Sari et al., 2019). در این روش از شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی WAASB و میانگین وزنی شاخص پایدار WAASB و متغیر وابسته WAASBY استفاده می‌شود (Olivoto, Lúcio, da Silva, Sari et al., 2019). محققان مختلفی از این روش در شناسایی ژنوتیپ‌ها و ارقام پایدار حبوبات استفاده کرده‌اند (Pezeshkpour et al., 2025; Pezeshkpour & Karimizadeh, 2023; Amiri et al., 2023; Sharifi et al., 2022; Sellami et al., 2021). پزشکپور و همکاران (Pezeshkpour et al., 2024) با استفاده از شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی ناریب خطی سه ژنوتیپ پرمحصول پایدار را در نخود معرفی نمودند.

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان و نیاز آبی بالای لوبیا، دستیابی به لاین‌ها و ارقامی با دوره رشد کوتاه‌تر و عملکرد بالاتر می‌تواند باعث کاهش مصرف آب در کشت این محصول شود. همچنین در مناطقی که سرما و بارندگی‌های زودهنگام پاییزه وجود دارد، امکان کاشت ارقام و لاین‌های زودرس وجود خواهد داشت. لذا شناسایی و معرفی ارقامی با عملکرد دانه بالا و پایدار در شرایط محیطی متفاوت از اولویت‌های برنامه‌های اصلاحی این محصول می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق بررسی اثر متقابل

جدول ۱- کد و فهرست لاین‌های لوبیا چیتی مورد ارزیابی
Table 1- Code and list of evaluated pinto bean genotypes

ردیف Row	کد ژنوتیپ Genotypes code
G1	KS21331
G2	KS21195
G3	KS21318
G4	KS21168
G5	KS21373
G6	KS21579
G7	KS21583
G8	KS21565
G9	کوشا Kosha
G10	KS21488
G11	KS21284
G12	KS21359
G13	KS21583

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق پاییزه، شخم سطحی بهار، دیسک و لولر صورت گرفت. عناصر غذایی ماکرو و میکرو براساس آزمون خاک به زمین داده شد. به منظور مهار علف‌های هرز، قبل از کاشت از علف‌کش پیش‌کاشت تریفلورالین به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار استفاده گردید. پس از ایجاد جوی و پشته به فواصل ۵۰ سانتی‌متر، نقشه آزمایشی مورد نظر روی زمین اجرا گردید. فواصل بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر کرت آزمایشی (تیمار) یک خط نکاشت لحاظ گردید. بذور هر یک از لاین‌ها روی چهار خط به طول پنج متر کشت شدند. آبیاری با استفاده از نوارهای تیپ انجام گردید. در طول دوران رشد و نمو، مراقبت‌های زراعی شامل مبارزه با آفات و بیماری‌ها و مهار علف‌های هرز صورت گرفت. در زمان رسیدن، تمامی بوته‌های هر کرت به صورت جداگانه برداشت و عملکرد هر کرت پس از خرم‌کوبی تعیین شد.

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و محاسبه پارامترهای پایداری، آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون بارتلت) تأیید و سپس تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد. آزمون F منابع تغییر براساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن سال‌ها و مکان‌ها (محیط‌ها) و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، برای تعیین سازگاری و پایداری ژنوتیپ‌ها از روش تجزیه چند متغیره AMMI استفاده گردید. ضمن انجام تجزیه واریانس AMMI، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط، استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (Rodriguez et al., 2007). در ادامه برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپ‌ها، از تجزیه مقادیر منفرد (SVD: Singular value decomposition) بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های ناآریب خطی (BLUPs) اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط با یک مدل اثر مختلط خطی استفاده گردید و در نهایت چون هدف انتخاب هم‌زمان ژنوتیپ پایدار و پرمحصول بود از کمیت‌های پایداری WAASB و WAASBY برای کمی‌سازی پایداری با معادلات استفاده گردید (Olivoto, Lúcio, da Silva, Marchioro et al., 2019). ژنوتیپ با کمترین مقدار WAASB پایدار در نظر گرفته شد (Yan et al., 2000). برای تجزیه مرکب داده‌ها و آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی از نرم‌افزار SAS و برای تجزیه AMMI از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام studio استفاده گردید (Olivoto, 2019).

نتایج و بحث

به منظور انجام آزمون‌های بارتلت و F_{max} هاررتلی، ابتدا تجزیه واریانس ساده روی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در هر محیط انجام شد (جدول ۳).

در سطح احتمال یک درصد، آزمون F_{max} هاررتلی غیرمعنی‌دار و آزمون بارتلت معنی‌دار شد. با توجه به معنی‌دار شدن آزمون بارتلت، اطمینان کاملی از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایش‌های جداگانه وجود نداشت. پیشنهاد می‌شود که از چندین روش جهت ارزیابی یکنواختی واریانس خطاها استفاده شود و در صورت غیرمعنی‌دار شدن تنها یک روش، واریانس خطاها یکنواخت فرض شوند (Valizadeh & Moghaddam, 2010). تبدیل داده‌ها به دلیل اینکه منجر به از دست رفتن قسمتی از اطلاعات و نتیجه‌گیری نادرست در تجزیه پایداری می‌شود (Hugh & Guch, 1988; Haider Shah et al., 2009)، صورت نگرفت. معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت و استفاده نکردن از تبدیل داده‌ها توسط محققان دیگری نیز گزارش شده است (Esmaeilzadeh Moghaddam et al., 2018; Zarei et al., 2012). با این حال و به منظور تصمیم‌گیری درست در کنار روش AMMI و استفاده از پارامترهای پایداری تجزیه AMMI، از مدل روش REML/BLUP نیز استفاده شد.

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان، سال × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). این امر دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش می‌باشد. معنی‌دار شدن اثر سال × مکان، تأثیر زیاد آن را در معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌گانه نشان می‌دهد. همچنین معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × سال × مکان (محیط) نیز نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از محیطی به محیط دیگر یکسان نیست (Amini et al., 2023). در این مورد، علاوه بر تفاوت‌های ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها (علی‌رغم معنی‌دار نشدن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها)، تفاوت واکنش آن‌ها نسبت به عوامل جغرافیایی و اقلیمی حاکم بر محیط‌های مختلف نیز مؤثر بوده است، به طوری که تفاوت بین محیط‌ها را می‌توان به تفاوت‌های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی در سال‌ها و مکان‌های مختلف طی دوره رشد گیاه نسبت داد. واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به طور معمول به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد (Jafari & Farshadfar, 2018). اثر اصلی محیط (مجموع اثرات اصلی و اثر متقابل) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (مجموع اثرات دوگانه و سه‌گانه) به ترتیب با ۳۹ و ۴۰ درصد، بیش‌ترین سهم را از مجموع مربعات کل مشاهده‌شده در آزمایش‌ها داشتند. سهم ژنوتیپ از مجموع مربعات کل نیز ۱۵ درصد بود (جدول ۴). بررسی میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G7، G8، G9 و G10 به ترتیب بیش‌ترین و

ژنوتیپ‌های G11، G4، G2 و G13 کم‌ترین مقدار عملکرد دانه را داشتند. با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان (ژنوتیپ × محیط) در این آزمایش، صرفاً نمی‌توان براساس میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های با عملکرد دلنه بیش‌تر را انتخاب کرد، بلکه لازم است با انجام تجزیه پایداری، ضمن شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا، ژنوتیپ‌های با نوسانات عملکرد کم‌تر و سازگار با مناطق مختلف تعیین شوند.

جدول ۲- آمار هواشناسی ایستگاه‌های زنجان، بروجرد، خمین و شهرکرد در دو سال زراعی مورد بررسی

		۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2020-2021				۱۳۹۹-۱۴۰۰ 2021-2022			
ماه Moon	ایستگاه Station	بارندگی (میلی‌متر) Rain (mm)	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) average temperature (°C)	بارندگی (میلی‌متر) Rain (mm)	حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	متوسط دما (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)
خرداد June	بروجرد Borojerd	0	10.2	36.6	23.2	5.3	9	41.4	23.6
	زنجان Zanjan	6.9	8.1	29.4	18.7	12.4	9.0	30.8	30.8
	خمین Khomein	0	16.5	31	24.7	8.5	17.3	32.6	25.9
	شهرکرد Shahre Kord	0	9.8	30.9	20.3	0.8	11	32.5	21.7
تیر July	بروجرد Borojerd	0	12.8	38.8	26	0	12.6	41	27.2
	زنجان Zanjan	5.2	13.5	27.9	20.7	6.7	12.6	33.5	17.0
	خمین Khomein	0	19.1	32.9	26.8	0	20.5	34.9	28.6
	شهرکرد Shahre Kord	0.3	13.5	32.2	22.8	0.1	14.5	34.2	24.3
مرداد August	بروجرد Borojerd	0	12.6	40.4	27.1	0	13.8	41.6	27.3
	زنجان Zanjan	6.4	14.3	27.9	21.8	36.9	14.0	30.9	22.4
	خمین Khomein	0	20.4	35.1	28.3	0	20.5	33.9	28.1
	شهرکرد Shahre Kord	0.2	14.8	35.2	25	0.1	14.9	33.1	24
شهریور September	بروجرد Borojerd	0	10	36	23.5	0	7.4	38	24.2
	زنجان Zanjan	0.0	8.7	28.6	18.7	0.2	8.4	30.8	19.6
	خمین Khomein	0	16.5	29.7	23.6	0	17.7	32.1	25.5
	شهرکرد Shahre Kord	0	10.3	29.8	20	0	10.8	31.4	21.1

جدول ۳- واریانس خطای آزمایشات لوبیا در محیط‌های مختلف به همراه آزمون‌های $F_{\max}$ هارتلی و بارتلت جهت بررسی یکنواختی واریانس‌ها

Table 3- Variance of bean experimental error in different environments along with the $F_{\max}$ Hartley and Bartlett's tests to evaluate the uniformity of variances

سال Year	خمین Khomein	بروجرد Borujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre Kord
سال اول Year 1	55945.83	47991.45	96804.7	50627.46
سال دوم Year 2	52911.86	55511.85	92694.3	52939.74
تست بارتلت Bartlets test		31.039**		
$F_{\max}$ هارتلی $F_{\max}$ Hartley		2.02 ^{ns}		

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

ns and **: non significant and significant at 1% probability levels, respectively

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های لوبیا

Table 4- Combined analysis of variance of grain yield of bean genotypes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean of squares	درصد مجموع مربعات Percentage of sum of square
سال Year	1	31370956.70	31370956.70	0.12
مکان Location	3	44158208.68	14719402.89	0.17
سال × مکان Year × location	3	26914689.96	8971563.32**	0.10
خطای ۱ Error1	16	2110631.64	131914.48	0.01
ژنوتیپ Genotype	12	39005923.08	3250493.59	0.15
ژنوتیپ × سال Genotype × year	12	9587554.43	798962.87	0.04
ژنوتیپ × مکان Genotype × location	36	64202448.53	1783401.35**	0.25
ژنوتیپ × سال × مکان Genotype × year × location	36	26951173.08	748643.70**	0.11
خطای ۲ Error2	192	12130253	61378.4	0.05
ضریب تغییرات CV (%)			10.37	

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تجزیه AMMI

تجزیه واریانس AMMI (جدول ۵) نشان داد که هفت مؤلفه اصلی اول تا هفتم در سطح یک درصد معنی‌دار بودند و در مجموع نزدیک به ۱۰۰ درصد تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۷۶٪) را در تبیین اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان دادند. استفاده از ضرایب دو مؤلفه اول

اثر متقابل به عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها توسط محققان متعددی انجام گرفته است (Amini et al., 2023; Taherian et al., 2019). بزرگی درصد توجیه واریانس کل، توسط هریک از مؤلفه‌ها نشان‌دهنده قدرت تفکیک بهتر مؤلفه‌ها در تبیین اثر متقابل ژنوتیپ در محیط و اعتبار روابط مشاهده‌شده است. آقایی سرریزه و همکاران (Aghaee Sarbezeh et al., 2012) و

کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh et al., 2020) سهم پایین دو مؤلفه اصلی را در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط گزارش کردند. در مقابل، سهم بالای مؤلفه اصلی اول در توجیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط محققان دیگری گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت (Najafi Mirak et al., 2019; 2021).

ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPCA1) دارای اثر متقابل بالایی با محیط بودند. در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر اثر متقابل پایینی داشتند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G11، G9 و G6 دارای مقادیر مؤلفه اصلی اول (IPCA1) نزدیک به صفر بودند و از بین آن‌ها تنها ژنوتیپ G9 دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بود که می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با سازگاری عمومی بالا برای تمامی محیط‌ها معرفی شود (جدول ۶ و شکل ۱). از طرف دیگر، محیط‌های Shah2، Khom1 و Khom2 دارای کمترین مقدار در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بودند و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند و از بین این محیط‌ها، Shah2 و Khom2 میانگین عملکرد بیشتری نسبت به میانگین کل داشتند (جدول ۶). چون مؤلفه اصلی اول ۵۶/۳ درصد از

مجموع مربعات کل را تبیین کرد از مؤلفه اصلی دوم (IPCA2) با میزان تبیین ۱۹/۶۵ درصد نیز استفاده شد. ژنوتیپ‌های G8، G6 و G11 دارای کمترین مقادیر مؤلفه اصلی دوم IPCA2 بودند؛ بنابراین با توجه به عملکرد ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ G6 را نیز می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در تمامی محیط‌ها معرفی کرد (جدول ۶ و شکل ۱). در این بای‌پلات ژنوتیپ‌هایی که در نزدیکی یک محیط قرار داشته باشند، سازگاری خصوصی با آن محیط دارند و ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مبدأ مختصات باشند از سازگاری عمومی برخوردارند. محیط Zan1 تا حدودی دارای مقادیر مؤلفه‌های اول و دوم نزدیک به مبدأ مختصات بودند که نشان می‌دهد پتانسیل ایجاد اثر متقابل را دارا نبودند. ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات هستند به‌ویژه آن‌هایی که در رأس چندضلعی بای‌پلات قرار می‌گیرند، از پایداری عملکرد ضعیفی برخوردار بوده، ولی دارای سازگاری خصوصی با مکان‌هایی هستند که کمترین زاویه را با بردار آن‌ها در بای‌پلات دارند (Gauch 1997; Zobel &؛ بنابراین می‌توان به سازگاری ژنوتیپ G12 با محیط‌های Shah1 و Zan2، ژنوتیپ‌های G2، G3 و G4 با محیط Boro1، ژنوتیپ‌های G9 و G13 با محیط‌های Khom1 و Khom2 و ژنوتیپ‌های G1 و G8 با محیط Boro2 اشاره کرد.

جدول ۵- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش لوبیا
Table 5- AMMI analysis for grain yield of promising bean genotypes

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	درصد مجموع مربعات Percentage of sum of square	درصد تجمعی مجموع مربعات Accumulative percentage of sum of square
ENV	7	14634917.85**		
REP(ENV)	16	131904.4		
GEN	12	3250351.14**		
GEN:ENV	84	1199306.21**		
PC1	18	3152809.23**	56.3	56.3
PC2	16	1236961.31**	19.6	76
PC3	14	837710.93**	11.6	87.6
PC4	12	523106.94**	6.2	93.9
PC5	10	320207.07**	3.2	97
PC6	8	221996.51**	1.8	98.8
PC7	6	202749.29**	1.2	100
باقی‌مانده Residuals	192	63174.78		
کل Total	395	904233.19		

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مؤلفه‌های اصلی اول تا هفتم برای ژنوتیپ‌های لوبیا

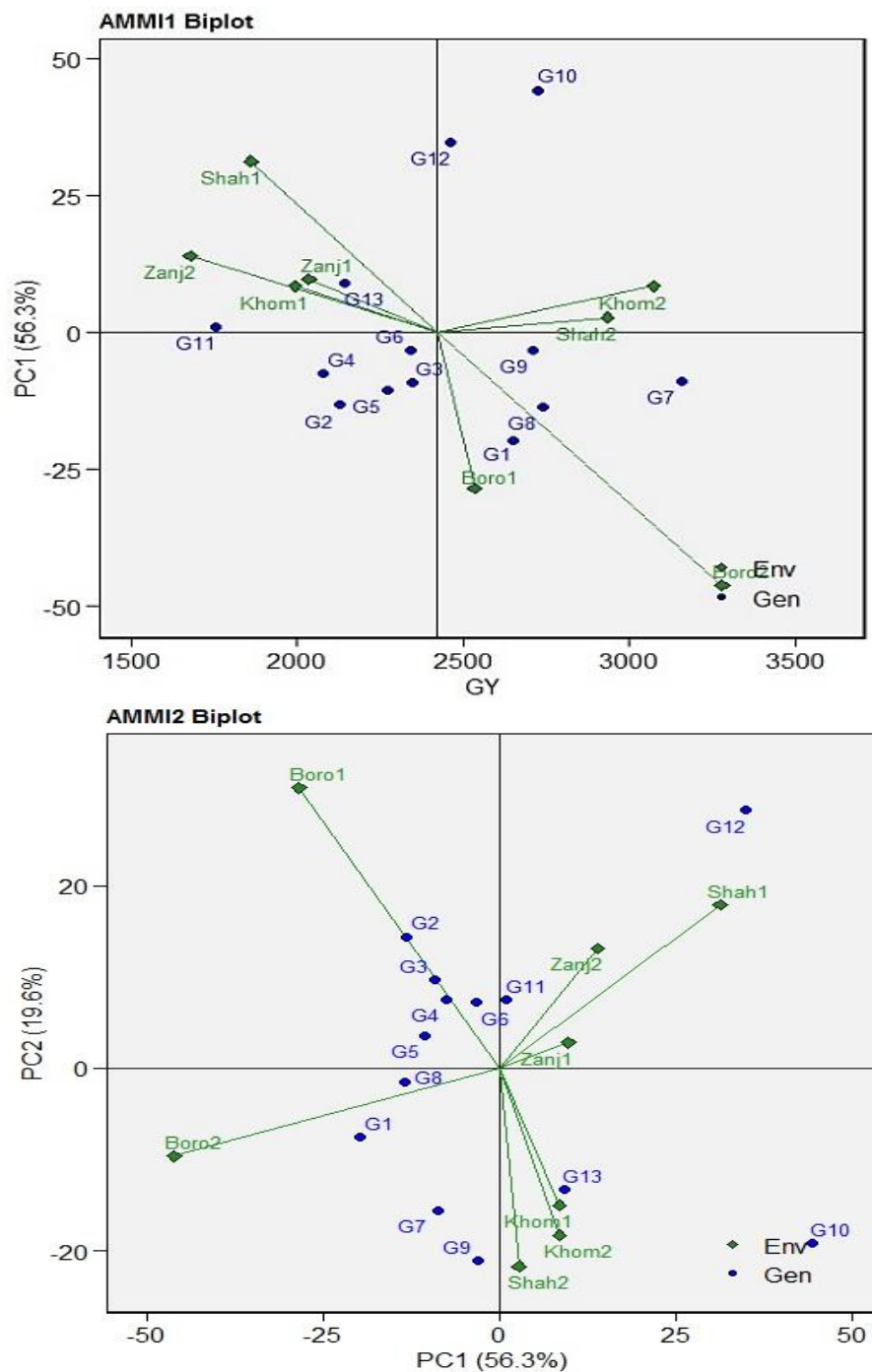
Table 6- First to seventh principal components for bean genotypes

کد Code	عملکرد Yield	مؤلفه اول PC1	مؤلفه دوم PC2	مؤلفه سوم PC3	مؤلفه چهارم PC4	مؤلفه پنجم PC5	مؤلفه ششم PC6	مؤلفه هفتم PC7
G1	2651	-19.8	-7.59	-8.04	-7.02	-9.51	2.8	-4.55
G2	2129	-13.2	14.42	-2.05	-3.06	-11.15	-6.88	-9.35
G3	2345	-9.2	9.68	9.08	5.05	16.13	-5.74	-8.75
G4	2079	-7.6	7.59	-14.5	8.08	4.34	-1.7	-5.08
G5	2270	-10.54	3.55	-20.25	-10.46	-4.58	-2.95	6.99
G6	2343	-3.31	7.2	13.94	-10.48	-4.98	-3.98	12.01
G7	3154	-8.79	-15.6	22.78	-14.91	7.73	-2.88	-2.56
G8	2737	-13.51	-1.49	-1.73	4.61	5.67	21.55	-1.06
G9	2711	-3.16	-21.08	5.28	6.79	-5.54	5.53	5.37
G10	2724	44.21	-19.13	-14.34	-10.57	4.91	-1.78	-5.19
G11	1755	0.99	7.48	-8.74	8.1	13.97	-4.82	13.02
G12	2461	34.8	28.26	11.17	-0.84	-6.56	8.31	-0.57
G13	2143	9.1	-13.29	7.41	24.7	-10.43	-7.44	-0.28
Boro1	2533	-28.41	30.73	19.27	-4.27	-4.56	-8.17	-3.03
Boro2	3278	-46.13	-9.63	-24.39	0.62	0.368	5.62	2.19
Khom1	1995	8.46	-14.99	-3.13	5.21	9.83	-21.43	6.02
Khom2	3073	8.43	-18.29	5.86	14.71	-21.02	0.16	-9.24
Shah1	1862	31.23	17.92	-23.86	-16.02	-7.63	-0.89	-1.42
Shah2	2932	2.76	-21.71	19.12	-24.08	1.42	7.13	4.78
Zanj1	2035	9.73	2.83	1.71	6.27	20.29	7.11	-15.08
Zanj2	1679	13.93	13.13	5.41	17.57	1.3	10.47	15.78

روش REML/BLUP

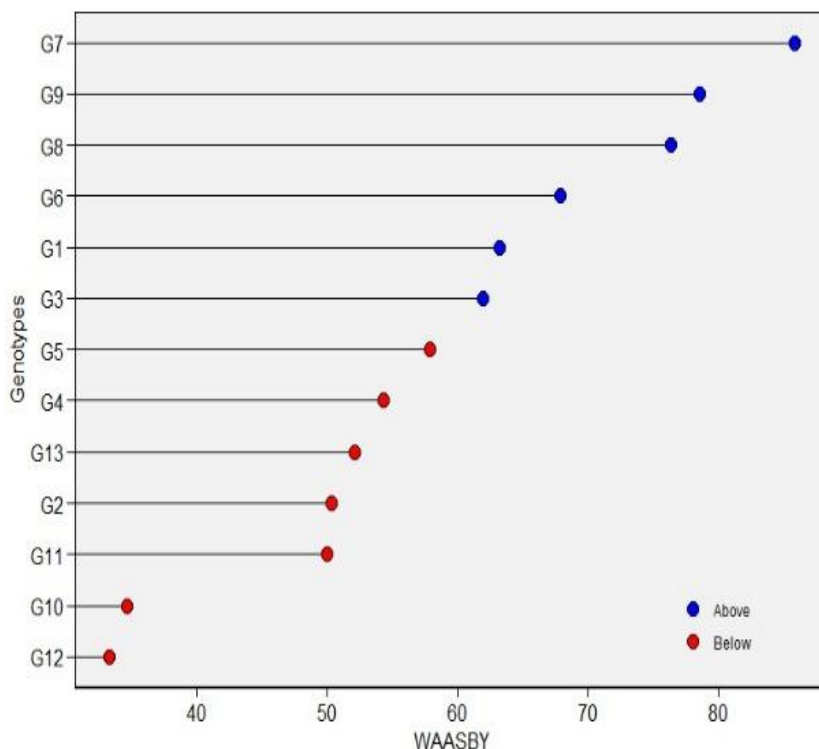
در شکل ۲، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها با مقادیر WAASBY انجام شده است که نوعی معیار گزینش هم‌زمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه و شاخص پایداری WAASB است. در این نمودار از وزن‌دهی یکسان برای هر دو شاخص عملکرد دانه و شاخص پایداری WAASB استفاده شد که بیانگر اهمیت یکسان هر دو شاخص در گزینش یک ژنوتیپ است. براساس وزن‌دهی ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری، ژنوتیپ‌های G1، G3، G6، G7، G8، G9 با داشتن بیشترین مقدار WAASBY ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد دانه بالا بودند. در شکل ۳، این ژنوتیپ‌ها در چارک‌های دوم (G1 با عملکرد بالا، اما ناپایدار)، سوم (G3 و G6 با عملکرد کمتر از میانگین کل، اما پایدار) و چهارم (G7، G8 و G9 پرمحصول و پایدار) جای داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد که بسته به وزن دو شاخص پایداری و میانگین عملکرد، می‌توان با مقایسه این دو نمودار به یک ارزیابی فراگیر از پایداری

ژنوتیپ‌ها دست یافت. با توجه به پایین بودن نمرات برخی از ژنوتیپ‌ها در دو IPCA اول، گزینش یا حذف این ژنوتیپ‌ها برپایه آماره‌های مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول ممکن است نتایج اشتباهی را در پی داشته باشد (به‌عنوان مثال ژنوتیپ G11 در تجزیه AMMI نمرات پایینی در هر دو مؤلفه اصلی اول و دوم نشان داد)، از این‌رو شاخص WAASB مبتنی بر ماتریس BLUP می‌تواند مفید باشد. بسیاری از پژوهشگران، ارزش پایداری AMMI یا ASV را برای گزینش و توصیه ژنوتیپ‌های پایدار به کار برده‌اند؛ اما اگر سهم این مؤلفه‌ها در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط پایین باشد، تفسیر نتایج باید با احتیاط انجام گردد، زیرا تنها بخش ساده GEI را می‌توان در مؤلفه‌های اصلی نخست مشاهده کرد و ممکن است بخش پیچیده GEI در این بای‌پلات‌ها حذف شده باشد (Olivoto, Lúcio, da Silva, Sari et al., 2019). در چنین مواقعی، نمودار WAASBY (شکل ۲) یا بای‌پلات (شکل ۳) برای شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و با پایداری گسترده می‌تواند بهتر باشد.



شکل ۱- نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مورد آزمایش با استفاده از میانگین عملکرد و اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل (AMMI1) و دو مؤلفه اصلی اول و دوم (AMMI2) براساس مدل AMMI

Figure 1- Scatter plot of genotypes and environments tested using mean yield and IPCA1 (A) and tIPCA1 and IPCA2 (B) based on the AMMI model



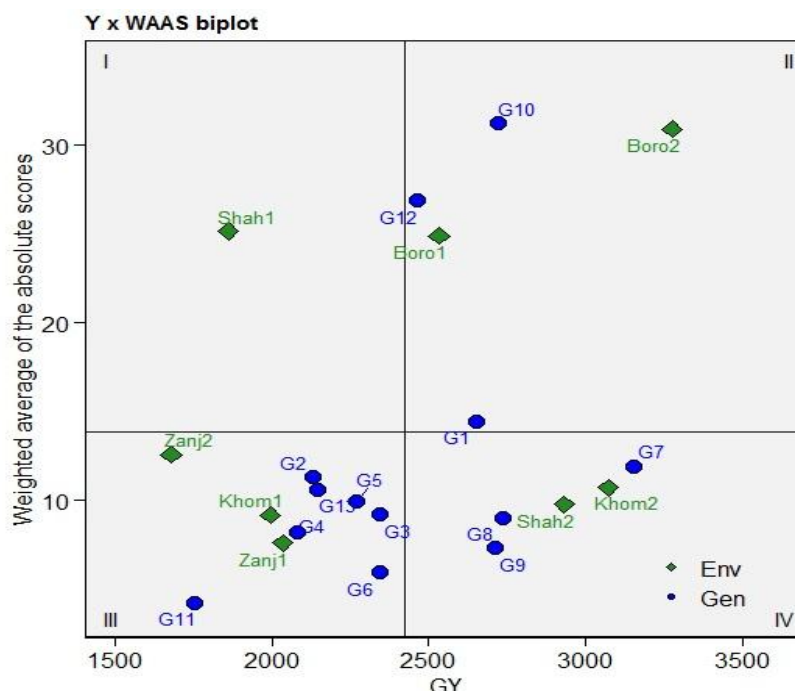
شکل ۲- معیار گزینش هم‌زمان مبتنی بر میانگین عملکرد دانه و شاخص پایداری WAASB برای ۱۳ ژنوتیپ لوبیا با توجه به وزن در نظر گرفته‌شده ۵۰:۵۰ برای عملکرد و پایداری

Figure 2- Simultaneous selection criteria based on average grain yield and WAASB sustainability index for 13 bean genotypes considering the weighting of 50:50 for yield and stability

محیط ۱ (محیط Shah1 با عملکرد پایین و توانایی جداکنندگی بالا)، محیط ۲ (شامل محیط‌های Boro1 و Boro2 با عملکرد بالا و توانایی جداکنندگی بالا)، محیط ۳ (شامل محیط‌های Zan2 با عملکرد پایین و جداکنندگی بالا و Khom1 و Zan1 با عملکرد پایین و جداکنندگی متوسط) و محیط ۴ (شامل محیط‌های Shah2 و Khom2 با عملکرد بالا و جداکنندگی بالا) بودند. از آنجاکه این نمودار (شکل ۳) براساس شاخص WAASB ترسیم شده است و در محاسبه آن از تمامی مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار استفاده شده است، پایداری ژنوتیپ‌ها و همچنین توانایی نمایندگی و جداکنندگی محیط‌ها را به‌خوبی نشان می‌دهد و ژنوتیپ‌های برگزیده با آن، دارای پایداری بهتری هستند (Olivoto, Lúcio, da Silva, Marchioro et al., 2019).

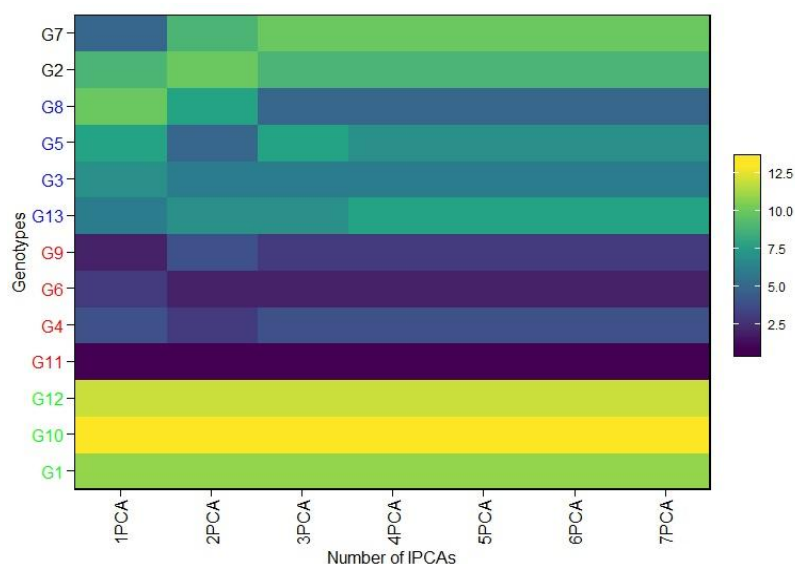
رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بسته به تعداد محورهای مؤلفه اصلی مورد استفاده برای تخمین شاخص WAASB در شکل ۴ نشان داده شده است. در این نمودار از دندروگرام مبتنی بر فاصله اقلیدسی، برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس رتبه آن‌ها استفاده شده است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G9، G6، G4 و G11 بر مبنای کلیه مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده در محاسبه شاخص WAASB به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار انتخاب می‌شوند.

بای‌پلات عملکرد دانه در برابر میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB) برای ارزیابی هم‌زمان ژنوتیپ‌ها از نظر میانگین عملکرد دانه و پایداری با شاخص WAASB به کار گرفته شد. در چارک اول این نمودار، هیچ ژنوتیپی قرار نگرفت. ژنوتیپ‌های G1، G10 و G12 در چارک دوم، با آنکه دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند، اما به دلیل مقدار بالای WAASB ناپایدار بودند. البته ژنوتیپ G1 در این ناحیه با عملکردی بالاتر از میانگین کل، در نزدیک مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپی با پایداری عمومی بالا بود. محیط Boro2 با توجه به سهم بالا در اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، محیطی با توانایی شناسایی بالا بود و بهتر می‌تواند ژنوتیپ‌های پایدار را از یکدیگر جدا کند (Yan & Kang, 2003). ژنوتیپ‌های G2، G5، G13، G3، G11، G4 و G6 در چارک سوم با وجود عملکرد کمتر از میانگین کل، به دلیل مقادیر پایین WAASB پایدار بودند. ژنوتیپ‌های G7، G8 و G9 واقع‌شده در چارک چهارم، دارای عملکرد بیشتر از متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها و پایداری بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر بودند. محیط‌ها در این بای‌پلات، به‌روشنی به چهار محیط بزرگ تقسیم شدند که شامل



شکل ۳- بای پلات عملکرد دانه در مقابل میانگین وزنی نمرات مطلق برای بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی از اثر متقابل ژنوتیپ‌ها با محیط (WAASB)

Figure 3- Biplot of grain yield versus weighted average absolute scores for the best linear unbiased predictions of genotype-by-environment interaction (WAASB)



شکل ۴- گروه‌بندی ۱۳ ژنوتیپ لوبیا با در نظر گرفتن تمامی مؤلفه‌های اصلی

Figure 4- Grouping of 13 bean genotypes considering all principal components

عملکرد دانه و شاخص پایداری WAASB، وزن‌های متفاوتی داده شده است، به‌طوری که در محور X آن، در سمت چپ وزن ۱۰۰ به شاخص پایداری WAASB و صفر به متغیر عملکرد دانه داده شده است و در نخستین ستون سمت چپ این نمودار، رتبه‌بندی فقط

یکی از مزیت‌های شاخص WAASBY این است که بسته به هدف برنامه به‌نژادی، می‌توان در محاسبه آن به هر یک از دو جزء عملکرد و پایداری عملکرد، وزن‌های متفاوت داد تا سهم هر جزء پررنگ‌تر یا کم‌رنگ‌تر شود. در شکل ۵ به دو شاخص متغیر وابسته

دارای رتبه‌های بالای گزینش هم‌زمان با پایداری و عملکرد دانه WAASBY با وزن برابر برای دو شاخص قرار داشتند.

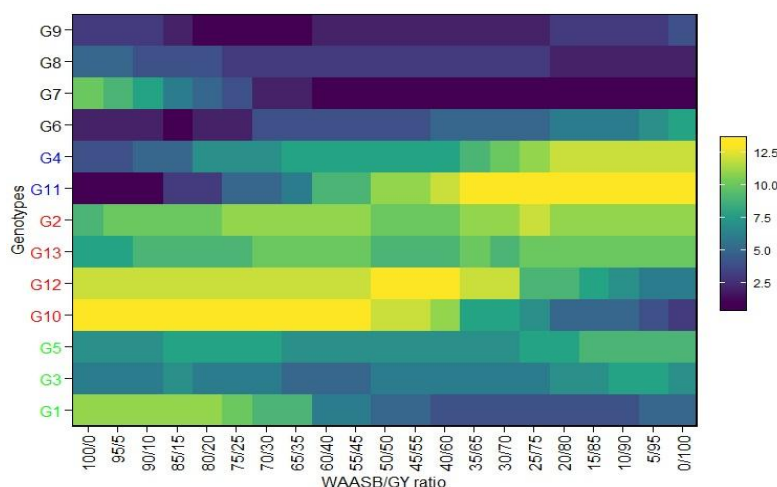
نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تجزیه AMMI نشان داد که ۵۶/۳ درصد از واریانس اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ محیط توسط مؤلفه اصلی اول توجیه شد که میزان قابل قبولی است. با این حال، با در نظر گرفتن تعداد بیشتری از مؤلفه‌ها، نتایج دقیق‌تر و تفسیر آن‌ها نیز با قابلیت اطمینان بیشتری همراه است. مطالعات متعدد نیز نشان داده‌اند که هرچه در تجزیه AMMI از مؤلفه‌های اصلی بیشتری استفاده شود، نتایج به‌دست‌آمده به شاخص WAASBY نزدیک‌تر می‌شوند و این به‌نوبه خود از برتری ارزیابی با شاخص WAASBY در مقایسه با AMMI ناشی می‌شود. با توجه به نتایج تجزیه AMMI، ژنوتیپ‌های G9 و G6 حدودی SY $\times$ به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها انتخاب شدند. بای‌پلات SY $\times$ WAASB ژنوتیپ‌های G7، G8 و G9 را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد دانه بالا معرفی کرد. در نهایت، برای یک نتیجه‌گیری با اطمینان بالا، استفاده از نمودار WAASBY با وزن‌دهی متغیر از ۵۰:۵۰ برای شاخص WAASB و میانگین عملکرد دانه به نتایج مطمئن‌تری از تجزیه پایداری جهت شناسایی ژنوتیپ‌های منتخب منجر شد. با توجه به اینکه از مدل مخلوط و همچنین تمام مؤلفه‌ها در محاسبه شاخص WAASBY استفاده شد، به نظر می‌رسد که این شاخص، برتر از سایر شاخص‌ها باشد. بنابراین ژنوتیپ‌های G7، G9، G8 و G6 به‌ترتیب در رتبه‌های برتر قرار گرفتند و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند.

براساس شاخص پایداری WAASB انجام شده است. در این نمودار از چپ به راست، در هر ستون به وزن متغیر پاسخ (عملکرد دانه) پنج درصد افزوده و از وزن شاخص پایداری WAASB، پنج درصد کاسته شده است و در آخرین ستون سمت راست، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها فقط براساس عملکرد دانه (با وزن ۱۰۰ درصد) انجام شده است. نتیجه رتبه‌بندی ۵۰:۵۰ همچون شکل قبلی است که در آن به شاخص پایداری WAASB و متغیر وابسته عملکرد دانه هر دو وزن ۵۰ داده شده بود. در وضعیت ۵۰:۵۰ دیده می‌شود که ژنوتیپ‌های G7، G9، G8، G6 و G1 به‌ترتیب در رتبه‌های برتر قرار گرفتند.

در نخستین ستون سمت چپ، ژنوتیپ‌های G11، G6، G9، G1، G4 و G8 پایدارترین هستند و ژنوتیپ‌های G10، G128، G11 و G7 کمترین پایداری را دارند. البته از آنجاکه در این رتبه‌بندی هیچ‌گونه توجهی به عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نشده است، چنین رتبه‌بندی نمی‌تواند از اعتبار بالایی برخوردار باشد. در آخرین ستون سمت راست هم که رتبه‌بندی فقط براساس عملکرد دانه و بدون توجه به پایداری انجام شده است، ژنوتیپ‌های G7، G8، G9 و G1 برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بودند و ژنوتیپ‌های G11، G4، G2 و G13 کمترین عملکرد دانه را داشتند.

تقسیم‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس رنگ، برای شناسایی گروه‌های ژنوتیپی با نمود مشابه پایداری و عملکرد به کار برده می‌شود. بر این اساس، ژنوتیپ‌های G11 و G4 (رنگ آبی)، ژنوتیپ‌های پایدار کم‌محصول هستند. ژنوتیپ‌های G6، G7، G8 و G9 (رنگ سیاه) ژنوتیپ‌های پایدار پُر محصول هستند. ژنوتیپ‌های G1، G3 و G5 (رنگ سبز)، ژنوتیپ‌های ناپایدار پُر محصول و در انتها ژنوتیپ‌های G10، G12، G13 و G20 (رنگ قرمز) قرار دارند که ناپایدار پُر محصول هستند که براساس شکل ۵ نیز در ژنوتیپ‌های رنگ سیاه



شکل ۵- رتبه‌های ۱۳ ژنوتیپ لوبیا با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای پایداری و عملکرد

Figure 5- Ranks of 13 bean genotypes considering different weights for stability and yielding

References

- Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, B., Shahbazzpour-Shahbazi, A., Bahari, M., & Rostami, H. (2012). Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 2, 315-325. (In Persian).
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Mohammadnia Afrozi, S., Esfandiaripour, E. & Abbastaghani, R. (2021). Agricultural Statistics for the Agricultural Year 1398-99. Volume 1: Crops. Ministry of Agricultural Jihad, Deputy for Planning and Economics, Information and Communication Technology Center.
- Amini, A., Asadi, A. A., Chaichi, M., Ezz-Ahmadi, M., Ghasemi Kalkhoran, M., Eivazi, A. R., Hosseinibay, S. K., Salehi, P., Babaei, T., Godsi, M., & Mirfakhraee, N. (2023). Investigating the stability of promising bread wheat genotypes in cold climate using AMMI and GGE biplot analysis. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 119-134. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.348569.654940>
- Amiri, S., Arminian, A., & Hosseinian Khoshrou, H. (2023). Evaluation of compatibility and stability of grain yield and evaluation of some agronomic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 15(45), 219-233. <https://doi.org/10.61186/jcb.15.45.219>
- Asadi, B., Shobeiri S. S., & Asadi, A. A. (2024). Analysis of the genotype $\times$ environment interaction effect for grain yield in red bean genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Journal of Crop Breeding*, 16(1), 86-102. (In Persian). <https://doi.org/10.61186/jcb.16.49.86>
- Bagheri, A., Mahmoudi, A. & Ghezeli, F. (2002). Common Beans: Research for Crop Improvement. Van Schoonhoven, A. & Voysest, O. (Eds.). Wallingford, UK: CAB International. (Persian translation by Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad Branch, Iran).
- Brandle, J. E., & Mcverty, P. B. E. (1994). Genotype $\times$ environment interaction and stability of seed yield of oil rapeseed corn-in Manitoba, *Canadian Journal of Plant Science*, 21, 233-240. <https://doi.org/10.4141/cjps88-049>
- Cleveland, D. A. (2001). Is plant breeding science objective truth or social construction? The case of yield stability, *Agriculture and Human Values*, 18, 251-270. <https://doi.org/10.1023/A:1011923222493>
- Danyali, S. F., Razavi, F., Ebadi Segherloo, A., Dehghani, H., & Sabaghpour, S. H. (2012). Yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and study relationship among the univariate and multivariate stability parameters. *Research in Plant Biology*, 2(3), 46-61.
- Dorri, H. R., Lak, M. R., & Assadi, B. (2014). Stability of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes in common bacterial blight condition using regression analysis, the additive main effects and multiplicative interactions (AMMI) and Muir methods, *Iranian Journal of Pulses Research*, 5(2), 119-130. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47083>
- Ebdon, J. S., & Guach, H. G. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials. II cultivar recommendations. *Crop Science*, 42, 489-496. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4890>
- Elakhdar, A., Kumamaru, T., Smith, K. P., Brueggeman, R. S., Capo-chichi, L. J. A., & Solanki, S. (2017). Genotype by environment interactions (GEIs) for barley grain yield under salt stress condition. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 193-204. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0016-0>
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Ayeneh, G. A. L. A., Akbari Moghaddam, H., Mahmoudi, K., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S. M., & Zali, H. (2018). Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. *Cereal Research*, 8(3), 333-344. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/c.2018.10654.1405>
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Zakizadeh, M., Akbari Moghaddam, H., Abedini Esfahlani, M., Sayahfar, M., Nikzad, A. R., Tabib Ghafari, S. M., & Lotfali Ayeneh, G. A. (2011). Genotype $\times$ environment interaction and stability of grain yield of bread wheat genotypes in dry and warm areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(2), 257-273. (In Persian).
- FAOSTAT, (2020). FAOSTAT. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Available at <https://www.fao.org/3/cc2211en/cc2211en.pdf>.
- Farshadfar, E. (1998). Application of Biometric Genetics in Plant Breeding. Taghe - Bostan Press, Razi University, Kermanshah, Iran, 396 pp. (In Persian).
- Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). AMMI analysis of yield trials. p. 85-122. In Kang M.S. & Gauch, H.G. (Eds.) Genotype by Environment Interaction, 1-14 pp. CRC Press. Boca Raton.
- Gauch, H. G., & Zobel, R.W. (1997). Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 31, 311-326. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020002x>
- Haider Shah, S., Munavar Shah, S., Inayat Khan, M., Ahmed, M., Hussain, I., & Eskridge, K. M. (2009). Non parametric methods in combined heteroscedastic experiments for assessing stability of wheat genotypes in Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 711-730.

- Hugh, G., & Gauch, G. H. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44, 705-715. <https://doi.org/10.2307/2531585>
- Jafari, T., & Farshadfar, E. (2018). Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8(2), 199-208. (In Persian). SID. <https://sid.ir/paper/367197/en>. <https://doi.org/10.22124/c.2018.6232.1243>
- Kang, M. S., & Magari, R. (1995). Stable: A basic program for calculating stability and yield-stability statistics. *Agronomy Journal*, 87, 276-277. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700020023x>
- Karimzadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., & Keshavarzi, K. (2020). Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions, *Cereal Research*, 10(2), 135-147. (In Persian). <https://doi.org/10.22124/cr.2020.16274.1589>
- Kaya, Y., Akcura, M., & Taner, S. (2006). GGE-bi-plot analysis of multi environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 325-337.
- Kooshki, M., Ghaedrahmati, M., Assadi, B., Kamel, M., Khorshidi Benam, M., & Dorri, H. (2017). Analysis of yield stability of some white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes using AMMI method. *Seed and Plant Journal*, 32(4), 557-573. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.113089>
- Mekbib, F. (2004). Yield stability in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Biomedical and Sciences*, 130, 147-153. <https://doi.org/10.1023/A:1022878015943>
- Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Genotype $\times$ environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, 192(2), 227-249. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0839-1>
- Najafi Mirak, T., Agaee Sarbarzeh, M., Moayedi, A., Kaffashi, A., & Sayahfar, M. (2021). Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 17-28. <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13087>
- Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, S., & Ghandi, A. (2019). Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran, *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21, 127-138. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/abj.21.2.127>
- Olivoto, T., Lúcio, A. D., da Silva, J. A., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949-2960. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0220>
- Olivoto, T., Lúcio, A. D., da Silva, J. A., Sari, B. G., & Diel, M. I. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*, 111(6), 2961-2969. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221>
- Olivoto, T. (2019). Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan> (accessed 24 June 2019) <https://doi.org/10.1101/2020.01.14.906750>
- Peterson, C. J., Moffatt, J. M., & Erickson, J. R. (1997). Yield stability of hybrid vs. pure line hard winter wheats in regional performance trials. *Crop Science*, 37, 116-120. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010019x>
- Pezeshkpour, P., Amiri, R., & Jahangiri, A. (2025). Evaluation of performance stability of chickpea genotypes using AMMI, BLUP, MTSI and MGIDI Indexes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 35(2), 43-62. <https://doi.org/10.22034/saps.2024.60435.3177>
- Pezeshkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024). Evaluation of seed yield stability of lentil genotypes based on REML/BLUP and multi-trait stability index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 16(2), 42-52. <https://doi.org/10.61186/jcb.16.2.42>
- Pezeshkpour, P., & Karimizadeh, R. (2023). Evaluation of the mean performance and stability of chickpea genotypes by integration AMMI and BLUP models and selection based on Multi-Trait Stability Index (MTSI). *Journal of Crop Breeding*, 15(46), 73-83. (In Persian).
- Philipo, M., Ndakidemi, P. A., & Mbega, E. R. (2021). Environmentally stable common bean genotypes for production in different agro-ecological zones of Tanzania. *Heliyon*, 7(21), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05973>
- Rodriguez, M., Rau, D., & Papa, R. (2007). Genotype by environment interactions in barley (*Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, 163(2), 231-247. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9635-8>
- Sellami, M. H., Pulvento, C., & Lavini, A. (2021). Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions in south Italy using multi-trait stability index (MTSI). *Agronomy*, 11(9), 1807. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091807>

- Semakula, G., & Dixon, A. (2007). Genotype $\times$ environment interaction, stability and agronomic performance of carotenoid -rich cassava clones. Scientific Research and Essays.
- Sharifi, P., Sheikh, F., Miri, K., Sekhvat, R., & Asteraki, H. (2022). Evaluation of seed yield stability of faba bean genotypes by linear mixed-effects models (LMM). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(2), 97-107. (in Persian).
- Taherian, M., Bihamta, M. R., Peyghambari, S. A., Alizadeh, H., & Rasoulnia, A. (2019). Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 11(29), 93-103. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.93>
- Valizadeh, M., & Moghadam, M. (2010). Experimental Designs in Agriculture. Fourth Edition. Privar Publishers, Iran. (in Persian).
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 623-645. <https://doi.org/10.4141/P05-169>
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press. Boca Raton. FL. USA. 271 p.
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE- biplot. *Crop Science*, 40, 597-605. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403597x>
- Zarei, L., Farshadfar, E., Haghparsat, R., Rajabi, R., Mohammadi Sarab Badieh, M., & Zali, H. (2012). Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. *Electronic Journal of Crop Breeding*, 5(3), 81-97. (In Persian)



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97383.1127>

Testing Value for Cultivation and Use (VCU) of "Sakar" Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Variety Candidates for Commercialization

Babak Darvishi^{1*}, Hossein Kamari¹, Saman Sheidaei¹, Mohammadreza Jazaiery Noushabadi¹

Received: 07 January 2026

Revised: 13 June 2026

Accepted: 14 June 2026

Available Online: 14 June 2026

Cite this article:

Darvishi, B., Kamari, H., Sheidaei, S., & Jazaiery Noushabadi, M. (2026). Testing value for cultivation and use (VCU) of "Sakar" chickpea (*Cicer arietinum* L.) variety candidates for commercialization. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 49-63. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97383.1127>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is considered as a valuable legume crop that, in addition to having high nutritional value, is well adapted to rainfed farming conditions. Also, it is one of the most important crops in the semi-arid regions of the world, and is widely cultivated in Iran. In 2023, chickpea cultivation area in Iran is about 423,700 hectares and its production is estimated at more than 175,000 tons with an average yield of 413 kilograms per hectare. Developing new cultivars with superior agronomic performance and desirable consumer traits is essential for increasing yield, improving mechanization efficiency, and enhancing market competitiveness. The Value for Cultivation and Use (VCU) test is a critical step in the registration and commercialization process, as it verifies that new cultivars outperform existing commercial varieties in terms of agronomic performance and quality. The newly developed chickpea cultivar Sakar was selected for evaluation based on its promising morphological and physiological characteristics. The aim of this study was to investigate the agronomic performance and consumption-related characteristics of the "Sakar" cultivar in comparison with five commercial cultivars in diverse climatic conditions of Iran.

Materials and Methods

This study was conducted during two cropping seasons in three locations: Urmia, Naqadeh, and Karaj. A Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications was used to evaluate the candidate cultivar 'Sakar' alongside five control cultivars. Data collection was based on the national VCU testing protocol and phenological traits, yield components and seed quality were evaluated. Post-harvest traits such as water absorption index, seed swelling index and cooking time were measured using standard laboratory methods. Analysis of variance (ANOVA) was performed to assess differences among cultivars and mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at the 5% significance level. All statistical analyses were carried out using SAS software.

Results and Discussion

The candidate cultivar 'Sakar' was later flowering than the other cultivars with 154.4 days to flowering. Sakars flowering time was significantly delayed compared to the average of the other cultivars (152.7 days). 'Sakar' cultivar with a maturity period of 190.7 days was classified in the late-maturing cultivar group along with 'Nosrat' (190.2 days) and 'Ata' (189.8 days). The first pod height in 'Sakar' (20.5 cm) was significantly higher than the mean of the other cultivars (17.8 cm), which is considered as an advantage for 'Sakar' mechanical harvesting. 'Sakar' also showed high branching (7.05 branches per plant), similar to 'Ata' (7.0) and 'Nosrat' (6.77). Although the number of pods per plant in 'Sakar' (39.4 pods) was significantly lower than the average of the improved cultivars (49.15 pods), it had the highest number of seeds per pod (1.15) and the highest 100-seed weight of 37 g which was ranked in the highest statistical group with 100-seed weight in Saeed (37.9 grams) and Anna (37 grams) cultivars. 'Sakar' also produced the highest fresh seed weight (81.3 g) and showed a higher water absorption index (1.19%) compared to the general mean (1.12%). Its dry seed volume (83 mL) was the highest among the cultivars. Based on the seed swelling index (2.23) and cooking time (38.3 minutes), 'Sakar' was categorized as an intermediate cultivar. Overall, due to its higher first pod height and relatively large seed size, 'Sakar' can serve as an efficient and promising germplasm for breeding and production programs in regions with environmental conditions similar to the study areas.

1- Seed and Plant Certification and Registration Institute. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

* Corresponding Author: b.darvishi@spcri.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Conclusions

The candidate cultivar 'Sakar' showed impressive agronomic performance in the evaluations; higher first pod height, adequate branching and relatively large seed size were its outstanding features. In addition, the sakar cultivar showed favorable quality traits such as higher grain fresh weight, higher water absorption index and higher grain dry volume. Although this cultivar was ranked at an average level in terms of grain swelling index and cooking time, the combination of all Sakar characteristics indicates that Sakar can be used as an efficient and promising germplasm for breeding and production programs in areas with environmental conditions similar to the experimental sites.

Acknowledgement

This article is extracted from the research project of the Seed and Plant Certification and Registration Institute under the approved number 04-08-08-050-011221 dated 2025/10/18 which is hereby thanked and appreciated.

Keywords: Agronomic traits, Large-seeded chickpea, Rainfed cultivation, Variety introduction

ارزیابی ارزش زراعی نخود رقم "ساکار" (*Cicer arietinum* L.) متقاضی تجاری سازیبابک درویشی^{۱*}، حسین کمرب^۱، سامان شیدائی^۱، محمدرضا جزایری نوش آبادی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۴

چکیده

به منظور ارزیابی ارزش زراعی و مصرفی لاین جدید نخود (*Cicer arietinum* L.) به نام "ساکار" به عنوان رقم منتخب جهت معرفی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی در سه منطقه (ارومیه، نقده و کرج) اجرا شد. در طول فصل رشد، داده‌برداری براساس دستورالعمل آزمون ارزش زراعی انجام گردید و صفات زراعی، عملکرد و ویژگی‌های کیفی نخود رقم ساکار مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج به دست آمده، رقم ساکار با میانگین ۱۵۴/۴ روز تا گل‌دهی و ۱۹۰/۷ روز تا رسیدگی جزو ارقام دیررس طبقه بندی شد. ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در این رقم (۲۰/۵ سانتی متر) به طور معنی داری بیشتر از میانگین ارتفاع اولین غلاف در سایر ارقام (۱۷/۸ سانتی متر) بود که برای برداشت مکانیزه یک مزیت محسوب می شود. رقم ساکار با میانگین ۷/۰۵ شاخه در بوته، شاخه‌دهی بالایی داشت. اگرچه میانگین تعداد غلاف در بوته در رقم ساکار کمتر از میانگین سایر ارقام بود، اما میانگین تعداد دانه در غلاف (۱/۱۵ عدد) و میانگین وزن ۱۰۰ دانه (۳۷ گرم) در این رقم بالاتر بود. شاخص جذب آب (۱/۱۹ درصد) و شاخص تورم دانه (۲/۲۳) در رقم ساکار حدواسط سایر ارقام بود. از نظر زمان پخت نیز رقم ساکار با میانگین زمان پخت ۳۸/۳ دقیقه در گروه دانه‌های با زمان پخت متوسط طبقه بندی شد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که رقم ساکار به دلیل سهولت برداشت مکانیزه ناشی از ارتفاع بیشتر اولین غلاف و نیز بازارپسندی بالاتر حاصل از تولید دانه‌های نسبتاً درشت می‌تواند در مناطق مشابه با شرایط آزمایش همانند ارقام شاهد به عنوان یک ژرم پلاسما جدید و کارآمد در توسعه و تولید حبوبات کشور مورد استفاده قرار گرفته و نقش مؤثری در توسعه کشت نخود در کشور ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: صفات زراعی، کشت دیم، معرفی رقم، نخود دانه درشت

مقدمه

حبوبات پس از غلات، دومین منبع غذایی مهم برای انسان محسوب می‌شوند و نقش کلیدی در تأمین پروتئین رژیم غذایی جمعیت جهان ایفا می‌کنند (Basiri, 2024). نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی مناطق نیمه خشک جهان به شمار می‌رود که در ایران نیز به طور گسترده کشت می‌شود. براساس گزارش‌های منتشرشده در سال ۲۰۲۳، سطح زیرکشت نخود در ایران حدود ۴۲۳/۷ هزار هکتار بوده و تولید آن بیش از ۱۷۵ هزار تن با میانگین عملکرد ۴۱۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. در سطح جهانی نیز سطح زیرکشت نخود در همین سال حدود ۱۴/۰۹ میلیون هکتار با میانگین عملکرد ۱۱۷۱/۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2023).

اصلاح نباتات، برگرفته از تکامل طبیعی، تلاشی هدفمند برای بهبود صفات زراعی و پاسخ به نیازهای بشر در تأمین غذا و مواد اولیه است (Mafakheri et al., 2015). امروزه این دانش به عنوان رکنی اساسی در توسعه پایدار کشاورزی و امنیت غذایی نقش دارد. ارقام

پُرپتانسیل با افزایش عملکرد و کاهش خطر تولید، درآمد کشاورزان را بالا می‌برند. از این رو، توسعه ارقام جدید متناسب با تنوع اقلیمی ایران ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (Kakaei, 2025).

دستیابی به تنوع ژنتیکی در محصولات زراعی از دو مسیر اصلی امکان پذیر است: نخست، تولید ارقام جدید از طریق برنامه‌های اصلاحی در مؤسسات تحقیقاتی داخلی یا بخش خصوصی و دوم، واردات ارقام اصلاح شده و ثبت شده از منابع خارجی. در هر دو رویکرد، آزمون "تاز" (VCU) یا ارزیابی ارزش زراعی و مصرفی ارقام در شرایط متنوع اقلیمی کشور، شرط اساسی برای تجاری سازی و توسعه کشت آن‌ها محسوب می‌شود. اهمیت این ارزیابی در مورد گیاهانی نظیر نخود که عمدتاً در اراضی دیم کشت می‌شوند، دوچندان است؛ چرا که دیم‌زارها به طور خاص در معرض نوسانات شدید اقلیمی از جمله تنش‌های حرارتی و رطوبتی قرار دارند. از این رو، شناسایی و معرفی ارقامی با عملکرد پایدار و سازگاری اقلیمی بالا، گامی بنیادین در راستای توسعه پایدار کشاورزی دیم در کشور به شمار می‌رود (Darvishi et al., 2022).

۱- مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، کرج، ایران

* - نویسنده مسئول: b.darvishi@spcri.ir

مورد مطالعه در **جدول ۱** ارائه شده است. در این جدول، منطقه‌بندی اقلیمی به‌روش کوپن-گایگر انجام شده است (Raziei, 2017). طرح آزمایش به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با شش رقم نخود و سه تکرار در هر منطقه اجرا گردید. هر بلوک شامل شش کرت بود و هر کرت از پنج ردیف به طول پنج متر تشکیل شده بود، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. رقم جدید نخود (ساکار) به همراه پنج رقم شاهد شامل نصرت، آنا، آتا، سعید و یک توده محلی در کرت‌های مربوطه در هر سه منطقه کشت شدند. عملیات کاشت دیم به‌صورت انتظاری و در اوایل دی ماه سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ انجام گرفت.

در طول دوره رشد گیاه، عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز و مهار آفات انجام گرفت. ثبت داده‌های مربوط به صفات زراعی مهم از جمله ارتفاع بوته، تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف و تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک مطابق با دستورالعمل آزمون ارزش زراعی صورت پذیرفت.

به‌منظور برآورد دقیق عملکرد، نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌همراه دو ردیف حاشیه‌ای حذف گردید و عملکرد نهایی براساس مساحت باقی‌مانده هر کرت ثبت شد. پس از اندازه‌گیری صفات مزرعه‌ای، صفاتی نظیر وزن ۱۰۰ دانه، شاخص جذب آب و شاخص تورم دانه نیز مورد ارزیابی و ثبت قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس ساده و مرکب دو ساله و مقایسه میانگین‌ها به‌روش دانکن براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای هر منطقه به‌صورت جداگانه و همچنین تجزیه واریانس مرکب برای داده‌های دو سال و سه منطقه انجام شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید و آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای بررسی تفاوت میان صفات مورد مطالعه به کار گرفته شد. آمار هواشناسی مناطق مورد مطالعه در ماه‌های دوره رشد از سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در **جداول ۲ و ۳** ارائه شده است.

آزمون تعیین ارزش زراعی و مصرفی (VCU) نقش مهمی در ارزیابی مزیت‌های ژنتیکی مواد گیاهی منتخب برای معرفی و آزادسازی به‌عنوان رقم جدید ایفا می‌کند. این آزمون معمولاً از طریق مقایسه عملکرد و صفات زراعی ارقام منتخب با ارقام تجاری رایج، در شرایط مزرعه، گلخانه یا آزمایشگاه و در اقلیم‌های هدف انجام می‌گیرد (Mendler-Drienyovszki et al., 2024). در آزمون تعیین ارزش زراعی و مصرفی، ارقام جدید در قالب آزمایش‌های تکراردار و در چندین منطقه هدف در کنار ارقام شاهد تجاری، کشت و ارزیابی می‌شوند تا صفات مهم زراعی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در صورتی که اصلاح‌گر در اظهارنامه خود ادعای مقاومت رقم جدید به بیماری‌ها یا تنش‌های محیطی را مطرح کند، لازم است که روش‌های ارزیابی و شرایط آزمون مقاومت یا تحمل به‌طور دقیق توسط اصلاح‌گر تشریح شود (Hamidi et al., 2021).

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ارزش زراعی نخود رقم ساکار به‌عنوان رقم متقاضی تجاری‌سازی در اقلیم‌های مختلف کشت نخود در ایران طراحی شده است. در این مطالعه، عملکرد و سایر صفات زراعی و مورفولوژیک رقم ساکار براساس شاخص‌های مندرج در دستورالعمل آزمون VCU نخود با ارقام ثبت‌شده در فهرست ملی ارقام گیاهی مقایسه شده است تا میزان برتری و سازگاری این رقم در هر یک از اقلیم‌های هدف مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

پس از اجرای عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دیسک‌زنی، تسطیح با لولر و کوددهی براساس نیاز تغذیه‌ای خاک، زمین‌های آزمایشی در سه منطقه شامل ارومیه، نقده و کرج در دو سال زراعی (۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳) به‌صورت یکنواخت آماده‌سازی شدند. مشخصات جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و شرایط اقلیمی مناطق

جدول ۱ - مشخصات جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و شرایط اقلیمی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographical coordinates, altitude above sea level and climatic zoning in studied areas

مناطق مورد مطالعه Studied areas	مختصات جغرافیایی Geographical coordinates	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above sea level (m)	منطقه بندی اقلیمی Climatic zoning
کرج Karaj	35° N 49' 45" 50° E 58' 03"	1312	نیمه‌خشک سرد BSk
ارومیه Urmia	37° N 32' 38" 45° E 03' 53"	1330	مدیترانه‌ای تابستان گرم Csa
نقده Naqadeh	36° N 56' 59" 45° E 22' 59"	1330	مدیترانه‌ای تابستان گرم Csa

جدول ۲- آمار هواشناسی مناطق مورد مطالعه در دوره رشد نخود (دی تا تیر) در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 2- Meteorological statistics of the studied areas in the growth period of chickpea in 2022-2023

ماه Month	بارندگی کرج (میلی متر) Karaj rainfall (mm)	دمای کرج درجه سانتی گراد) Karaj average temperature (°C)	بارندگی ارومیه (میلی متر) Urmia rainfall (mm)	دمای ارومیه درجه سانتی گراد) Urmia average temperature (°C)	بارندگی نقده (میلی متر) Naqadeh rainfall (mm)	دمای نقده (درجه سانتی گراد) Naqadeh average temperature (°C)
دی Jan.	30	3.2	37	-1.5	35	2.0
بهمن Feb.	27	5.3	32	0.5	30	4.3
اسفند Mar.	48	9.4	42	5.3	37	10.1
فروردین Apr.	38	15.3	37	12.5	32	16.4
اردیبهشت May	22	20.8	27	17.3	24	22.4
خرداد Jun.	6	27.3	12	22.8	6	28.2
تیر Jul.	2	33.8	3	26.8	2	32.5

جدول ۳- آمار هواشناسی مناطق مورد مطالعه در دوره رشد نخود (دی تا تیر) در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Table 3- Meteorological statistics of the studied areas in the growth period of chickpea in 2023-2024

ماه Month	بارندگی کرج (میلی متر) Karaj rainfall (mm)	دمای کرج (درجه سانتی گراد) Karaj average temperature (°C)	بارندگی ارومیه (میلی متر) Urmia rainfall (mm)	دمای ارومیه (درجه سانتی گراد) Urmia average temperature (°C)	بارندگی نقده (میلی متر) Naqadeh rainfall (mm)	دمای نقده (درجه سانتی گراد) Naqadeh average temperature (°C)
دی Jan.	26	3.8	33	-2.3	31	1.5
بهمن Feb.	24	5.6	28	0.2	26	3.8
اسفند Mar.	42	9.7	38	5.1	34	9.6
فروردین Apr.	32	15.6	33	12.2	28	15.8
اردیبهشت May	18	21.1	23	17.1	20	21.9
خرداد Jun.	4	27.6	8	22.3	4	27.6
تیر Jul.	1	34.1	1	26.2	1	31.9

فیزیکی-شیمیایی آن به آزمایشگاه خاک شناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

به منظور تعیین نیازهای کودی نخود در مناطق مورد مطالعه، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه انتخاب و با هدف تعیین خصوصیات

جدول ۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک در مناطق مورد مطالعه
Table 4- Physicochemical properties of soil samples in the studied areas

مناطق مورد مطالعه Studied areas	بافت Texture	اسیدیته pH	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)
کرج Karaj	لوم رسی Clay loam	7.40	1.8	0.65	0.06	15.2	310
ارومیه Urmia	لوم رسی Clay loam	7.25	2.0	0.58	0.07	14.1	295
نقده Naqadeh	لوم Loam	7.50	1.6	0.52	0.06	13.8	280

نتایج و بحث

تعداد روز تا گل‌دهی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال، مکان، رقم و اثر متقابل سال × مکان × رقم بر تعداد روز تا گل‌دهی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که دوره گل‌دهی در سال دوم به‌طور معنی‌داری طولانی‌تر از سال نخست بود که احتمالاً ناشی از تفاوت شرایط محیطی از جمله دما و رطوبت خاک در دو سال آزمایش است. از نظر مکانی، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی در نقده و کمترین آن در کرج ثبت شد. این موضوع بیانگر تأثیر اقلیم سردتر نقده بر تأخیر در ورود گیاه به مرحله زایشی است. بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد روز تا گل‌دهی مشاهده شد، به‌طوری که ارقام ساکار، نصرت و آتا دیرگل‌تر و ارقام آنا و توده محلی زودگل‌تر بودند (جدول ۶). اثر متقابل سال × مکان × رقم نیز الگوهای متفاوتی را نشان داد. در کرج، رقم نصرت در سال اول و رقم ساکار در سال دوم بیشترین روز تا گل‌دهی را داشتند. در ارومیه، رقم ساکار در هر دو سال دیرگل‌ترین بود که نشان‌دهنده پایداری نسبی این رقم در شرایط اقلیمی مختلف است. در نقده نیز رقم ساکار در سال اول و رقم آنا در سال دوم بیشترین روز تا گل‌دهی را داشتند (شکل ۱). از نظر فیزیولوژیک، طولانی بودن فاصله جوانه‌زنی تا گل‌دهی سبب افزایش احتمال مواجهه گیاه با تنش خشکی انتهای فصل شده و در نتیجه تعداد غلاف و دانه کاهش می‌یابد (Singh et al., 1990). همچنین گزارش شده است که بین عملکرد دانه و تعداد روز تا گل‌دهی همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد و ژنوتیپ‌های زودگل در شرایط تنش عملکرد بالاتری تولید می‌کنند (Singh & Saxena, 1999). بنابراین، نتایج این پژوهش نیز با یافته‌های پیشین هم‌خوانی دارد و اهمیت انتخاب ژنوتیپ‌های زودگل در مناطق مستعد تنش خشکی را تأیید می‌کند.

طول دوره رسیدگی: نتایج نشان داد که اثر سال، مکان، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر طول دوره رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۵). طول دوره

رسیدگی در سال دوم بیشتر از سال نخست بود که می‌تواند ناشی از شرایط محیطی مساعدتر برای رشد رویشی و تأخیر در ورود به مرحله رسیدگی باشد. از نظر مکانی، کرج کوتاه‌ترین و ارومیه و نقده طولانی‌ترین دوره رسیدگی را داشتند. این تفاوت بیانگر تأثیر اقلیم سردتر ارومیه و نقده بر تأخیر در رسیدگی فیزیولوژیک است. بین ارقام نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. ارقام ساکار، نصرت و آتا دیررس‌تر و ارقام سعید، توده محلی و آنا زودرس‌تر بودند (جدول ۶). اثر متقابل سال × مکان × رقم نشان داد که در کرج تفاوت معنی‌داری بین ارقام در هر دو سال مشاهده نشد که احتمالاً ناشی از شرایط نسبتاً یکنواخت اقلیمی این منطقه است. در ارومیه، رقم آنا در هر دو سال زودرس‌ترین بود. در نقده نیز توده محلی در سال اول و رقم ساکار در سال دوم کوتاه‌ترین دوره رسیدگی را داشتند (شکل ۱). مطالعات پیشین نیز اثر معنی‌دار مکان و رقم بر رسیدگی فیزیولوژیک نخود را گزارش کرده‌اند. درویشی و همکاران (Darvishi et al., 2022) نشان دادند که دانه ارقام نخود در مناطق سرد دیرتر از مناطق معتدل گرم می‌رسند. همچنین صادق‌زاده اهری (Sadeghzadeh Ahari, 2016) بین ارقام از نظر رسیدگی فیزیولوژیک تفاوت معنی‌داری را گزارش کرده و ژنوتیپ‌های زودرس را دارای عملکرد بالاتر معرفی کرده است. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر هم‌راستا است و اهمیت انتخاب ارقام زودرس در مناطق سردسیر را تأیید می‌کند.

ارتفاع بوته: اثر سال، مکان، رقم و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). ارتفاع بوته در سال دوم بیشتر از سال نخست بود که احتمالاً ناشی از شرایط محیطی مساعدتر برای رشد رویشی است. از نظر مکانی، بیشترین ارتفاع بوته در کرج و کمترین در نقده ثبت شد. این موضوع نشان می‌دهد که اقلیم معتدل گرم کرج شرایط بهتری برای رشد رویشی نخود فراهم می‌کند. بین ارقام نیز از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. ارقام آنا و سعید بلندترین و توده محلی کوتاه‌ترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۶). مطالعه خان و همکاران (Khan et al., 2024) نشان داد که تفاوت‌های محیطی و

غلاف و ارقام توده محلی و ساکار کمترین مقدار را تولید کردند (جدول ۶).

بررسی اثر متقابل سال × رقم نشان داد که در سال نخست، ارقام نصرت و آنا به طور معنی داری بیشترین تعداد غلاف را داشتند، در حالی که در سال دوم تنها رقم نصرت بیشترین مقدار را نشان داد. در هر دو سال، توده محلی کمترین تعداد غلاف را تولید کرد (شکل ۲). اثر متقابل مکان × رقم نیز بیانگر آن بود که در منطقه کرج، رقم نصرت و در منطقه ارومیه، ارقام سعید و ساکار بیشترین تعداد غلاف را داشتند. در مقابل در منطقه نقده تفاوت معنی داری بین ارقام مشاهده نشد (شکل ۲).

تعداد دانه در غلاف: در بین عامل‌های مورد بررسی، تنها رقم اثر معنی داری بر تعداد بذر در غلاف داشت. علاوه بر این، این صفت تحت تأثیر اثر متقابل مکان × رقم نیز قرار گرفت (جدول ۵). براساس مقایسه میانگین‌ها، ارقام نصرت و ساکار بیشترین و رقم توده محلی کمترین تعداد بذر در غلاف را داشتند (جدول ۶). در منطقه کرج، تفاوت معنی داری بین ارقام مشاهده نشد. در منطقه ارومیه، رقم نصرت بیشترین و ارقام آنا و توده محلی کمترین تعداد بذر در غلاف را تولید کردند. در منطقه نقده نیز رقم ساکار بیشترین و ارقام سعید و توده محلی کمترین مقدار را داشتند (شکل ۲).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که در حبوبات، صفات مرتبط با عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف به شدت تحت تأثیر ژنوتیپ، شرایط محیطی و اثرات متقابل آن‌ها قرار دارند. زیباری (Zibari, 2024) گزارش کرد که در باقلا (*Vicia faba* L.) ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی نسبت به محیط‌های مختلف نشان می‌دهند و این موضوع باعث تغییر معنی دار تعداد غلاف و بذر می‌شود. به طور مشابه، سِکولوویچ و همکاران (Sokolović et al., 2025) در یک مجموعه بزرگ ژرم پلاسما باقلا در اروپا نشان دادند که پایداری صفات و عملکرد ژنوتیپ‌ها به شدت به برهم کنش ژنوتیپ × محیط وابسته است. نتایج آن‌ها تأکید می‌کند که برخی ژنوتیپ‌ها تنها در محیط‌های خاص عملکرد برتر دارند. همچنین پارکینا و همکاران (Parkina et al., 2025) در مطالعه‌ای روی لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان دادند که تغییرات مکانی و اقلیمی می‌تواند موجب نوسان قابل توجه در تعداد غلاف و سایر صفات زایشی شد. در مجموع، این پژوهش‌ها اهمیت ارزیابی ژنوتیپ‌ها در چند محیط و چند سال را برای شناسایی ارقام پایدار و پرمحصول برجسته می‌کنند.

مکانی اثر معنی داری بر صفات رشدی و عملکرد نخود دارند و ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی نسبت به شرایط اقلیمی مختلف نشان می‌دهند. همچنین مشخص شد که در مناطق گرم‌تر، رشد رویشی و ارتفاع بوته افزایش می‌یابد و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نقش مهمی در تعیین عملکرد و صفات مورفولوژیک دارد. اثر متقابل سال × مکان × رقم نشان داد که در کرج، ارقام سعید، آنا و نصرت در هر دو سال بلندتر از سایر ارقام بودند. در ارومیه و نقده، توده محلی در سال اول کوتاه‌ترین بود و در سال دوم تفاوت معنی داری بین ارقام مشاهده نشد (شکل ۱). مطالعات قبلی نیز تأثیر رقم بر ارتفاع بوته را تأیید کرده‌اند. مندنی و جلیلیان (Mandani & Jalilian, 2019) و عطایی سماق و همکاران (Ataei Samagh et al., 2017) گزارش کردند که ارقام اصلاح شده معمولاً ارتفاع بیشتری نسبت به توده‌های محلی دارند. این موضوع نشان دهنده نقش برنامه‌های اصلاحی در بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک نخود است.

ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین: اثر سال، مکان، رقم و اثر متقابل سال × مکان × رقم بر ارتفاع اولین غلاف معنی دار بود (جدول ۵). بیشترین ارتفاع اولین غلاف در کرج و کمترین ارتفاع در نقده ثبت شد. این الگو مشابه تغییرات ارتفاع بوته است و نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی معتدل گرم کرج موجب افزایش ارتفاع بوته و در نتیجه افزایش ارتفاع اولین غلاف می‌شود. بین ارقام، ساکار بیشترین و توده محلی کمترین ارتفاع اولین غلاف را داشتند (جدول ۶). ارتفاع بالاتر اولین غلاف در رقم ساکار یک مزیت مهم برای برداشت مکانیزه محسوب می‌شود. براساس گزارش گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2015)، ارتفاع اولین غلاف باید بیش از ۳۰ سانتی‌متر باشد تا برداشت مکانیزه به طور مطلوب انجام شود.

با توجه به شرایط اقلیمی ایران از جمله بارندگی کم، توزیع نامناسب بارش و تنش‌های محیطی مانند سرمای زمستان و گرمای زودرس تابستان، حتی ارقام اصلاح شده نیز معمولاً به حداکثر پتانسیل ژنتیکی خود نمی‌رسند (Darvishi et al., 2022). در این پژوهش نیز ارتفاع بوته ارقام اصلاح شده بین ۱۷/۷ تا ۲۰/۵ سانتی‌متر متغیر بود که کمتر از حد مطلوب برای برداشت مکانیزه است.

تعداد غلاف در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل‌های مکان و رقم، همچنین اثرات متقابل سال × رقم و مکان × رقم بر تعداد غلاف در بوته اثر معنی دار داشتند (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها در سطوح مختلف عامل‌های مکان و رقم (جدول ۶) نشان داد که تعداد غلاف در بوته در منطقه کرج به طور معنی داری بیشتر از مناطق ارومیه و نقده بود. در بین ارقام، رقم نصرت بیشترین تعداد

جدول ۵- خلاصه جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ارقام نخود
Table 5- Summary of variance analysis of studied traits in chickpea cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد روز تا گل‌دهی Days to flowering	طول دوره رسیدگی Maturity period	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین غلاف First pod height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد بذر در غلاف Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight
سال: Year (Y)	1	207.42 **	608.04 **	252.02 **	0.76 ^{ns}	4.44 **	14.15 ^{ns}	0.033 ^{ns}	4.35 ^{ns}
مکان: Location (L)	2	508.33 **	1565.94 **	784.29 **	187.76 **	1.36 ^{ns}	3465.71 **	0.005 ^{ns}	14.34 *
سال × مکان: Y × L	2	73.71 **	10.33 **	247.84 **	0.4 ^{ns}	4.19 **	12.35 ^{ns}	0.011 ^{ns}	2.58 ^{ns}
بلوک (سال × مکان): Block (Y × L)	6	0	8.68	7.03	2.66	1.01	32.4	0.0086	3.61
رقم: Cultivar (C)	5	17.68 **	15.8 **	400.23 **	132.13 **	23.45 **	1396.21 **	0.049 *	77.24 **
سال × رقم: Y × C	5	8.55 **	9.83 **	37.37 **	12.2 **	5.72 **	207.21 **	0.016 ^{ns}	73.77 **
مکان × رقم: C × L	10	72.18 **	69.04 **	51.65 **	26.84 **	9.12 **	1791.87 **	0.052 *	49.83 **
سال × مکان × رقم: C × L × Y	10	11.65 **	18.23 **	22.67 **	12.96 **	3.33 **	155.23 ^{ns}	0.007 ^{ns}	70.47 **
اشتباه آزمایشی: Error	66	0.02	2.04	4.51	0.96	0.54	11.69	0.020	3.25
ضریب تغییرات: CV (%)	-	0.92	0.75	4.93	5.34	11.94	7.61	13.03	5.06

ادامه جدول شماره ۵- خلاصه جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در ارقام نخود
Continuation of Table 5- Summary of variance analysis of studied traits in chickpea cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	شاخص جذب آب Water absorption index	حجم خشک Dry volume	حجم مرطوب Wet volume	شاخص متورم شدن Swelling index	زمان پخت Cooking time
سال: Year (Y)	1	18455.64 ^{ns}	0.00099 ^{ns}	2.67 ^{ns}	1.11 ^{ns}	0.011 ^{ns}	16.29 **
مکان: Location (L)	2	1479949.33 **	0.0015 ^{ns}	46.65 **	192.06 **	0.049 *	0.194 ^{ns}
سال × مکان: Y × L	2	9185.36 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	5.58 ^{ns}	2.95 ^{ns}	0.020 ^{ns}	0.623 ^{ns}
بلوک (سال × مکان): Block (Y × L)	6	7955.44	0.0004	2.8	2.08	0.046	2.45
رقم: Cultivar (C)	5	933087.04 **	0.077 **	360.99 **	2669.4 **	0.33 **	489.6 **
سال × رقم: Y × C	5	200345.34 **	0.0062 ^{ns}	5.39 ^{ns}	9.36 ^{ns}	0.0099 ^{ns}	0.64 ^{ns}
مکان × رقم: C × L	10	918051.37 **	0.0027 ^{ns}	22.33 **	142.11 **	0.0063 ^{ns}	1.31 ^{ns}
سال × مکان × رقم: C × L × Y	10	131684.13 **	0.0032 ^{ns}	3.69 ^{ns}	11.51 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.28 ^{ns}
اشتباه آزمایشی: Error	66	13495.25	0.0067	4.61	14.22	0.014	1.87
ضریب تغییرات: CV (%)	-	14.61	7.08	2.76	2.3	5.2	3.62

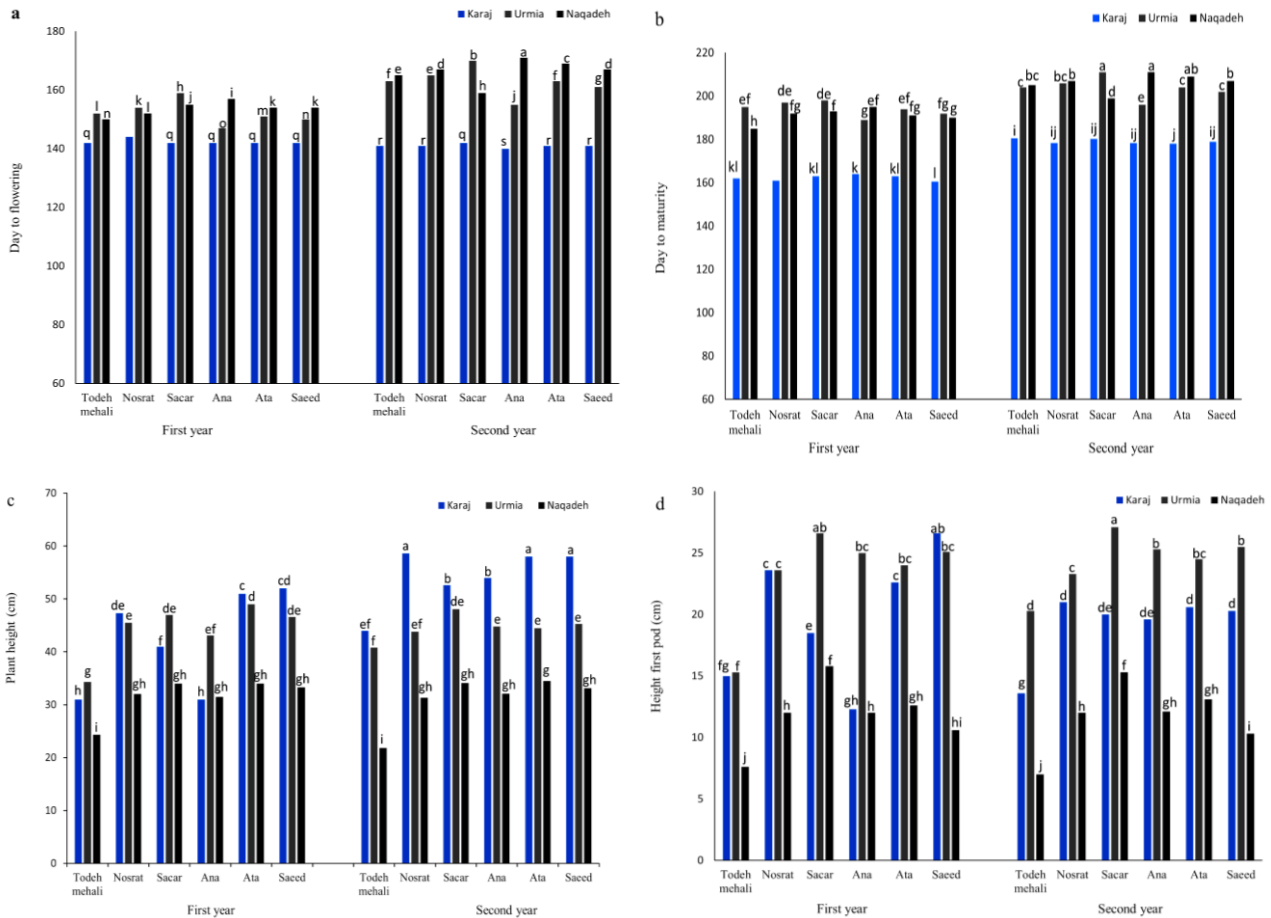
ns، * و **: به ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: no significant difference and significant difference at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات نخود در سطوح عامل‌های مورد مطالعه
Table 6- Mean comparison of chickpea traits in the levels of studied factors

عامل‌های Studied factors	سطح Level	میانگین صفات مورد مطالعه Average of studied traits													
		تعداد روز تا گل‌دهی (روز) Days to flowering (day)	رسیدگی دوره Maturity period (day)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	ارتفاع اولین غلاف (سانتی‌متر) First pod height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد بذر در غلاف Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص جذب آب (درصد) Water absorption index (%)	حجم خشک (میلی‌لیتر) Dry volume (ml)	حجم مرطوب (میلی‌لیتر) Wet volume (ml)	شاخص متورم شدن (درصد) Swelling index (%)	زمان پخت (دقیقه) Cooking time (min)
سال Year	اول First	149.3 b*	182.4 b	39.4 b	18.3 a	6.35 a	43.8 b	1.06 b	35.29 a	737.9 b	1.158 a	77.6 a	163.1 b	2.27 a	38.2 a
	دوم Second	156.7 a	196.4 a	46.6 a	18.41 a	6 b	45.9 a	1.13 a	35.89 a	851.2 a	1.157 a	77.8 a	164.6 a	2.31 a	37.3 b
مکان Location	کرج Karaj	141.6 c	170.6 b	53.3 a	23.8 a	5.5 c	65.7 a	1.11 a	35.8 a	1348.1 a	1.163 a	78.1 b	164.1 b	2.28 a	38.3 a
	ارومیه Urmia	157.5 b	199 a	44.4 b	19.5 b	6.08 b	51.1 b	1.09 a	36.6 a	667.5 b	1.174 a	80.4 a	169.9 a	2.29 a	37.6 b
رقم Cultivar	نخده Naqadeh	160 a	198.6 a	31.3 c	11.7 c	6.94 a	17.8 c	1.1 a	34.2 b	368 c	1.136 a	74.6 c	157.5 c	2.32 a	37.5 b
	توده محلی Todeh mehali	152.1 e	188.6 c	34.3 d	13.1 d	4.05 d	33.2 f	1.03 b	32.8 c	450.8 e	1.04 d	69.9 d	140.8 d	2.06 c	47.3 a
رقم Cultivar	نصرت Nosrat	153.8 b	190.2 a	44.7 b	19.2 b	6.77 ab	58.1 a	1.16 a	35.1 b	1109.3 a	1.23 a	79.8 b	168.6 b	2.30 b	35.2 d
	ساکار Sakar	154.4 a	190.7 a	44.5 b	20.5 a	7.05 a	39.4 e	1.15 a	37 a	718.2 d	1.19 ab	83 a	177 a	2.32 b	38.1 c
رقم Cultivar	آنا Ana	152 f	188.8 bc	41.1 c	17.7 c	6.38 b	50.8 b	1.07 ab	37 a	945.4 b	1.16 bc	79.9 b	167.7 b	2.26 b	33.4 e
	آتا Ata	153.3 c	189.8 ab	47 a	19.6 b	7 a	41.8 d	1.12 ab	33.6 c	693.5 d	1.17 bc	77.5 c	164.5 c	2.34 b	33.7 e
رقم Cultivar	سعد Saeed	152.5 d	188.4 c	46.4 a	19.7 b	5.77 c	45.9 c	1.07 ab	37.9 a	850.3 c	1.12 c	76.2 c	164.6 c	2.48 a	39.1 d

* حروف مشترک در سطوح هر عامل مورد مطالعه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.
* Common letters at the levels of each studied factor indicate the absence of significant differences.



شکل ۱- مقایسه میانگین روز تا گل‌دهی (a)، روز تا رسیدگی (b)، ارتفاع بوته (c) و ارتفاع اولین غلاف (d) نخود در سطوح اثر متقابل سال × مکان × رقم

Figure 1- Comparison of the mean days to flowering (a), days to maturity (b), plant height (c), and first pod height (d) of chickpea across the levels of the year × location × cultivar interaction

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است

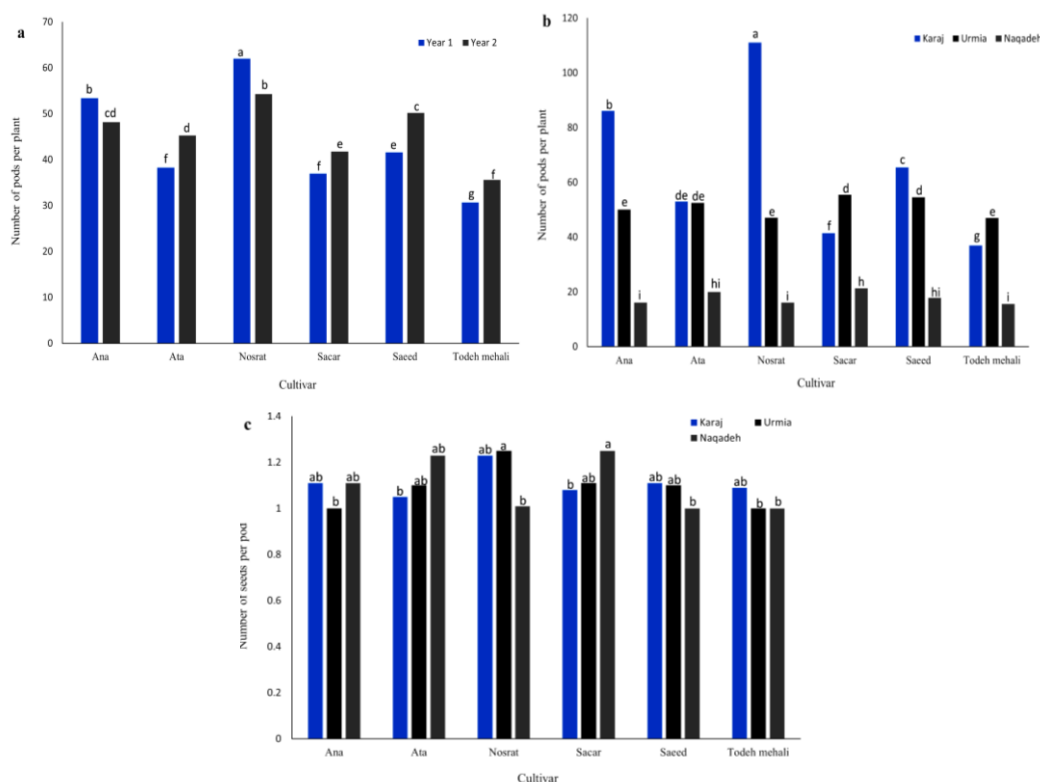
Common letters in the columns indicate nonsignificant differences at the 5% probability level

مقدار در منطقه نقده و در ارقام ساکار، آتا و سعید مشاهده شد (شکل ۳).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که صفات رویشی مانند تعداد شاخه جانبی در حبوبات به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی قرار دارند. پارکینا و همکاران (Parkina et al., 2025) گزارش کردند که تغییرات سالانه و مکانی می‌تواند موجب نوسان معنی‌دار در شاخه‌دهی و سایر صفات مورفولوژیک شود و ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. یافته‌های زیبایی (Zibari, 2024) نیز تأیید می‌کند که در مناطق سردتر، گیاهان معمولاً ارتفاع کمتری داشته و تعداد شاخه جانبی بیشتری تولید می‌کنند که این الگو با نتایج حاضر هم‌خوانی دارد. این شواهد نشان می‌دهد که انتخاب رقم مناسب برای هر منطقه و سال زراعی نقش کلیدی در بهبود صفات رویشی و عملکرد دارد.

تعداد شاخه فرعی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل‌های سال، مکان و رقم و همچنین اثر متقابل سال × مکان × رقم بر تعداد شاخه فرعی اثر معنی‌دار داشتند (جدول ۵). براساس مقایسه میانگین‌ها (جدول ۶)، تعداد شاخه جانبی در سال دوم به‌طور معنی‌داری کمتر از سال نخست بود. از نظر مکانی، منطقه نقده بیشترین و منطقه کرج کمترین تعداد شاخه فرعی را داشت. به‌طور کلی، در مناطق سردسیرتر (ارومیه و نقده) ارتفاع بوته کمتر و تعداد شاخه جانبی بیشتر بود.

در بین ارقام، ارقام آتا، ساکار و نصرت بیشترین و توده محلی کمترین تعداد شاخه جانبی را تولید کردند. بررسی اثر متقابل سال × مکان × رقم نیز نشان داد که در سال نخست، ارقام نصرت و آتا در کرج بیشترین تعداد شاخه جانبی را داشتند؛ اما در سال دوم، بیشترین



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته در سطوح اثر متقابل سال × رقم (a)، مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته در سطوح اثر متقابل مکان × رقم (b) و مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف نخود در سطوح اثر متقابل مکان × رقم (c)

Figure 2- Comparison of the mean number of pods per plant across the levels of the year × cultivar interaction (a), comparison of the mean number of pods per plant across the levels of the location × cultivar interaction (b), and comparison of the mean number of seeds per pod of chickpea across the levels of the location × cultivar interaction (c)

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است

Common letters in the columns indicate nonsignificant differences at the 5% probability level

انتخاب براساس این صفات می‌تواند به به‌نژادی ارقام پربازده منجر شود.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که عامل‌های مکان و رقم بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشتند و این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سال × مکان × رقم نیز قرار گرفت (جدول ۵). عملکرد دانه در منطقه کرج به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارومیه و نقده بود، درحالی‌که منطقه نقده کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد. در بین ارقام، رقم نصرت بیشترین و توده محلی کمترین عملکرد دانه را تولید کردند (جدول ۶). بررسی اثر متقابل سال × مکان × رقم نشان داد که در هر دو سال آزمون، ارقام نصرت، آنا و سعید در منطقه کرج به‌طور معنی‌داری عملکرد بالاتری نسبت به سایر ارقام در سایر مناطق داشتند (شکل ۳).

براساس گزارش‌های پیشین، مکان کشت، ژنوتیپ، شرایط اقلیمی و تاریخ کاشت از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد نخود هستند و می‌توانند عملکرد دانه را بین ۳۰ تا ۶۰ درصد تحت تأثیر قرار دهند (Edalat et al., 2015). همچنین عملکرد دانه در نخود یک

وزن ۱۰۰ دانه: نتایج نشان داد که عامل‌های مکان و رقم بر وزن ۱۰۰ دانه اثر معنی‌داری داشتند و این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سال × مکان × رقم نیز قرار گرفت (جدول ۵). وزن ۱۰۰ دانه در منطقه نقده به‌طور معنی‌داری کمتر از دو منطقه دیگر بود. در بین ارقام، ارقام سعید، آنا و ساکار بیشترین و ارقام آنا و توده محلی کمترین وزن ۱۰۰ دانه را داشتند (جدول ۶). در سال نخست و در منطقه کرج، رقم سعید به‌طور معنی‌داری بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را تولید کرد، اما در سال دوم در همین منطقه تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. همچنین در مناطق ارومیه و نقده، در هر دو سال، تفاوت معنی‌داری بین ارقام از نظر وزن ۱۰۰ دانه وجود نداشت (شکل ۳).

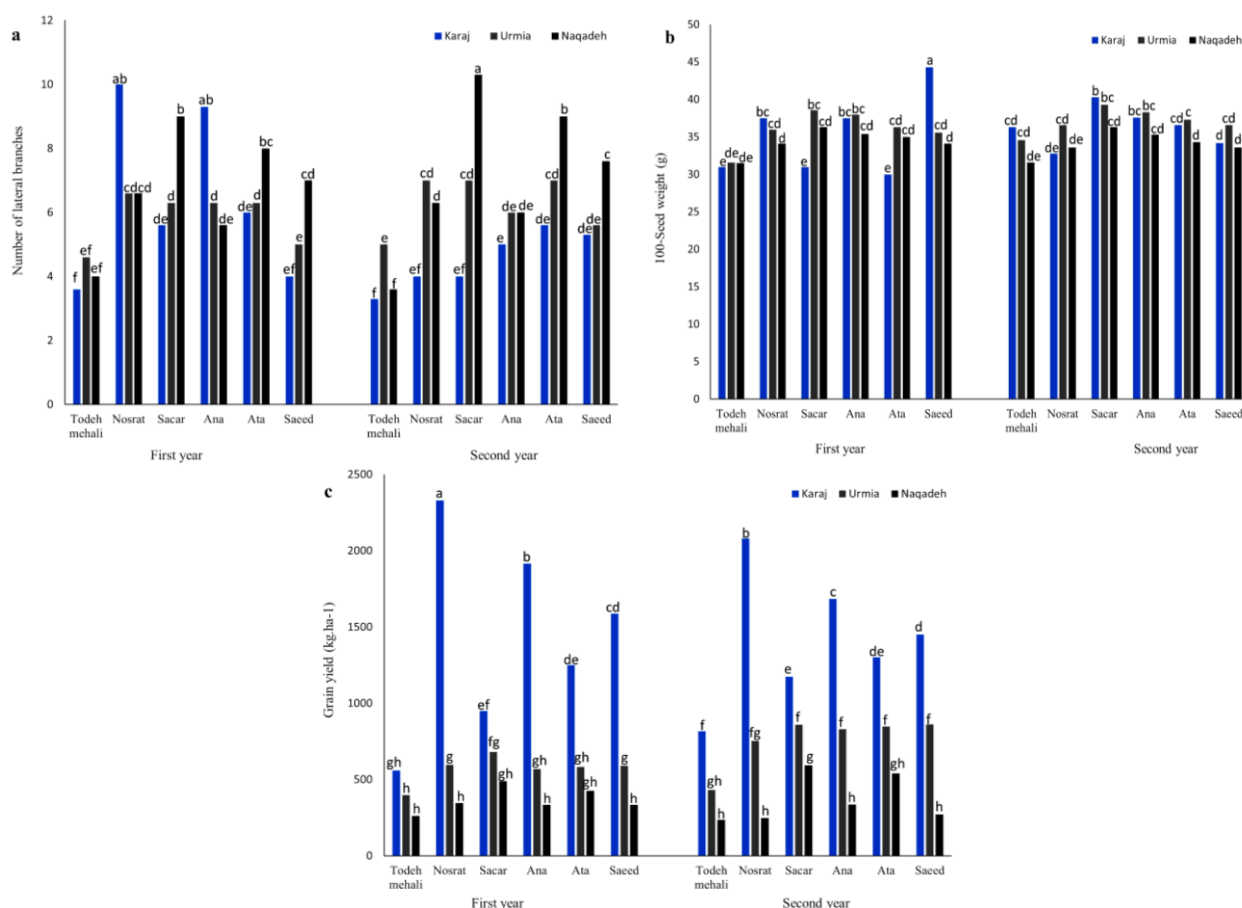
براساس مطالعات پیشین، صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه از اجزای اصلی عملکرد نخود محسوب می‌شوند (Ozdemir, 1996). همچنین ساران و همکاران (Saran et al., 2023) گزارش کردند که وزن ۱۰۰ دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه دارند و

(al., 2020) مشخص شد که ویژگی‌هایی مانند وزن تر دانه و ظرفیت جذب آب در لوبیا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مکان و اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط قرار می‌گیرند و ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. یافته‌های مانجوناتا و همکاران (Manjunatha et al., 2023) نیز تأیید می‌کند که صفات مرتبط با وزن دانه در حبوبات از جمله وزن تر و خشک، در شرایط اقلیمی متفاوت دچار نوسان شده و تفاوت بین ارقام از نظر این صفات معنی‌دار است. این مطالعات نشان می‌دهند که برخی ژنوتیپ‌ها در مناطق خاص عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند، درحالی‌که در محیط‌های دیگر کاهش وزن دانه مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، نتایج بسیاری از پژوهش‌ها هم‌راستا با یافته‌های حاضر هستند و اهمیت انتخاب رقم مناسب برای هر منطقه را در بهبود کیفیت دانه و ویژگی‌های فیزیکی آن برجسته می‌کند.

صفت کمی است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد (Ceyhan & Avci, 2005). بنابراین، همان‌گونه که در این پژوهش نیز مشاهده شد، ژنوتیپ‌ها ممکن است در شرایط اقلیمی و مکانی متفاوت، رفتارهای عملکردی متفاوتی از خود نشان دهند.

شاخص جذب آب: در بین عامل‌های مورد مطالعه فقط عامل رقم تأثیر معنی‌داری بر صفت شاخص جذب آب داشت (جدول ۵). این صفت در ارقام نصرت و ساکار به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر ارقام مورد مطالعه و در توده محلی به‌طور معنی‌داری کمتر از ارقام دیگر بود (جدول ۶).

نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که صفات مرتبط با کیفیت دانه از جمله وزن تر دانه و شاخص جذب آب به‌شدت تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام و همچنین شرایط محیطی قرار دارند. در مطالعه کاتورامو و همکاران (Katuuramu et



شکل ۳- مقایسه میانگین تعداد شاخه جانبی (a)، وزن ۱۰۰ دانه (b) و عملکرد دانه (c) نخود در سطوح اثر متقابل سال × مکان × رقم
Figure 3- Comparison of the mean number of lateral branches (a), hundred-seed weight (b) and grain yield (c) of chickpea across the levels of the year × location × cultivar interaction

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است
Common letters in the columns indicate nonsignificant differences at the 5% probability level

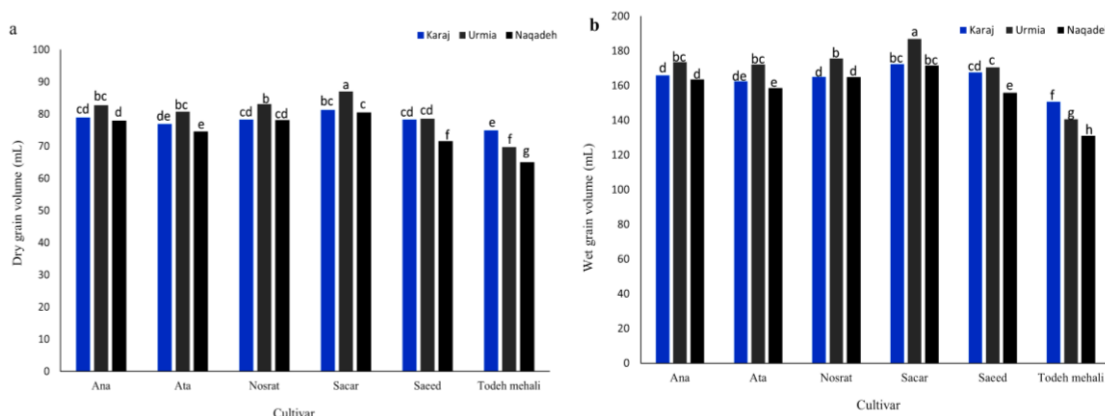
مکان و رقم برتر بود. همچنین در هر سه منطقه مورد بررسی، توده محلی کمترین حجم مرطوب دانه را به خود اختصاص داد (شکل ۴).
شاخص تورم دانه: در بین عامل‌های مورد مطالعه، عامل‌های مکان و رقم تأثیر معنی‌داری بر صفت شاخص تورم دانه داشتند (جدول ۵). شاخص تورم دانه در رقم سعید به‌طور معنی‌داری بیشتر و در توده محلی به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر ارقام مورد مطالعه بود و سایر ارقام شامل ارقام نصرت، ساکار، آنا و آتا در گروه آماری حد واسط قرار گرفتند (جدول ۶).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی دانه از جمله حجم خشک، حجم مرطوب و شاخص تورم دانه به‌شدت تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام و همچنین شرایط محیطی قرار دارند. مطالعات سری‌واستاوا و همکاران (Srivastava et al., 2023) نشان داد که صفاتی مانند حجم دانه قبل و بعد از خیساندن و شاخص تورم دانه از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های مرتبط با کیفیت دانه هستند و بین ژنوتیپ‌ها از این نظر تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود. همچنین خطاک و همکاران (Khattak et al., 2006) گزارش کردند که ظرفیت تورم و تغییرات حجم دانه پس از جذب آب تحت تأثیر مستقیم ساختار ژنتیکی دانه و شرایط محیطی قرار دارد و برخی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های خاص عملکرد بهتری نشان می‌دهند. این یافته‌ها با نتایج حاضر هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که رقم ساکار به‌دلیل ویژگی‌های فیزیکی مطلوب دانه در مناطق با شرایط مناسب مانند ارومیه حجم خشک و مرطوب بیشتری تولید می‌کند، درحالی‌که توده محلی در همه مناطق کمترین مقدار را دارد. در مجموع، این شواهد اهمیت انتخاب رقم مناسب برای هر منطقه در بهبود کیفیت فیزیکی دانه را برجسته می‌کند.

حجم خشک دانه: بررسی عوامل مورد مطالعه نشان داد که عامل‌های مکان و رقم اثر معنی‌داری بر حجم خشک دانه دارند. علاوه بر این، اثر متقابل مکان $\times$ رقم نیز به‌طور معنی‌داری بر این صفت تأثیرگذار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حجم خشک دانه در منطقه ارومیه به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق کرج و نقده بوده و منطقه نقده کمترین مقدار این صفت را در بین سه منطقه مورد بررسی داشت. از نظر عملکرد ارقام، رقم منتخب ساکار بیشترین و توده محلی کمترین حجم خشک دانه را تولید کردند (جدول ۶).

بررسی اثر متقابل مکان $\times$ رقم نشان داد که بیشترین حجم خشک دانه مربوط به رقم ساکار در منطقه ارومیه بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر ترکیب‌های مکان و رقم برتر بود. همچنین در مناطق نقده و ارومیه، توده محلی کمترین حجم خشک دانه را داشت، درحالی‌که در منطقه کرج تفاوت معنی‌داری میان ارقام مشاهده نشد (شکل ۴).

حجم مرطوب دانه: نتایج نشان داد که عامل‌های مکان و رقم اثر معنی‌داری بر حجم مرطوب دانه دارند. علاوه بر این، اثر متقابل مکان $\times$ رقم نیز به‌طور معنی‌داری این صفت را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۵). بررسی میانگین‌ها نشان داد که حجم مرطوب دانه در منطقه ارومیه به‌طور معنی‌داری بیشتر از مناطق کرج و نقده بوده و منطقه نقده کمترین مقدار این صفت را در بین مناطق مورد مطالعه داشت. از نظر عملکرد ارقام، رقم منتخب ساکار بیشترین و توده محلی کمترین حجم مرطوب دانه را تولید کردند (جدول ۶). تحلیل اثر متقابل مکان $\times$ رقم نشان داد که بیشترین حجم مرطوب دانه مربوط به رقم ساکار در منطقه ارومیه بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر ترکیب‌های



شکل ۴- مقایسه میانگین حجم خشک دانه (a) و حجم مرطوب دانه (b) نخود در سطوح اثر متقابل مکان $\times$ رقم
 Figure 4- Comparison of the mean dry seed volume (a) and wet seed volume (b) of chickpea across the levels of the location $\times$ cultivar interaction

حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است
 Common letters in the columns indicate nonsignificant differences at the 5% probability level

بیشترین تعداد دانه در غلاف را تولید کرد و در گروه ارقام دانه‌درشت قرار گرفت؛ به‌طوری که وزن ۱۰۰ دانه در رقم ساکار مشابه ارقام آنا و سعید در بالاترین سطح قرار داشت. ساکار همچنین یکی از بالاترین مقادیر شاخص جذب آب را نشان داد. حجم خشک دانه در این رقم نیز بیشترین مقدار را در میان ارقام مورد مطالعه داشت. از نظر شاخص تورم دانه و زمان پخت، ساکار در گروه ارقام حدواسط طبقه‌بندی شد. به‌طور کلی، رقم منتخب ساکار با برخورداری از ارتفاع مناسب اولین غلاف، دانه‌های نسبتاً درشت و مناسب بودن برای تهیه نخود آجیلی می‌تواند علی‌رغم عملکرد کمتر، محصول ارزشمندتری را تولید نموده و به‌عنوان یک ژرم‌پلاسما کارآمد در برنامه‌های به‌نژادی و نیز در تولید حبوبات در مناطق مشابه با شرایط این آزمایش مورد استفاده قرار گیرد.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال به شماره مصوب ۱۱۲۲۱-۰۵-۰۸-۰۸-۰۴ مورخ ۱۴۰۴/۰۷/۲۶ می‌باشد که بدین‌وسیله از مؤسسه مذکور تشکر و قدردانی می‌شود.

زمان پخت: صفت زمان پخت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عامل‌های سال و رقم قرار گرفت (جدول ۵). زمان پخت دانه در سال نخست آزمون به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال دوم بود (جدول ۶). در بین ارقام مورد مطالعه، زمان پخت دانه ارقام آنا و آتا به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر ارقام بود و به بیان دیگر این ارقام زودپخت‌ترین دانه را داشتند، درحالی که دیرپخت‌ترین دانه مربوط به توده محلی بود. رقم منتخب ساکار از نظر زمان پخت دانه در گروه میانی قرار گرفت (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که رقم منتخب ساکار در مقایسه با سایر ارقام مورد بررسی دیرگل‌تر بوده و با میانگین ۱۵۴/۴ روز تا گل‌دهی، به‌طور معنی‌داری دیرتر وارد مرحله زایشی شد. این رقم همچنین همراه با ارقام نصرت و آتا طولانی‌ترین دوره رسیدگی را داشت و در گروه ارقام دیررس قرار گرفت. ارتفاع اولین غلاف در ساکار به‌طور قابل توجهی بیشتر از سایر ارقام بود که این ویژگی می‌تواند برداشت مکانیزه را تسهیل کند. از نظر شاخه‌دهی نیز ساکار در کنار ارقام آتا و نصرت در گروه ارقام پُرشاخه قرار گرفت. اگرچه تعداد غلاف در بوته در رقم ساکار کمتر از میانگین سایر ارقام اصلاح‌شده بود، اما این رقم

References

- Ataei Samagh, H., Habibi, H., & Fotoukian, M. H. (2017). Effect of irrigation interval and surfactant application on some morphological and yield traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 10(1), 31–44. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.529>
- Basiri, S. (2024). A review of the consumption value of legumes in the human diet for ensuring food security. *Extension Journal of Legume Agriculture, Kurdistan Agricultural Research Center*, 5(1), 1–8. (In Persian).
- Ceyhan, E., & Avci, M. A. (2005). Combining ability and heterosis for grain yield and some yield components in pea (*Pisum sativum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8, 1447–1452. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2005.1447.1452>
- Darvishi, B., Eshghi, M., Bahrami, S., Nasiri, H., Azad, R., Khandan, A., Bakhtar, R., & Norouzi, A. (2022). Determining the agronomic value of imported chickpea cultivars compared to Iranian cultivars. *Journal of Crops Improvement*, 24(2), 337–352. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.319116.2517>
- Edalat, M., Dadkhodaie, A., & Naderi Kharraji, R. (2015). The interrelationships of chickpea (*Cicer arietinum* L.) kernel yield and its components under rainfed conditions. *Iran Agricultural Research*, 34(1), 56–62. (In Persian). <https://doi.org/10.22099/iar.2015.3065>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). Crops production report. Retrieved from <http://faostat.fao.org>
- Gupta, M., Manpreet, K., Inderjit, S., Sarvejit, S., & Gaur, P. M. (2015). Developing chickpea cultivars suitable for mechanical harvesting. Department of Plant Breeding and Genetics, Punjab Agricultural University, Ludhiana, and International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Hyderabad.
- Hamidi, A., Baniyani, A., Vafaei-Tabar, M. R., Arab-Salmani, M., Burbur, S., Karimi, F., Mohammadi, S., & Mohajer Abbasi, A. (2021). Evaluation of some genotypes and new cotton cultivars for determining Value for Cultivation and Use (VCU) in Varamin. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, University of Tehran*, 23(2), 361–375. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.80666>
- Kakaei, M. (2025). Evaluation of drought tolerance indices of chickpea cultivars in different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 35(4), 209–221. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2024.58603.3122>

- Katuuramu, D. N., Luyima, G. B., Nkalubo, S. T., Wiesinger, J. A., Kelly, J. D., & Cichy, K. A. (2020). On-farm multi-location evaluation of genotype by environment interactions for seed yield and cooking time in common bean. *Scientific Reports*, 10, Article 60087. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60087-2>
- Khan, A. M., Ali, Z., Mohsin, A. U., Soomro, A. A., Hussain, K., Rafiq, M., Hussain, N., Ahmad, Q., Ahmed, I., Khan, M. I., Shaikh, M. N., Matloob, A., Akram, Z., Shabbir, G., Hassan, M. U., Waqas, M. U., Hussain, I., Rani, S., Malik, S. R., Rehman, A. u., Ramsay, G., & Blanchard, C. (2024). Genotype $\times$ environment interactions analysis for chickpea grain yield and related traits by a mixed model approach. *Discover Agriculture*, 2, Article 90. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00110-6>
- Khattak, A. B., Khattak, G. S. S., Mahmood, Z., Bibi, N., & Ihsanullah. (2006). Study of selected quality and agronomic characteristics and their interrelationship in Kabuli-type chickpea genotypes. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(S2), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01193.x>
- Mafakheri, K., Fatehi, F., Habibzadeh, M. J., & Ahmadi, S. (2015). Plant Breeding: Specialized courses for M.Sc. level, prepared for Ph.D. entrance exam (Advanced and molecular genetics, advanced plant breeding, plant biotechnology, biometrics, genetics). Dibagaran Tehran Cultural and Artistic Institute. (In Persian).
- Mandani, F., & Jalilian, A. (2019). Evaluation of the interaction between sowing date and cultivar on various traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Kermanshah climatic conditions. *Plant Production Technology*, 19(1), 37–51. (In Persian).
- Manjunatha, P. B., Aski, M. S., Mishra, G. P., Gupta, S., Devate, N. B., Singh, A., Bansal, R., Kumar, S., Nair, R. M., & Dikshit, H. K. (2023). Genome-wide association studies for phenological and agronomic traits in mungbean. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1209288. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1209288>
- Mendler-Drienyovszki, N., Magyar-Tábori, K., Mancinelli, R., Black, L., Brown, H., Allam, M., Udupa, S. M., Atait, M., Novarina, E., Bardelli, T., Hansen, P. K., Cottney, P., & Giulini, A. (2024). Assessing the opportunities and risks of DUS and VCU variety testing for sustainable production through SWOT analysis. *Agriculture*, 14(10), 1817. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101817>
- Ozdemir, S. (1996). Path coefficient analysis for yield and its components in chickpea. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 3, 9–21.
- Parkina, O. V., Nguyen, N. T., Yakubenko, O. E., & Wang, Z. F. (2025). Study of gene–environment interactions and ecological stability for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Reviews*, 46(5), 828–832. <https://doi.org/10.18805/ag.RF-324>
- Raziei, T. (2017). Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43, 419–439. <https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2017.58916>
- Sadeghzadeh Ahari, D. (2016). Effect of seed size on yield, agronomic traits, and drought tolerance in chickpea. *Journal of Crops Improvement*, 19(1), 69–85. (In Persian).
- Saran, P., Singh, R., & Kumar, A. (2023). Correlation and path coefficient analysis for seed yield and its attributing traits in blackgram. *Legume Research*, 46(4), 417–420. <https://doi.org/10.18805/LR-4385>
- Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI). (2009). Guideline for the conduct of Value for Cultivation and Use of chickpea. Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Alborz, Iran. 13 p. (In Persian).
- Singh, K. B., & Saxena, M. C. (1999). *Chickpeas*. London: Macmillan Education Ltd, 134 p., 8 p. of plates.
- Singh, K. B., Bejiga, G., & Malhotra, R. S. (1990). Associations of some characters with seed yield in chickpea collection. *Euphytica*, 49, 83–88. <https://doi.org/10.1007/BF00024133>
- Sokolović, D., Babić, S., Petrović, M., Solís, I., Cougnon, M., Gutierrez, N., Pärssinen, P., Reheul, D., & Radović, J. (2025). Genotype by environment interactions and phenotypic traits stability of the EUCLEG faba bean collection. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1480110. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1480110>
- Srivastava, A. K., Dixit, G. P., Mohammad Nisar, & Singh, N. P. (2023). Genetic variability and inter-relationships among grain physical and hydration traits in chickpea. *Legume Research*, 46(5), 664–667. <https://doi.org/10.18805/LR-4407>
- Zibari, P. A. A. (2024). Genotype $\times$ environment interaction and coefficient regression in some genotypes of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22(2), 11850–11862. <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00844>



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97397.1131>

Effects of Transplants Age and Tray Cell Size on Growth of Chickpeas (*Cicer arietinum* L.)

Sajedeh Sadat Hosseini-Hodk¹, Mohammad Khajeh-Hosseini^{1*}, Ahmad Nezami¹, Farnoush Fallahpour¹

Received: 03 February 2026

Revised: 31 August 2026

Accepted: 01 September 2026

Available Online: 01 September 2026

Cite this article:

Sadat Hosseini-Hodk, S, Khajeh-Hosseini, M., Nezami, A. & Fallahpour, F. (2026). Effects of transplants age and tray cell size on growth of chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 65-76. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.97397.1131>

Introduction

Given the ongoing challenges of climate change and the increasing of shortages in water resources, there is an urgent need to reconsider conventional cropping systems. Promoting the cultivation of drought-tolerant and low water-requiring crops such as legumes can substantially contribute to agricultural sustainability and food security. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a major legume adapted to arid and semi-arid regions, playing a vital role in improving soil fertility through biological nitrogen fixation. It is cultivated on approximately 17 million hectares worldwide. In Iran, although a large area is dedicated to chickpea cultivation, the average yield accounts for only about 30% of its potential capacity. Factors such as inadequate agronomic management, drought, high temperatures, and severe damage from pests and diseases, especially during early growth stages are considered the main causes of low yield. Direct seeding, which has long been the conventional method of chickpea establishment, often leads to poor and nonuniform seedling emergence under water-limited and harsh environmental conditions. In this context, transplanting represents a novel and promising approach to overcome these constraints by improving seedling establishment, optimizing water use, and enhancing tolerance to biotic and abiotic stresses. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of seedling age and tray cell size on transplanting growth traits to identify effective strategies for improving transplant production and addressing challenges associated with water scarcity.

Materials and Methods

The experiment was conducted in February 2024 in the Research Greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, using a completely randomized design (CRD) with four replications. The treatments included two factors: transplanting age at three levels (4, 6, and 8 weeks) and tray cell size at three different volumes (24, 38 and 60 cm³). Chickpea seeds (cv. MCC770), obtained from the Faculty's Research Farm, were sown in trays filled with a cocopeat-perlite substrate (7:3, v/v). To produce transplants of different ages, sowing was repeated at 2- and 4-week intervals following the initial planting. Transplants were grown under greenhouse conditions at 17–23 °C with daily irrigation throughout the growth period. Nutrient application was carried out two weeks after sowing, at the two- to three-leaf stage, using a complete NPK nutrient solution (0.2%). Eight weeks after sowing, emergence percentages, leaf area, shoot and root dry weight, root surface area, and root length were measured. Prior to analysis, data were examined for normality and homogeneity of variances. Statistical analysis was performed using Minitab software (version 20), and means were compared using the LSD test.

Results and Discussion

The interaction between transplanting age and tray cell size was significant for all measured traits. In general, the highest leaf area and shoot dry weight were observed in 8 weeks transplants, whereas in the 4 weeks exhibited the greatest root surface area and root length. Increasing transplanting age markedly reduced the emergence percentages. However, 8 weeks transplants exhibited greater leaf area and shoot dry weight than 4 weeks transplants. This pattern indicates that spatial constraints during the nursery stage induced mild stress conditions, stimulating a compensatory growth response characterized by enhanced leaf expansion to improve post-transplant establishment. Negative correlations between emergence percentages and both leaf area and shoot dry weight further confirmed this interpretation, suggesting that reduced transplants density allowed greater access to growth space and consequently promoted shoot biomass accumulation. Correlation analysis revealed significant positive relationships among root dry weight, shoot dry weight,

1- Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding Author: saleh@um.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

and leaf area, underscoring the pivotal role of root development in sustaining aboveground growth. Additionally, root surface area showed a positive correlation with emergence percentages, likely reflecting enhanced water absorption capacity in the lightweight and porous substrate. In contrast, its negative associations with leaf area and shoot dry weight suggest a shift in dry matter allocation toward root structures under spatial or resource limitations. Overall, these results highlight the necessity of maintaining a balanced root–shoot relationship to ensure vigorous chickpea seedling growth and successful transplant establishment.

Conclusions

Increasing transplanting age decreased emergence percentages but improved growth traits such as leaf area and shoot dry weight. Cell size also played a crucial role in root development and dry matter distribution among plant organs. Transplanting aged 4 weeks exhibited stronger root systems, with greater root length and surface area, making them more suitable for field transplantation. Overall, optimizing transplanting age and cell volume can enhance chickpea transplants quality by maintaining balanced root–shoot growth, hence a better establishment in the field.

Keywords: Chickpeas seedling, Dry weight, Growth traits, Transplanting



بررسی اثر سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر ویژگی‌های رشدی گیاهچه‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

ساجده السادات حسینی هدک^۱، محمد خواجه حسینی^{۱*}، احمد نظامی^{۱b}، فرنوش فلاح پور^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰

چکیده

با توجه به تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آبی، ضرورت بازنگری در شیوه‌های کشت محصولات زراعی افزایش یافته است. این پژوهش، با هدف بهینه‌سازی رشد اولیه نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر سن نشاء (چهار، شش و هشت هفته‌ای) و حجم سلول سینی نشاء (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌مترمکعب) بر شاخص‌های رشدی گیاهچه، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. بذور در سینی‌های نشاء در بستری از کوکوپیت و پرلیت (با نسبت هفت به سه) کشت شدند. آبیاری نشاها به‌صورت روزانه صورت گرفت و دمای گلخانه بین ۱۷ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. پس از گذشت هشت هفته از کشت نشاها در گلخانه، درصد سبز شدن، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری شد. اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر همه صفات مورد نظر معنی‌دار بود. به‌طور کلی بیش‌ترین سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی در نشاهای هشت هفته‌ای مشاهده شد. در حالی که بیش‌ترین سطح و طول ریشه را نشاهای چهار هفته‌ای داشتند. با توجه به اینکه سیستم ریشه‌ای قوی پس از انتقال نشاها به زمین در افزایش استقرار تأثیر به‌سزایی دارد؛ می‌توان اظهار داشت که نشاهای چهار هفته‌ای از نظر سیستم ریشه‌ای نسبت به سایر تیمارها از کیفیت بهتری برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: صفات رشدی، گیاهچه نخود، نشاکاری، وزن خشک

مقدمه

نیتروژن، می‌تواند در بهبود حاصل‌خیزی خاک و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی مؤثر واقع شود (Jukanti et al., 2012). به‌علاوه در سال‌های اخیر به‌ویژه در کشورهای توسعه یافته، آگاهی افراد نسبت به مسائل زیست‌محیطی سبب کاهش مصرف گوشت قرمز شده است (Bimbo, 2023) و لذا ترکیب مطلوبی از پروتئین، فیبر و مواد معدنی (نظیر آهن و روی) در نخود سبب شده است که این محصول به منبعی ارزشمند در تغذیه انسان تبدیل شود.

حبوبات به‌ویژه نخود بعد از غلات سهم چشمگیری در تأمین غذای جوامع دارند. با توجه به اهمیت این گیاه در بهبود امنیت غذایی، توجه به کشت آن در سطح ملی و بین‌المللی افزایش یافته است. نخود در ۴۰ کشور جهان کشت می‌شود و سطح زیرکشت این گیاه ۱۷ میلیون هکتار و متوسط عملکرد آن حدود ۹۵۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2023). هند با ۷۰ درصد تولید نخود جهان، بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول محسوب می‌شود (Parsa & Bagheri, 2023). در ایران نیز ۳۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی زیر کشت نخود هستند که بخش زیادی از آن‌ها در استان‌های کرمانشاه، لرستان، کردستان، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، همدان و خراسان رضوی قرار دارند (Statistical Yearbook

افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش نیاز به تولید مواد غذایی، پژوهشگران را بر آن داشته که به دنبال روش‌هایی جهت افزایش بهره‌وری از منابع و استفاده حداکثری از آن‌ها باشند. براساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی جهانی، تأمین امنیت غذایی تا سال ۲۰۵۰ نیازمند تحول اساسی در نظام‌های کشاورزی و غذایی است که از جمله آن‌ها افزایش بهره‌وری و استفاده پایدار از منابع طبیعی عنوان شده است (FAO, 2023). این در حالی است که هم‌زمان، پدیده تغییرات اقلیمی در حال گسترش است و کیفیت اراضی کشاورزی به‌تدریج کاهش می‌یابد (IPCC, 2021; FAO, 2015).

در مناطق گرم و خشک همچون ایران که مقدار آب در دسترس، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان کشت و تولید محصولات زراعی دارد، بحران آب به‌صورت جدی‌تری مطرح می‌شود (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). در چنین شرایطی، توجه به گیاهان با نیاز آبی کم، نظیر انواع حبوبات می‌تواند نقش مهمی در ارتقای امنیت غذایی ایفا کند. نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق نیمه‌خشک و خشک جهان شناخته می‌شود. این گیاه علاوه بر ارزش غذایی بالا، با داشتن توانایی تثبیت

۱- گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*)- نویسنده مسئول: saleh@um.ac.ir

(of Agriculture, 2023). میانگین عملکرد نخود در ایران از متوسط جهانی بسیار پایین‌تر و حدود ۳۰ درصد از عملکرد قابل حصول می‌باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 2023).

از جمله دلایل عملکرد پایین نخود در کشور می‌توان به عدم رعایت اصول زراعی، تاریخ کشت نامناسب، تراکم نامناسب بوته، خسارت آفات و بیماری‌ها به‌ویژه در ابتدای فصل رشد، وجود دمای بالا و کمبود رطوبت در مراحل حساس رشدی اشاره کرد (Naseri et al., 2015; Amiri Dehahmadi et al., 2012). به‌علاوه کشت نخود عمدتاً از طریق کشت مستقیم بذر صورت می‌گیرد که مشکلاتی همچون سلبندی خاک، عدم یکنواختی سبز شدن در مزرعه، رقابت با علف‌های هرز و احتمال خسارت آفات و بیماری‌های گیاهی را در مراحل اولیه رشدی به همراه دارد، همین امر موجبات کاهش عملکرد را فراهم می‌آورد (McVay et al., 2017; Bhargav et al., 2018). نشاکاری به‌عنوان راهکاری نوین جهت تسریع استقرار گیاه در بسیاری از گیاهان زراعی در حال جایگزینی با کشت مستقیم می‌باشد. بااین‌حال میزان موفقیت این روش و تولید نشاء باکیفیت به عوامل مختلفی بستگی دارد که از آن جمله می‌توان به انتخاب مناسب سن نشاء جهت انتقال به زمین اصلی و خصوصیات سینی نشاء اشاره کرد (Ghadamgahi, 2019).

یافتن سن نشاء مناسب برای انتقال محصولات زراعی بسیار حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال، نشاهای بسیار جوان به‌طور معمول از قدرت تحمل پایینی در مواجهه با تنش‌های محیطی برخوردارند، به‌علاوه انتقال دیر هنگام به مزرعه نیز می‌تواند شوک پس از انتقال را افزایش دهد (Halimi, 2019). در نشاهای بسیار مسن، به‌دلیل افزایش بی‌رویه رشد رویشی، خطر بروز شوک پس از انتقال به مزرعه افزایش می‌یابد؛ این امر سبب کاهش قابلیت سازگاری و ریشه‌دهی پس از نشاکاری می‌شود. بنابراین، تعیین سن بهینه برای انتقال نشاء در هر محصول، عامل تأثیرگذاری در موفقیت تولید می‌باشد (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2016). از سوی دیگر، حجم سلول سینی نشاء نیز با تأثیرگذاری بر تراکم ریشه، ذخیره‌سازی مواد مغذی و ظرفیت جذب آب، نقش مهمی در کیفیت و استقرار نشاء دارد. به‌صورت کلی، کشت نشایی می‌تواند مقاومت گیاهچه‌ها را در مراحل رشدی حساس اولیه افزایش دهد و از آنجاکه گیاهچه‌های سالم و قوی به زمین اصلی انتقال می‌یابند؛ بنابراین در کشت نشایی امکان حفظ تراکم مطلوب و حفظ یکنواختی در مقایسه با کشت مستقیم مزرعه وجود دارد و از این طریق به استفاده بهینه از منابع کمک شایانی خواهد کرد (Haghighi Khah et al., 2016). از آنجاکه گیاهچه‌ها در مرحله رشدی جلوتری نسبت به علف‌های هرز قرار دارند، لذا در رقابت با علف‌های هرز اغلب پیروز هستند.

بیماری‌های قارچی بیش‌ترین اثر مخرب را بر عملکرد نخود داشته‌اند. در این میان، بیماری‌هایی که توسط *Fusarium oxysporum* (پژمردگی فوزاریومی) و *Ascochyta rabiei* (بلایت آسکوشیتیایی) ایجاد می‌شوند، به‌ترتیب به‌عنوان رایج‌ترین بیماری‌های ریشه‌ای و برگ‌ی شناخته می‌شوند که موجب آسیب به گیاهچه نخود و کاهش شدید عملکرد محصول می‌گردند (Kulshrestha et al., 2018). علاوه بر این، آفات مختلفی مانند شته‌ها، زنجرف‌ها و تریپس‌ها نیز می‌توانند به گیاهچه نخود آسیب رسانده و از رشد مطلوب آن جلوگیری کنند؛ کشت نشایی می‌تواند سبب افزایش مقاومت گیاهچه نسبت به آفات و بیماری‌هایی که در مراحل اولیه رشد سلامت گیاه را تهدید می‌کنند، شود. از دیگر مزایای کشت نشایی، انعطاف در تاریخ کشت است که می‌تواند اثرات تغییر اقلیم را تا حد زیادی تعدیل نماید؛ بدین طریق که امکان کشت را در گستره وسیع‌تری از زمان فراهم می‌آورد. این روش به‌خصوص در کشت‌های بهاره به‌مصرف ماندن گیاهچه‌ها از سرمای اول فصل کمک می‌کند. کشت گیاهان به این طریق می‌تواند در کاهش مصرف نهاده‌ها به‌صورت چشمگیری اثرگذار باشد (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016). تنش خشکی در مراحل اولیه جوانه‌زنی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و هدررفت بذر به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین نهاده‌های کشاورزی می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که کشت بذرها در بستر محدود سینی‌های نشاء علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی و استفاده بهینه از فضا، به فراهم آوردن شرایط بهتر جهت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در مراحل اولیه از طریق تحریک تولید ریشه (به‌ویژه ریشه‌های موپین) کمک می‌کند (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2016).

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات چندانی در رابطه با کشت نشایی نخود انجام نشده است، این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات سن نشاء و حجم سلول سینی نشاء بر خصوصیات رشدی گیاهچه نخود انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو عامل سن نشاء در سه سطح (چهار، شش و هشت هفته) و اندازه سلول سینی نشاء در سه حجم (۲۴، ۳۸ و ۶۰ سانتی‌مترمکعب) بودند. سینی‌های استفاده‌شده برای تولید نشاء تویی از نوع یک‌بارمصرف انتخاب شدند. بذر نخود کابلی (MCC770) از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید. این ژنوتیپ، با وزن هزار دانه بالا و تحمل نسبت به سرما، متناسب با شرایط آب‌وهوایی مشهد است. بذرها تهیه‌شده در تیرماه ۱۴۰۲ از مزرعه برداشت و تا زمان کشت در یخچال

مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD حافظت‌شده (Protected LSD) استفاده گردید، این آزمون، زمانی به کار می‌رود که اثر یک منبع تغییر (اثر اصلی یا اثر متقابل) در جدول تجزیه واریانس براساس آزمون F حتماً معنی‌دار باشد. در این تحقیق نیز آزمون LSD صرفاً روی منابع تغییری انجام شد که آزمون F معنی‌دار بودن آن‌ها را تأیید کرده بود.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن نشاء: اثر متقابل اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء بر درصد سبز شدن نشاء در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به شش هفته، درصد سبز شدن در سلول‌های متوسط و بزرگ به ترتیب ۳۳ و ۳۷ درصد کاهش یافت. این تغییر در سلول‌های کوچک معنی‌دار نبود (جدول ۲). با افزایش سن تا هشت هفته، درصد سبز شدن در سلول‌های کوچک و متوسط به ترتیب ۷۰ و ۵۶ درصد کاهش یافت. در سلول‌های بزرگ تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. در نشاهای چهار هفته‌ای، اندازه سلول اثری بر درصد سبز شدن نداشت. در نشاهای شش هفته‌ای نیز افزایش اندازه سلول از کوچک به متوسط بر درصد سبز شدن نشاء اثر معنی‌داری نگذاشت، اما افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ باعث کاهش ۳۴ درصدی درصد سبز شدن شد. در نشاهای هشت هفته‌ای، تغییر اندازه نشاء از کوچک به متوسط اثر معنی‌داری بر درصد سبز شدن نشاء نداشت، ولی افزایش اندازه سلول سینی نشاء از کوچک به بزرگ موجب افزایش بیش از ۲/۵ برابری درصد سبز شدن شد. به‌طور کلی، بیشترین درصد سبز شدن در نشاهای چهار هفته‌ای مشاهده شد. به نظر می‌رسد که زمان کاشت عامل تأثیرگذاری بر درصد سبز شدن نشاء بوده است. بنابراین نزدیکی به بهار و افزایش طول روز احتمالاً شرایط مناسب‌تری برای سبز شدن نشاء فراهم کرده است (Zhou & He, 2020; Dove, 2010).

سطح برگ: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به هشت هفته، سطح برگ افزایش یافت. این افزایش در سلول‌های کوچک و بزرگ به ترتیب ۵۳ و ۴۲ درصد بود. در سلول‌های متوسط، سطح برگ حدود سه برابر شد (جدول ۳). اثر اندازه سلول در سنین مختلف یکسان نبود. در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ به ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۱۴ درصدی سطح برگ شد. در نشاهای شش هفته‌ای، این روند معکوس بود و سطح برگ ۳۲ درصد کاهش یافت. در مجموع، افزایش اندازه سلول در سنین چهار و هشت هفته با افزایش سطح برگ همراه بود، اما در

نگهداری شدند. در آزمایشگاه، ابتدا تست جوانه‌زنی روی بذرها انجام شد (۹۸ درصد جوانه‌زنی) و درصد گیاهچه‌های نرمال نیز مورد ارزیابی قرار گرفت (۸۲ درصد گیاهچه نرمال). همچنین بینه بذرها تهیه‌شده به‌روش هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد ($29 \mu S \cdot cm^{-1} \cdot g^{-1}$). آزمایش‌های انجام‌شده روی بذور منبع به‌منظور کنترل کیفی بذر، مطابق با استانداردهای انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) اجرا گردید (ISTA, 2023).

تولید نشاء در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در هفدهم بهمن ماه سال ۱۴۰۲ آغاز شد. جهت تهیه بستر نشاء، مخلوطی از کوکوپیت و پرلیت با نسبت هفت به سه تهیه و به‌صورت یکنواخت در سینی‌های نشاء توزیع گردید. بذرها با فاصله‌های زمانی دو هفته در سینی‌های نشاء در گلخانه تحت دمای 3 ± 20 درجه سانتی‌گراد در روز و 17 ± 3 درجه سانتی‌گراد در شب، با شرایط نور طبیعی و رطوبت نسبی ۶۰-۷۰ درصد کشت شدند تا در نهایت سه سن نشاء هشت، شش و چهار هفته‌ای (گیاهان به‌ترتیب در مراحل رشدی حدوداً هشت، شش و چهار برگی بودند) حاصل گردید. طی این مدت، آبیاری در صورت نیاز انجام شد. علاوه بر این تغذیه نشاء دو هفته بعد از کشت (زمانی که دو تا سه برگی بودند) با استفاده از محلول کامل NPK با غلظت ۰/۲ درصد (دو گرم در یک لیتر آب) صورت گرفت (Jat et al., 2023).

به‌منظور تعیین درصد سبز شدن، تعداد بذرها سبز شده به‌صورت روزانه تا زمان ثابت شدن شمارش و در پایان به‌صورت درصد محاسبه شد. پس از گذشت هشت هفته از کشت اولین نشاءها در گلخانه، از هر تیمار چهار نمونه به‌صورت تصادفی برداشت و صفاتی نظیر سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری سطح برگ و سطح ریشه نشاءها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ^۱ (Leaf Area Measurement System) انجام شد، سپس بخش هوایی از ریشه جدا گردید و هر دو بخش هوایی و ریشه به‌طور مجزا در پاکت‌های کاغذی به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم گرم، وزن خشک نمونه‌ها مشخص شد. همچنین طول ریشه به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد.

نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها پیش از تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفت. جهت تجزیه صفاتی که به‌صورت درصد بودند، از تبدیل زاویه‌ای استفاده شد. سپس تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab (نسخه ۲۰) انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز به‌روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. جهت

وزن خشک بخش هوایی: اثر متقابل سن نشاء و اندازه

سلول سینی نشاء بر وزن خشک بخش هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن از چهار به هشت هفته، وزن خشک در سلول‌های کوچک و بزرگ ۷۰ درصد افزایش یافت. در سلول‌های متوسط، این افزایش بیش از دو برابر بود (جدول ۴). افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، وزن خشک بخش هوایی را ۳۸ درصد افزایش داد. در سن شش هفته، این اثر معنی‌دار نبود. این نتایج با یافته‌های سالاری و همکاران (Salari et al., 2022) در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) هم‌خوانی دارد. آن‌ها نیز گزارش کردند که افزایش حجم سلول از ۱۵ به ۲۲ سانتی‌مترمکعب، وزن خشک بخش هوایی را ۲۳ درصد افزایش داد.

سن شش هفته کاهش مشاهده شد. نتایج حلیمی (Halimi, 2019) نیز نشان داد که افزایش حجم سلول می‌تواند سطح برگ را کاهش دهد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین سطح برگ و درصد سبز شدن، همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۸). کاهش سبز شدن باعث کاهش تراکم و افزایش فضای رشد گردید و در نتیجه، سطح برگ افزایش یافت. همچنین رشد اولیه در فضای محدود سینی می‌تواند نوعی تنش ایجاد کند. گیاه احتمالاً با افزایش سطح برگ به این شرایط پاسخ داده است. در نشاهای هشت هفته‌ای، طول دوره رشد بیش‌تر و درصد سبز شدن کم‌تر بود. بنابراین، گیاه فرصت بیش‌تری برای افزایش سطح برگ داشت. این افزایش می‌تواند نوعی پاسخ جبرانی به تنش باشد (Salehi et al., 2018).

جدول ۱- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات صفات رشدی گیاهچه نخود تحت تأثیر سن نشاء، اندازه سلول سینی نشاء
Table 1- Sources of variation, degrees of freedom and mean square of growth traits of chickpeas seedlings affected by transplants age and tray cell size

میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد سبز شدن Emergence%	سطح برگ Leaf area	وزن خشک بخش هوایی Areal dry weigh	وزن خشک ریشه Root dry weight	سطح ریشه Root area	طول ریشه Root length
اندازه سلول سینی Tray cell size	2	61.9 ^{ns}	1.61 ^{ns}	0.10 ^{**}	0.006 ^{**}	348 ^{**}	15.42 ^{**}
سن نشاء Transplant age	2	4453 ^{**}	528 ^{**}	0.61 ^{**}	0.069 ^{**}	1161 ^{**}	15.00 ^{**}
اندازه سلول × سن نشاء Cell size × transplant age	4	1310 ^{**}	104 ^{**}	0.03 ^{**}	0.016 ^{**}	310 ^{**}	23.93 ^{**}
خطا Error (residual)	27	181	1.12	0.001	0.00018	2.91	0.12

^{**}، * و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح یک درصد و پنج درصد و عدم معنی‌داری.
**، * and ^{ns}: indicate significance at the 1% and 5% levels and non-significance, respectively.

جدول ۲- اثر سن نشاء و اندازه سلول بر درصد سبز شدن گیاهچه‌های نخود
Table 2- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas emergence (%)

اندازه سلول Cell size	سن نشاء (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	86.7 ^{a*}	71.3 ^{ab}	25.9 ^d
متوسط Medium	83.8 ^a	55.4 ^{bc}	36.6 ^{cd}
بزرگ Large	74.5 ^{ab}	47.0 ^c	68.0 ^{ab}

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۳- اثر سن نشاء و اندازه سلول بر سطح برگ نخود (سانتی‌مترمربع)
 Table 3- Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas leaf area (cm²)

اندازه سلول Cell size	سن نشاء (هفته) Transplanting age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	4.19 ^{e*}	6.48 ^c	6.43 ^c
متوسط Medium	3.06 ^f	5.06 ^d	8.44 ^a
بزرگ Large	5.19 ^d	4.37 ^e	7.39 ^b

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

ریشه گردید. در نشاهای شش هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از متوسط به بزرگ موجب کاهش ۲۰ درصدی وزن خشک ریشه شد (جدول ۵).

در هندوانه (*Citrullus vulgaris* L.) نیز با افزایش حجم سلول سینی نشاء از ۵۰ سانتی‌مترمکعب به ۶۰ سانتی‌مترمکعب، وزن خشک ریشه افزایش یافت (Halimi, 2019). مطالعه روابط بین صفات نشاء نشان داد که وزن خشک ریشه، وزن خشک بخش هوایی و سطح برگ رابطه مثبت و معنی‌داری با یکدیگر داشتند (جدول ۸). بنابراین احتمالاً ریشه‌های قوی سبب توسعه بهتر بخش هوایی و افزایش سطح برگ نشاء شده‌اند. نتایج حاصل از دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داد که بین صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک بخش هوایی و سطح برگ همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این مطلب مؤید آن است که توسعه ریشه و اندام‌هوایی در مرحله نشاء اغلب به‌صورت هماهنگ و تحت تأثیر عواملی مانند فضای در دسترس قرار دارند (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergun et al., 2024; Chen et al., 2021). از نظر فیزیولوژیک نیز بهبود جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه، فتوسنتز و گسترش برگ را تقویت کرده و در نهایت وزن خشک بخش هوایی را افزایش می‌دهد (Poorter et al., 2012).

سطح ریشه: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء

بر سطح ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به هشت هفته، در سلول‌های کوچک، متوسط و بزرگ به‌ترتیب ۲۵، ۶۰ و ۴۰ درصد از سطح ریشه کاسته شد (جدول ۶). در سن چهار هفته، با افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ، سطح ریشه بیش از ۱/۵ برابر افزایش یافت. در نشاهای شش هفته‌ای، همین تغییر اندازه سلول موجب کاهش ۱۳ درصدی سطح ریشه شد. در سن هشت هفته‌ای نیز افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ، سطح ریشه را ۴۱ درصد افزایش داد (جدول ۶).

بررسی همبستگی داده‌های حاصل از این تحقیق نشان داد که وزن خشک بخش هوایی با درصد سبز شدن رابطه منفی و معنی‌دار، و با سطح برگ رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۸). با توجه به رابطه منفی بین درصد سبز شدن و سطح برگ، منفی بودن همبستگی بین وزن خشک و درصد سبز شدن قابل انتظار است؛ زیرا افزایش سطح برگ معمولاً منجر به انباشت بیشتر ماده خشک در بخش هوایی می‌شود. به نظر می‌رسد که کاهش درصد سبز شدن موجب کاهش تراکم و افزایش فضای در دسترس برای هر نشاء می‌شود و این شرایط، توسعه سطح برگ و در نتیجه افزایش وزن خشک بخش هوایی را تسهیل می‌کند. این الگوی تخصیصی با گزارش‌های پیشین در گونه‌های مختلف زراعی (نخود، جو (*Hordeum vulgare* L.))، گوجه‌فرنگی و خیار (*Cucumis sativu* L.) هم‌خوانی دارد (Bayat et al., 2016; Liu et al., 2023; Ergun et al., 2024). از نظر فیزیولوژیک، این یافته‌ها را می‌توان در چهارچوب تغییر نسبت ریشه به شاخه تحت محدودیت‌های محیطی تفسیر کرد؛ به‌گونه‌ای که در شرایط کاهش تراکم و بهبود دسترسی به منابع، گیاه مواد بیش‌تری به اندام‌های هوایی اختصاص می‌دهد و این امر همبستگی مثبت بین سطح برگ و وزن خشک و همبستگی منفی بین درصد سبز شدن و وزن خشک را توجیه می‌کند (Husáková et al., 2018).

وزن خشک ریشه: اثر متقابل اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء

بر درصد سبز شدن نشاء در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش سن نشاء از چهار به هشت هفته، وزن خشک ریشه افزایش یافت. این افزایش در سلول‌های کوچک و بزرگ به‌ترتیب ۲۵ و ۸۱ درصد بود. در سلول‌های متوسط، وزن خشک ریشه حدود دو برابر شد (جدول ۵). در نشاهای چهار و هشت هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۶۰ درصدی وزن خشک

جدول ۴- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر وزن خشک بخش هوایی نخود (گرم)
 Table 4- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas shoot dry weight (g)

اندازه سلول Cell size	سن نشاء (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	0.123 ^{e*}	0.172 ^d	0.210 ^c
متوسط Medium	0.109 ^f	0.170 ^d	0.236 ^b
بزرگ Large	0.170 ^d	0.173 ^d	0.290 ^a

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۵- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر وزن خشک ریشه نخود (گرم)
 Table 5- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas root dry weight (g)

اندازه سلول Cell size	سن نشاء (هفته) Transplants age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	0.055 ^{f*}	0.080 ^c	0.069 ^d
متوسط Medium	0.041 ^g	0.083 ^c	0.090 ^b
بزرگ Large	0.061 ^e	0.066 ^d	0.111 ^a

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

احتمالاً به علت محدودیت فضا و منابع (به‌ویژه آب) است. در شرایطی که این محدودیت‌ها وجود دارد، گیاه ترجیح می‌دهد که ماده خشک بیشتری به ریشه اختصاص دهد تا از این طریق توان جذب منابع را حفظ کند و همین امر به کاهش نسبی رشد بخش هوایی منجر می‌شود (Husáková et al., 2018).

طول ریشه: اثر متقابل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء بر طول ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). در سلول‌های کوچک، با افزایش سن از چهار به هشت هفته، طول ریشه ۳۸ درصد افزایش یافت. در سلول‌های متوسط، افزایش سن از چهار به شش هفته با افزایش ۱۷ درصدی طول ریشه همراه بود. اما با افزایش سن از شش به هشت هفته، طول ریشه ۴۱ درصد کاهش یافت. در سلول‌های بزرگ، افزایش سن از چهار به شش هفته منجر به کاهش ۵۳ درصدی طول ریشه شد. به‌طور متوسط، با افزایش سن نشاء در همه اندازه‌های سلول، کاهش طول ریشه مشاهده گردید. با افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ در سن چهار هفته‌ای، طول ریشه ۵۰ درصد افزایش یافت. در سن شش هفته‌ای، افزایش اندازه سلول از کوچک به متوسط، طول ریشه را ۸۰ درصد افزایش داد؛ درحالی‌که افزایش اندازه از

در مطالعه حاضر، با افزایش حجم سلول سینی نشاء، سطح ریشه افزایش یافت که با گزارش‌های مشابه در هندولنه هم‌سو است (Halimi, 2019). بررسی همبستگی‌ها نشان داد که سطح ریشه با درصد سبز شدن رابطه مثبت و معنی‌دار دارد، درحالی‌که سطح ریشه با سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی همبستگی منفی و معنی‌دار دارد (جدول ۸). با توجه به اینکه رطوبت قابل دسترس در ناحیه بذر و ریشه گیاه در بسترهای سبک و متخلخل همانند کوکوپیت-پرلیت، به‌عنوان یک عامل مهم و اثرگذار بر سبز شدن نشاء مطرح است؛ هر فرآیند ریخت‌شناختی مثل افزایش سطح ریشه که بتواند جذب آب را افزایش دهد، سبب افزایش درصد سبز شدن و یکنواختی بیش‌تر آن خواهد شد (Lamichhane et al., 2023). در مطالعه‌ای روی گیاه سویا (*Glycine max* L.) مشخص شد که دسترسی به رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده جوانه‌زنی و سبز شدن می‌باشد و کمبود رطوبت سبب کاهش سبز شدن و استقرار گیاه شد. بنابراین همبستگی مثبت بین سطح ریشه و درصد سبز شدن در پژوهش حاضر را می‌توان به بهبود دسترسی به آب ناشی از توسعه سطح ریشه نسبت داد (Lamichhane et al., 2023). به نظر می‌رسد که وجود رابطه منفی بین سطح ریشه و سطح برگ و وزن خشک بخش هوایی

به‌گونه‌ای که گیاه در شرایط محدودیت، ماده خشک بیشتری به ریشه اختصاص می‌دهد تا توان جذب منابع را حفظ کند و این امر به کاهش نسبی رشد بخش هوایی منجر می‌شود (Poorter et al., 2012). چنین روابطی در سایر پژوهش‌ها نیز مشاهده شده است و همبستگی‌های معنی‌دار بین طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه در گونه‌های مختلف زراعی گزارش گردیده که نشان‌دهنده یک الگوی کلی در تخصیص مواد بین اندام‌های زیرزمینی و هوایی است (Ergun et al., 2024; Chaiyarak et al., 2025). در مجموع، داده‌های این پژوهش تأیید می‌کند که اندازه سلول سینی نشاء و سن نشاء به‌صورت تعاملی بر معماری ریشه و الگوی تخصیص ماده خشک اثر می‌گذارند و این یافته‌ها با شواهد اخیر در ذرت و سایر گیاهان زراعی هم‌خوانی دارد که در آن‌ها تغییر نسبت ریشه به شاخه، به‌عنوان پاسخ کلیدی به محدودیت‌های محیطی محسوب می‌شود (Poorter et al., 2012; Manzari Tavakkoli, 2015).

متوسط به بزرگ، طول ریشه را ۱۳ درصد کاهش داد. در سن هشت هفته‌ای نیز افزایش اندازه سلول از کوچک به بزرگ، طول ریشه را ۳۱ درصد کاهش داد. به‌طور کلی، افزایش حجم سلول سبب افزایش طول ریشه شد (جدول ۷).

یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش سن نشاء، توسعه سیستم ریشه‌ای تحت تأثیر اندازه سلول سینی قرار می‌گیرد و این الگو با گزارش‌های مشابه در ذرت شیرین (*Zea mays*) هم‌سو است که در آن، افزایش حجم سلول سینی نشاء به توسعه بهتر سیستم ریشه‌ای و افزایش طول ریشه منجر شد (Manzari Tavakkoli, 2015). در مطالعه حاضر، روابط همبستگی بین صفات نشاء نشان داد که بین طول ریشه، سطح برگ و وزن خشک ریشه رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد (جدول ۸). این الگو احتمالاً بازتاب تغییر راهبردی تخصیص ماده خشک تحت محدودیت منابع (به‌ویژه آب و فضای در دسترس برای توسعه ریشه) است،

جدول ۶- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر سطح ریشه نخود (سانتی‌متر مربع)
Table 6- Effect of transplants age and tray cell size on chickpeas root area (cm²)
سن نشاء (هفته)

اندازه سلول Cell size	Transplants age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	33.2 ^{d*}	38.9 ^c	24.6 ^e
متوسط Medium	44 ^b	39.5 ^c	17.4 ^f
بزرگ Large	58.2 ^a	33.7 ^d	34.7 ^d

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۷- اثر اندازه سن نشاء و اندازه سلول بر طول ریشه نخود (سانتی‌متر)
Table 7- Effect of seedling age and tray cell size on chickpeas root length (cm)
سن نشاء (هفته)

اندازه سلول Cell size	Transplants age (week)		
	4	6	8
کوچک Small	1.41 ^{e*}	1.33 ^e	1.96 ^d
متوسط Medium	2.05 ^{cd}	2.41 ^b	1.41 ^e
بزرگ Large	2.91 ^a	2.10 ^c	1.35 ^e

* میانگین‌هایی که حداقل، یک حرف مشترک دارند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* Means that share at least one common letter are not significantly different according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات نشاهای نخود در گلخانه

Table 8- Correlation coefficients among chickpeas transplants traits in the greenhouse

صفات نشاء Transplanting traits	1	2	3	4	5	6
1. سبز شدن Emergence	1					
2. سطح برگ Leaf area	-0.44**	1				
3. وزن خشک بخش هوایی Arial dry weight	-0.43**	0.86**	1			
4. وزن خشک ریشه Root dry weight	-0.29 ^{ns}	0.83**	0.90**	1		
5. سطح ریشه Root area	1**	-0.46**	-0.43**	-0.29 ^{ns}	1	
6. طول ریشه Root length	-0.01 ^{ns}	-0.42**	-0.30 ^{ns}	-0.39**	-0.004 ^{ns}	1

، * و ^{ns}: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطوح یک درصد و پنج درصد و عدم معنی‌داری.، * and ^{ns}: indicate significance at the 1% and 5% levels and non-significance, respectively.

نتیجه‌گیری

استقرار موفقیت‌آمیز نشاء در زمین اصلی، نشاهای چهار هفته‌ای به‌ویژه نشاهای چهار هفته‌ای رشدیافته در سلول‌های بزرگ به‌عنوان بهترین تیمار آزمایشی در این پژوهش شناخته شدند. با این وجود، برای توصیه‌های زراعی، نیاز به تحقیقات بیشتر با تمرکز بر کار مزرعه‌ای و تأیید اثرگذاری بلندمدت آن بر شاخص‌هایی نظیر اجزای عملکرد و عملکرد نهایی در مزرعه می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که هر دو عامل سن نشاء و اندازه سلول سینی نشاء به‌طور معنی‌داری بر درصد سبز شدن، سطح برگ، وزن خشک بخش هوایی، وزن خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه تأثیر دارند. با توجه به اهمیت بالای سیستم ریشه‌ای در کشت و

References

- Amiri Dehahmadi, S. R., Parsa, M., Banayan Aval, M., & Nassiri Mahallati, M. (2015). Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *Journal of Agroecology*, 7(1), 84-98. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v7i1.35497>
- Bayat, P., Ghobadi, M., Ghobadi, M. A., & Mohammadi, G. R. (2016). Evaluation of the ability of the standard seed germination test under laboratory conditions to predict emergence and seedling establishment of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in the field. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(1), 27–38. (In Persian).
- Bhargav, K. S., Gupta, N., Pandey, N., & Pandey, A. (2018). Performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sown on different seed bed configurations in Malwa region of Madhya Pradesh. *Journal of Krishi Vigyan*, 6(2), 172-175.
- Bimbo, F. (2023). Climate change awareness and dietary transitions: Evidence from European households. *Sustainability*, 15(7), 5432.
- Chaiyarak, T., Sinsiri, N., Laosuwan, T., & Khaengkhan, P. (2025). Utilizing electromagnetic fields for enhancing root germination of cassava Kasetsart 50 varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 19(3), 266-273. <https://doi.org/10.21475/ajcs.25.19.03.p279>
- Chen, X., Zhu, Y., Ding, Y., Pan, R., Shen, W., Yu, X., & Xiong, F. (2021). The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress. *PeerJ*, 9, e12015. <http://doi.org/10.7717/peerj.12015>
- Dove, N. (2010). The effect of increasing temperature on germination of native plant species in the north woods region university of Notre dame environmental research center (UNDERC). <https://underc.nd.edu/assets/156376/fullsize/dove2010.pdf>
- Ergun, N., Akdogan, G., Aydogan, S., Bilir, M., & Kilic, G. (2024). Determination of early-stage shoot and root traits of cultivated and wild barley genotypes. *Journal of Central European Agriculture*, 25(3), 661–674. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/25.3.4220>

- FAO. (2015). The impact of disasters on agriculture and food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). The future of food and agriculture: Drivers and triggers for transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ghadamgahi, S. M. (2019). Evaluation of the effect of transplanting age and plant density in the field on the yield and yield components of red pepper (*Capsicum annuum*). M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Haghighi Khah, M. (2016). Transplanting, an approach to improve water use efficiency in sweet corn. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Halimi, M. (2019). Effect of transplanting substrates and tray cell size on transplant quality, establishment, and field performance of watermelon (*Citrullus vulgaris* L.). M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Husáková, I., Weiner, J., & Münzbergová, Z. (2018). Species traits and shoot-root biomass allocation in 20 dry-grassland species. *Journal of Plant Ecology*, 11(2), 273–285. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw143>
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISTA. (2023). International rules for seed testing: Rules 2023. International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org/>
- Jat, K. K., Jadon, C. K., Singh, P., Ram, B., Yadav, R. K., & Meena, C. B. (2023). Effect of fertility levels and foliar nutrition on performance of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under South-Eastern Rajasthan. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 12(4), 9–14. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2023.1204.002>
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000797>
- Koocheki, A., & Khajeh Hosseini, M. (2016). Agriculture and climate change: A review of adaptation strategies. *Iranian Journal of Climate and Water Research*, 7(1), 35–48. (In Persian).
- Kulshrestha, S., Thakur, F., Gothwal, N., & Goutam, U. (2018). Fungal disease management in chickpea: Current status and future prospects. In S. A. Khan, M. S. Khan & A. Musarrat (Eds.), *Fungi and Their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*. pp. 293–309. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7_17
- Lamichhane, J. R., Varillas, C., & Debaeke, P. (2023). Seedling emergence and biomass production of soybean cultivars under wheat-soybean relay cropping. *Plos One*, 18(11), e0293671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293671>
- Liu, X., Shi, R., Gao, M., He, R., Li, Y., & Liu, H. (2023). Growth of tomato and cucumber seedlings under different light environments and their development after transplanting. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1164768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1164768>
- McVay, K., Jha, P., & Crutcher, F. (2017). Chickpea Production (MT201703AG). Montana State University Extension.
- Manzari Tavakoli, A. (2015). Evaluation of the effects of volume and type of seedling growing media on the characteristics of seedlings and yield of sweet corn (*Zea mays*). M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Naseri, R., Siadat, S. A., Soleimani Fard, A., Soleimani, R., & Khosh Khabar, H. (2012). Effects of planting date and density on yield, yield components and protein content of three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under rainfed conditions in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, 2(2), 7-18. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v2i2.19018>
- Parsa, A., & Bagheri, M. (2023). Morphological diversity in chickpea ecotypes from Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(1), 71–84. (In Persian).
- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193, 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Rahimi-Moghaddam, S., Amir, S. R., & Eyni-Nargeseh, H. (2023). Assessing chickpea attainable yield and closing the yield gaps caused by agronomic and genetic factors. *Field Crops Research*, 303, 109–137. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109137>

- Salehi, F., Ahmadi, A., Basiri, R., & Rafi'i, H. R. (2018). Responses of wheat grain weight and remobilization of soluble carbohydrates to reduced source size under limited moisture condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(2), 11–21. (In Persian).
- Salari, A., Jafari, L., & Yavari, A. (2022). The effect of tray cell volume and humic acid on morphological and physiological characteristics of tomato transplant (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Plant Production Research*, 29(1), 225–245. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19524.2879>
- Statistical Yearbook of Agriculture. (2023). Ministry of Agriculture Jihad, Iran. (In Persian). <https://amar.maj.ir/>
- Zhou, X. H., & He, W. M. (2020). Climate warming facilitates seed germination in native but not invasive *solidago canadensis* populations. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 595214. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.595214>



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98116.1133>

Evaluation of Agronomic Value and Qualitative Indices of Forage Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars in Regions with Different Climatic Conditions in Iran

Nima Khaledi^{1*}, Mohamad Rahmani¹, Farshid Hassani¹, Ali Shayanfar¹, Saman Sheidaei¹

Received: 05 March 2026
Revised: 05 March 2026
Accepted: 24 May 2026
Available Online: 24 May 2026

Cite this article:

Khaledi, N., Rahmani, M., Hassani, F., Shayanfar, A., & Sheidaei, S. (2026). Evaluation of agronomic value and qualitative indices of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in regions with different climatic conditions in Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 77-96. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98116.1133>

Introduction

Global agriculture confronts critical challenges driven by population growth and the scarcity of vital resources, particularly water and soil. In Iran, these pressures are exacerbated by climatic volatility and a reliance on imported protein inputs, rendering the adoption of resilient, low-input forage legumes essential. The pea (*Pisum sativum* L.) is a promising candidate owing to its genetic diversity, high biomass potential, and soil-improving properties via nitrogen fixation. Nevertheless, the scarcity of improved varieties adapted to Iran's diverse climates constrains its cultivation. Successful production depends on selecting cultivars with robust vegetative growth and delayed physiological maturity to maximize dry matter accumulation. However, these traits are governed by complex interactions between genetic factors and environmental variables, such as temperature and photoperiod. Furthermore, forage quality typically declines with maturity due to lignification. Consequently, a comprehensive multi-environmental evaluation is essential to identify cultivars that achieve an optimal balance of high yield, stability, and nutritional quality. The objective of this study is to address existing knowledge gaps via a rigorous multi-year, multi-location trial that assesses agronomic performance, stability, and forage quality of distinct pea cultivars across the varied agro-ecological zones of Iran.

Materials and Methods

A field experiment was conducted across four representative locations: Karaj (cold semi-arid), Gorgan (humid Caspian), Kermanshah (cold semi-arid Mediterranean), and Parsabad (warm semi-arid temperate) during the 2023-2024 and 2024-2025 growing seasons. The study utilized a randomized complete block design with four replications to evaluate two imported forage pea cultivars from Turkey, namely Zerre and Gap pembesi, alongside registered cultivars (Arda, Beren and Tashkent). Agronomic management, including irrigation and weed control, was uniformly applied across all treatments in accordance with local recommendations. Evaluated traits included fresh and dry forage yield, plant height, establishment percentage, and phenological characteristics. To assess nutritional quality, random samples of approximately 500 grams were collected from the first harvest. Following drying and milling, qualitative parameters, including crude protein (CP), water-soluble carbohydrates (WSC), crude fiber (CF), acid detergent fiber (ADF), and total ash content, were analyzed using near-infrared spectroscopy (NIRS; PerCon Inframatic 8620). Statistical analysis involved a combined analysis of variance (ANOVA) across years and locations using SAS software (version 9.4). Mean comparisons were performed using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level. Additionally, GGE-biplot analysis was employed to assess cultivar stability and cultivar-by-environment interaction.

Results and Discussion

Analysis of variance revealed significant effects for location, year, cultivar, and their interactions on most traits, highlighting the substantial impact of environmental heterogeneity on forage pea performance. Descriptive statistics showed high variability in yield traits, reflecting considerable genetic diversity and environmental sensitivity. The location effect was particularly pronounced for yield; Gorgan exhibited the highest fresh and dry forage yields due to its favorable humid climate and fertile soil, while Karaj showed the lowest yields, likely due to moisture limitations and heat

1- Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* Corresponding Author: n_khaledi@areeo.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

stress. Kermanshah and Parsabad demonstrated intermediate performance with acceptable stability. Among the cultivars, Gap pembesi distinguished itself with the highest fresh and dry yields, superior plant height, and establishment percentage. Its late-maturing phenotype extended the vegetative period, facilitating greater photosynthetic accumulation. GGE-biplot analysis confirmed its broad adaptability and general superiority. Beren ranked second, driven by vigorous vegetative growth and strong regrowth ability. Conversely, early-maturing cultivars, Tashkent and Arda, produced lower biomass. While their shorter cycle suits regions with constrained growing seasons, their yield potential was lower in this study. Zerre demonstrated a superior nutritional profile, with high CP, optimal WSC, and moderate ADF, resulting in high digestibility. In contrast, Gap pembesi exhibited higher fiber fractions, resulting in lower digestibility compared to Zerre. Tashkent exhibited the lowest nutritional quality. These findings suggest that while late-maturing cultivars like Gap pembesi are ideal for maximizing biomass, cultivars like Zerre offer superior forage quality essential for animal nutrition.

Conclusions

This comprehensive multi-environment study provides key insights into the agronomic and qualitative performance of forage pea cultivars in Iran. The observed substantial cultivar-by-environment interaction dictates the need for region-specific cultivar recommendations. Based on the integration of yield data, stability analysis, and nutritional quality assessments, Gap pembesi is identified as the superior cultivar for general cultivation. Its outstanding biomass yield, plant height, establishment rate, and wide adaptability across different climates position it as a top choice for enhancing domestic forage output. Beren is also recommended as a complementary cultivar, particularly for temperate regions, due to its vigorous vegetative growth and regrowth capacity. However, for farming systems prioritizing forage quality over sheer biomass quantity, Zerre offers a distinct advantage with its high protein content and superior digestibility. Ultimately, decisions regarding cultivar selection must be based on production targets, regional climate, and growing season duration. This study establishes a solid foundation for future breeding programs and extension services by promoting the adoption of high-yielding, stable, and qualitatively superior forage pea cultivars to ensure the sustainability of Iran's livestock sector. This study lays a solid foundation for future breeding programs and extension services, promoting the adoption of high-yielding, stable, and qualitatively superior forage pea cultivars to ensure the sustainability of Iran's livestock sector.

Keywords: Climatic adaptation, Nutritional value, Winter legumes, Yield stability



ارزیابی ارزش زراعی و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای (*Pisum sativum* L.) در مناطقی با شرایط اقلیمی متفاوت در ایران

نیما خالدی^{۱*}، محمد رحمانی^۱، فرشید حسنی^۱، علی شایان فر^۱، سامان شیدائی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۳

چکیده

با توجه به محدودیت فزاینده منابع آبی و خاکی و ضرورت کاهش وابستگی به واردات نهاده‌های پروتئینی، توسعه کشت لگوم‌های علوفه‌ای زمستانه با سازگاری اقلیمی بالا، به‌عنوان راهکار اساسی برای تضمین پایداری در تولید علوفه به شمار می‌رود. از این رو، نخودفرنگی علوفه‌ای (*Pisum sativum* L.) به‌واسطه توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، ارتقای حاصلخیزی خاک و تولید علوفه با ارزش تغذیه‌ای بالا، جایگاهی ویژه در نظام‌های تناوبی کشاورزی ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی جامع عملکرد، پایداری و شاخص‌های کیفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای طی دو سال زراعی در چهار منطقه کرج، گرگان، کرمانشاه و پارس‌آباد اجرا گردید. مواد گیاهی شامل ارقام زرّه و گاپ‌پمبسی و سه رقم مرجع (آردا، برن و تاشکند) بودند که در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد علوفه، صفات فنولوژیک و رشدی و همچنین شاخص‌های کیفی نظیر پروتئین خام، فیبر و خاکستر کل بود. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات مکان، سال و برهم‌کنش رقم در محیط بر اغلب صفات معنی‌دار بود که این امر بیانگر حساسیت ارقام به نوسانات محیطی می‌باشد. نتایج نشان داد که رقم گاپ‌پمبسی با میانگین ۸۳۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد علوفه خشک را داشت که ۵۶ درصد بیشتر از رقم زرّه (۵۳۲۷/۶ کیلوگرم در هکتار) بود. از نظر کیفی، رقم زرّه با ۱۴/۹۷ درصد پروتئین خام و ۳/۹۷ درصد کربوهیدرات محلول در آب ارزش تغذیه‌ای بالاتری داشت، درحالی‌که رقم گاپ‌پمبسی با ۴۵/۱۵ درصد فیبر نامحلول، قابلیت هضم کمتری نشان داد. میانگین ارتفاع بوته در ارقام از ۹۱ (زرّه) تا ۱۲۱ (گاپ‌پمبسی) سانتی‌متر متغیر بود. تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد علوفه خشک داشت. براساس یافته‌ها، رقم گاپ‌پمبسی با دارا بودن بالاترین عملکرد علوفه، استقرار مطلوب و سازگاری گسترده در تمامی محیط‌های آزمایشی، به‌عنوان برترین رقم از نظر کمیت و پایداری شناسایی شد. ارزیابی شاخص‌های کیفی نشان داد که رقم زرّه با ترکیبی متعادل از پروتئین خام بالاتر و فیبر نامحلول کمتر، از ارزش تغذیه‌ای برتری برخوردار بود، درحالی‌که ارقام با عملکرد بالا نظیر گاپ‌پمبسی قابلیت هضم پایین‌تری داشت. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که برنامه‌ریزی برای توسعه کشت ارقام در مناطق مختلف، نیازمند توجه هم‌زمان به پایداری عملکرد و شاخص‌های کیفی علوفه است.

واژه‌های کلیدی: ارزش تغذیه‌ای، پایداری عملکرد، سازگاری اقلیمی، لگوم‌های زمستانه

مقدمه

پایدار برخوردارند (Peoples et al., 2009). این گیاهان با کاهش وابستگی به کودهای نیتروژنی شیمیایی و ارتقای حاصلخیزی خاک، می‌توانند به بهبود بهره‌وری و پایداری تولید در بوم‌نظام‌های زراعی کمک کنند (Herridge et al., 2008).

نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) به‌عنوان یکی از گونه‌های مهم تیره باقلائیان^۲، از تنوع ژنتیکی قابل توجهی در تیپ‌های دانه‌ای و علوفه‌ای برخوردار است (Asci et al., 2015). تیپ‌های علوفه‌ای این گیاه به‌دلیل رشد رویشی مطلوب، توان تولید زیست‌توده بالا، نسبت مناسب برگ به ساقه و کیفیت تغذیه‌ای قابل قبول، در بسیاری از مناطق معتدل جهان مورد کشت و بهره‌برداری قرار می‌گیرند (Haliloglu et al., 2022). این گیاه از طریق همزیستی مؤثر با

در سال‌های اخیر، رشد فزاینده جمعیت و محدودیت روزافزون منابع آب و خاک، تأمین پایدار علوفه با کیفیت را به یکی از مسائل راهبردی و چالش‌های اساسی کشاورزی تبدیل کرده است. در ایران، چالش‌هایی نظیر کاهش دسترسی به منابع آب تجدیدپذیر، تغییرپذیری اقلیم و وابستگی قابل توجه به واردات نهاده‌های پروتئینی از جمله کنگاله سویا، ضرورت بازنگری در الگوهای تولید و بهره‌گیری از گیاهان زراعی کم‌نهاده و سازگار با شرایط دیم را بیش از پیش آشکار ساخته است. در این چارچوب، لگوم‌های علوفه‌ای به‌دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، نقش مؤثر در بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش کارایی سامانه‌های زراعی، از جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی

۱- مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(*)- نویسنده مسئول: n_khaledi@areeo.ac.ir

اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به‌گونه‌ای که مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی به‌عنوان زمان مناسب برای دستیابی به تعادل مطلوب میان کمیت و کیفیت علوفه معرفی شده است (Çağan et al., 2019). از این رو، انتخاب ارقام برتر در برنامه‌های به‌نژادی و مدیریت زراعی باید با رویکردی چندمعیاره و برپایه ارزیابی هم‌زمان عملکرد زیست‌توده و شاخص‌های کیفی انجام گیرد (Mirza & Çopur Doğrusöz, 2024).

صفات رشدی و عملکردی در نخودفرنگی علوفه‌ای، همانند سایر گونه‌های زراعی، تحت تأثیر اثرات اصلی ارقام، محیط و برهم‌کنش ارقام در محیط قرار دارند. زمانی که سهم اثر برهم‌کنش ارقام در محیط بالا باشد، رتبه‌بندی ارقام در محیط‌های مختلف دستخوش تغییر می‌شود و معرفی یک رقم با سازگاری عمومی به چالشی مهم تبدیل می‌گردد. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که در نخودفرنگی علوفه‌ای سهم اثر محیط و تعامل ارقام در محیط می‌تواند نقش قابل توجهی در تغییرات عملکرد ایفا کند، به‌طوری که تحلیل‌های چندمحیطی نشان داده‌اند که اثرات ارقام، محیط و برهم‌کنش ارقام در محیط به‌طور معنی‌داری بر عملکرد تأثیرگذار هستند (Hu et al., 2025; Kebede et al., 2024).

از دیدگاه ژنتیک کمی، برهم‌کنش ارقام در محیط می‌تواند ناشی از تفاوت در حساسیت ارقام نسبت به عوامل محیطی یا وجود سازوکارهای فیزیولوژیک متفاوت در پاسخ به تنش‌ها باشد. در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌های آماری چندمتغیره امکان تفکیک اثرات اصلی و برهم‌کنش را فراهم کرده و شناسایی ارقامی پایدار و سازگار را تسهیل می‌کند (Haile et al., 2022). این رویکردها به‌ویژه در برنامه‌های معرفی رقم اهمیت دارند، جایی که هدف انتخاب ارقامی با عملکرد بالا و ثبات نسبی در طیف وسیعی از محیط‌ها است.

طبق دستورالعمل‌های ثبت رقم، آزمون‌های تعیین ارزش زراعی و مصرف مستلزم ارزیابی دقیق عملکرد، پایداری، سازگاری اقلیمی و شاخص‌های کیفی در مقایسه با ارقام شاهد در شرایط محیطی متنوع هستند. فقدان چنین ارزیابی‌هایی در طیف گسترده‌ای از اقلیم‌های کشور، فرآیند انتخاب و معرفی ارقام را با محدودیت مواجه کرده است. بر این اساس، انجام مطالعات چندمحیطی مبتنی بر تحلیل برهم‌کنش ارقام در محیط، به‌عنوان پیش‌نیازی اساسی برای شناسایی و معرفی ارقام علوفه‌ای نخودفرنگی با سازگاری عمومی یا اختصاصی، ضروری به نظر می‌رسد (Sayar & Han, 2016; Greveniotis et al., 2022).

در ایران، با وجود پتانسیل اقلیمی مناسب برای توسعه لگوم‌های زمستانه در تناوب با غلات، اطلاعات مستند و نظام‌مندی درباره ارزیابی چندمحیطی تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی محدود است و بیشتر پژوهش‌ها به تیپ‌های دانه‌ای یا به ارزیابی در یک یا دو محیط

باکتری‌های ریزوبیوم قادر است مقادیر قابل توجهی نیتروژن اتمسفری را تثبیت کرده و بدین ترتیب بخشی از نیاز نیتروژنی سامانه‌های زراعی را تأمین کند (Tsialtas et al., 2018). افزون بر این، بقلیای گیاهی نخودفرنگی به‌دلیل نسبت پایین کربن به نیتروژن، با سرعت بیشتری تجزیه شده و از طریق تسریع چرخه عناصر غذایی، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی و پایداری خاک ایفا می‌کنند (Şenbek et al., 2025).

براساس آخرین آمار منتشرشده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، میزان تولید جهانی انواع نخودفرنگی در سال ۲۰۲۴ حدود ۲۲ میلیون تن و سطح زیرکشت آن نزدیک به ۲۰۶ میلیون هکتار گزارش شده است (FAOSTAT, 2026). در ایران، اگرچه آمار تفکیک‌شده‌ای برای سطح زیرکشت و تولید تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی در دسترس نیست، مجموع سطح زیرکشت و میزان برداشت این محصول به‌ترتیب حدود ۲۰۸ هزار هکتار و ۱۶۰۲ هزار تن برآورد شده است (FAOSTAT, 2026).

در تیپ‌های علوفه‌ای نخودفرنگی، انتخاب ارقامی با رشد رویشی قوی و تأخیر نسبی در رسیدگی فیزیولوژیک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا این ویژگی‌ها ارتباط مستقیمی با افزایش تولید ماده خشک و بهبود کیفیت علوفه دارند. افزایش طول دوره رشد رویشی پیش از ورود به فاز زایشی، از طریق گسترش سطح فتوسنتزی، زمینه تولید زیست‌توده بیشتر را فراهم می‌کند. با این حال، تداوم و کارایی این فرآیند به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی، به‌ویژه دما و طول روز قرار دارد (Weller & Ortega, 2015). ژن‌های تنظیم‌کننده گل‌دهی در گیاه نخودفرنگی علوفه‌ای حساسیت بالایی به فتوپریود و شرایط محیطی دارند و این پاسخ‌های فیزیولوژیک نقش تعیین‌کننده‌ای در زمان انتقال از رشد رویشی به مرحله زایشی ایفا می‌کنند (Weller et al., 2012). علاوه بر این، وقوع تنش گرمایی در مرحله گل‌دهی می‌تواند با کاهش زنده‌مانی گرده، اختلال در فرآیند لقاح و در نهایت افت تولید زیست‌توده و کیفیت علوفه همراه باشد (Bueckert et al., 2015). بنابراین، دستیابی به ارقام برتر و پایدار مستلزم ارزیابی دقیق واکنش آن‌ها نسبت به تغییرات دمایی و الگوی بارندگی در شرایط اقلیمی متنوع کشور است.

از منظر کیفی نیز ارزش تغذیه‌ای علوفه نخودفرنگی متأثر از شاخص‌هایی نظیر درصد پروتئین خام، اجزای دیواره سلولی شامل فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، میزان لیگنین و کربوهیدرات‌های محلول است (Mirza & Çopur Doğrusöz, 2024; Yüksel & Türk, 2019). درصد پروتئین خام در مراحل آغازین رشد گیاه در سطح بالاتری قرار دارد، اما با افزایش سن گیاه، افزایش سهم ساقه و تشدید فرآیند لیگنینی شدن، روندی کاهشی نشان می‌دهد (Türk & Albayrak, 2012). بر این اساس، تعیین زمان بهینه برداشت از

نیمه خشک سرد، معتدل مرطوب خزری و معتدل سرد نیمه مرطوب با الگوی مدیریتانه‌ای و معتدل گرم نیمه مرطوب هستند. آزمایش‌ها در هر منطقه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. اطلاعات هواشناسی مربوط به این مناطق طی فصل‌های زراعی مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

مواد گیاهی و مدیریت زراعی

مواد گیاهی مورد استفاده در این مطالعه شامل دو رقم وارداتی نخودفرنگی علوفه‌ای به نام‌های زرّه^۱ و گاپ‌پمبسی^۲ از کشور ترکیه و همچنین سه رقم آردا^۳، برن^۴ و تاشکند^۵، که پیش از این در فهرست ملی ارقام گیاهی کشور در سال ۱۴۰۴ ثبت شده بود، به عنوان ارقام مرجع می‌باشد (شکل ۱).

محدود شده‌اند. علاوه بر این تاکنون هیچ رقم علوفه‌ای اصلاح شده و ثبت شده‌ای از نخودفرنگی با پشتوانه اطلاعات جامع چندساله و چندمحیطی در قالب آزمون تعیین ارزش زراعی معرفی نشده است. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف بررسی جامع عملکرد علوفه تر و خشک، تحلیل صفات کیفی مؤثر بر ارزش غذایی و ارزیابی برهم کنش ارقام در محیط انجام شد تا ارقام برتر و پایدار نخودفرنگی علوفه‌ای شناسایی و زمینه علمی لازم برای معرفی ارقام مناسب فراهم شود.

مواد و روش‌ها

شرایط محل اجرا و طرح آزمایشی

این پژوهش در سال‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در چهار منطقه با اقلیم‌های متفاوت شامل کرج، گرگان، کرمانشاه و پارس‌آباد (مغان) انجام شد. این مناطق به ترتیب نماینده اقلیم‌های

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی مناطق مورد بررسی طی فصل‌های زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ و ۱۴۰۴-۱۴۰۳

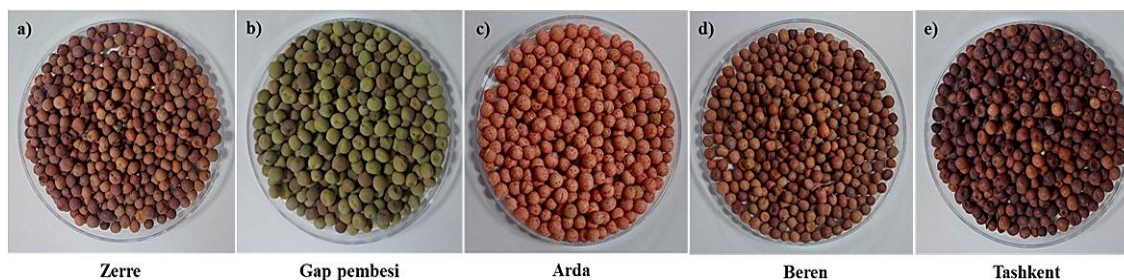
Table 1- Meteorological data of the experimental locations during the 2022-2023 and 2023-2024 growing seasons

فصل زراعی Growing seasons	مکان‌های اجرای آزمایش Experimental locations	بارش سالیانه (میلی متر) Annual precipitation (mm)	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	میانگین دمای سالیانه (درجه سلسیوس) Mean annual temperature (°C)	ساعات آفتابی Sunshine hours	کمینه مطلق دما (درجه سلسیوس) Absolute minimum temperature (°C)	بیشینه مطلق دما (درجه سلسیوس) Absolute maximum temperature (°C)
۱۴۰۳-۱۴۰۲ 2023-2024	پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	280	55	16	2100	-12	37
	کرمانشاه Kermanshah	330	50	17	2200	-9	39
	کرج Karaj	265	45	18.5	2200	-6.5	38
	گرگان Gorgan	430	65	18	2050	-10	43
۱۴۰۳-۱۴۰۴ 2024-2025	پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	255	53	16.8	2050	-11	37.5
	کرمانشاه Kermanshah	245	50	17.8	2150	-9	40
	کرج Karaj	305	43	19	2150	-5.5	39
	گرگان Gorgan	390	63	18.8	2000	-9	44

1- Zerre
2- Gap pembesi
3- Arda
4- Beren
5- Tashkent

براساس نتایج آنالیز خاک (جدول ۲)، کود اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در تمام مناطق به‌عنوان کود پایه مصرف گردید. کود سوپرفسفات تریپل فقط در کرمانشاه (۷۰ کیلوگرم) و کرج (۶۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف گردید و در پارس‌آباد و گرگان مصرف نشد. هیچ‌گونه کود پتاسه‌ای در هیچ منطقه‌ای استفاده نگردید.

ارقام مورد بررسی از نظر دوره رشد به سه گروه دیررس (گاپ‌پمبسی)، متوسط‌رس (زرّه و برن) و زودرس (آردا و تاشکند) تقسیم می‌شوند. برای تعیین نیاز کودی هر منطقه، پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌های مرکب خاک جمع‌آوری شده و به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل گردید. نتایج حاصل از این بررسی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱- نمونه‌های بذری ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

Figure 1- Seed samples of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars

a: زرّه، b: گاپ‌پمبسی، c: آردا، d: برن و e: تاشکند

a: Zerze, b: Gap pembesi, c: Arda, c: Beren and d: Tashkent

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و مشخصات مکان‌های اجرای آزمایش

Table 2- Physicochemical properties of soil and characteristics of the experimental locations

مکان‌های اجرای آزمایش Experimental locations	مختصات جغرافیایی Geographical coordinates	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m above sea level)	تاریخ کاشت Sowing date		بافت Texture	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک Physicochemical properties of soil sample					
			سال دوم Year 2	سال اول Year 1		شوری (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dSm ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیترژن کل (درصد) Total N (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH
پارس‌آباد (مغان) Parsabad (Moghan)	39° 65' 18" N 47° 92' 52" E	40	۱۴۰۳/۰۹/۲۷ 2024/12/17	۱۴۰۲/۰۹/۰۷ 2023/11/28	لوم رسی Clay loam	1.6	1.2	0.12	128.9	29.3	7.9
کرمانشاه Kermanshah	34° 27' 47" N 46° 80' 13" E	1320	۱۴۰۳/۰۸/۲۶ 2024/11/16	۱۴۰۲/۰۸/۲۱ 2023/11/11	لوم رسی Clay loam	1.7	1.2	0.13	159.7	14.2	7.5
کرج Karaj	35° 82' 58" N 50° 97' 26" E	1300	۱۴۰۳/۰۸/۱۲ 2024/11/02	۱۴۰۲/۰۸/۱۴ 2023/11/04	لوم رسی Clay loam	1.5	1.1	0.11	124.5	14.9	7.8
گرگان Gorgan	36 84' 15" N 54° 43' 08" E	15	۱۴۰۳/۰۸/۲۸ 2024/11/18	۱۴۰۲/۰۸/۲۲ 2023/11/13	لوم سیلتی Silty loam	1.5	1.4	0.18	161.2	28.6	7.2

میانگین دمای روزانه (دمای مناسب برای جوانه‌زنی)، شروع بارندگی‌های پاییزه در هر منطقه و توصیه‌های کشاورزی محلی تعیین گردید (جدول ۲). آبیاری براساس زمان آبیاری براساس شرایط اقلیمی هر منطقه و با فاصله آبیاری ۷ تا ۱۴ روز (بسته به میزان بارندگی و

هر یک از رقم‌ها در هر کرت شامل هشت ردیف به طول شش متر با فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر کشت و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرها به‌صورت دستی و در عمق چهار تا پنج سانتی‌متر کاشته شدند. زمان کاشت براساس

درصد بوته‌ها) و تعداد روز از کاشت تا برداشت براساس دستورالعمل فنی آزمون‌های تعیین ارزش زراعی ارقام نیامداران علوفه‌ای (Rahmani et al., 2025) اندازه‌گیری شد. برداشت علوفه در مرحله ظهور اولین غلاف انجام گردید. این مرحله به‌عنوان مناسب‌ترین زمان برداشت نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر دستیابی به بیشترین عملکرد ماده خشک و بهترین کیفیت علوفه می‌باشد. برای اندازه‌گیری صفات ریخت‌شناسی، ۲۰ گیاه به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب شد. برای برآورد عملکرد، ۰.۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت و دو ردیف حاشیه‌ای حذف و سطح باقی‌مانده به‌عنوان سطح مفید برداشت در نظر گرفته شد. عملکرد علوفه تر از توزین کل سطح مفید پس از برداشت محاسبه گردید و برای تعیین عملکرد خشک، نمونه‌ای از علوفه برداشت‌شده در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شد تا وزن ثابت حاصل شود؛ سپس عملکرد خشک محاسبه گردید.

دمای هوا) انجام شد. بلافاصله پس از کاشت، یک نوبت آبیاری سبک برای اطمینان از سبز شدن یکنواخت انجام گردید. مهار علف‌های هرز و سایر عملیات زراعی به‌طور یکنواخت در تمامی تیمارها اعمال شد.

اندازه‌گیری صفات زراعی و عملکردی

بازدید و یادداشت‌برداری در مراحل مختلف رشد گیاه انجام شد (شکل ۲) و صفات زراعی کلیدی شامل ارتفاع بوته در زمان برداشت چین اول (سانتی‌متر)، توانایی رشد مجدد (اندازه‌گیری ارتفاع مجدد بوته‌ها، ۱۴ روز پس از چین اول و کف‌بر کردن تا ارتفاع پنج سانتی‌متری، با متر نواری از سطح خاک تا انتهای جوانه انتهایی، برحسب سانتی‌متر)، عملکرد علوفه تر و خشک (کیلوگرم در هکتار)، درصد استقرار بوته (نسبت بوته‌های سبز شده به تعداد بذر کاشته‌شده در مرحله سه تا چهار برگی)، طول دوره سبز شدن (تعداد روز تا سبز شدن ۵۰ درصد بوته‌ها)، طول دوره گل‌دهی (شامل تعداد روز تا شروع گل‌دهی و گل‌دهی ۵۰



شکل ۲- وضعیت کلی مزرعه تحقیقاتی نخودفرنگی علوفه‌ای

Figure 2- General status of forage pea research farm

a: مقایسه ظاهری وضعیت ارقام مختلف، b: استقرار بوته و c: برداشت علوفه و تعیین عملکرد

a: Comparison of appearance of different varieties, b: plant establishment and c: harvesting of forage and determining yield

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت علوفه

برای تعیین کیفیت علوفه، حداقل ۵۰۰ گرم نمونه از هر تیمار در چین اول به صورت تصادفی برداشت شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس آسیاب شده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. صفات کیفی شامل درصد پروتئین خام^۱، کربوهیدرات‌های محلول در آب^۲، فیبر خام^۳، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی^۴ و خاکستر کل^۵ با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز نزدیک^۶ در طول موج ۲۴۰۰-۵۰۰ نانومتر براساس روش شرح داده‌شده توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) اندازه‌گیری گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس مرکب برای دو سال و چهار منطقه و مقایسه میانگین‌ها در هر منطقه به‌طور جداگانه با روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار (version 9.4) SAS انجام شد. به‌منظور ارزیابی پایداری و بررسی برهم‌کنش ارقام در محیط، تحلیل GGE-biplot انجام گردید. همچنین رتبه‌بندی ارقام و محاسبه انحراف معیار عملکرد در محیط‌های مختلف برای شناسایی ارقام برتر و پایدار صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی چندمحیطی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر عملکرد و ارزش زراعی

شاخص‌های آماری توصیفی نشان داد که پراکنش صفات عملکردی از جمله عملکرد علوفه تر و خشک، نسبتاً زیاد بوده است که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه ارقام و همچنین اثرپذیری آن‌ها از شرایط محیطی است (جدول ۳). مقادیر چولگی و کشیدگی نزدیک به صفر حاکی از انطباق مناسب داده‌ها با توزیع نسبتاً نرمال بوده و آزمون بارتلت نیز همگنی واریانس‌ها را پیش از انجام تجزیه واریانس مرکب تأیید کرد (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر مکان، سال، رقم و برهم‌کنش‌های آن‌ها برای اکثر صفات مورد بررسی معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که رقم گاپ‌پمبیسی (۸۳۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و زرّه (۵۳۲۷/۶ کیلوگرم در هکتار)

به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد علوفه خشک را داشته و سایر ارقام در بین این دو قرار گرفتند. همچنین از نظر صفت عملکرد علوفه تر، رقم گاپ‌پمبیسی (۲۳۶۴۹ کیلوگرم در هکتار) و رقم زرّه (۱۶۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند. برتری رقم گاپ‌پمبیسی از نظر عملکرد علوفه خشک می‌تواند ناشی از توانایی ژنتیکی بالاتر این رقم در جذب و انتقال مواد فتوسنتزی باشد که با یافته‌های سیدلاوسکاس و برنوتاس (Sidlauskas & Bernotas, 2003) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد گیاه و فرآیند تشکیل آن، همواره تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، محیطی و برهم‌کنش‌های آن‌ها قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد که اثر مکان در تمامی صفات مورد بررسی به‌ویژه در صفات عملکردی برجسته بود که نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده شرایط اقلیمی و مدیریتی در چهار منطقه آزمایشی است. این یافته با مشاهدات آنیچاریکو و همکاران (Annicchiarico, 2002) در خصوص تأثیر محیط روی صفات زراعی گیاهان علوفه‌ای مطابقت دارد. دادرس و همکاران (Dadras et al., 2020) گزارش کردند که عدم وجود اختلاف معنی‌دار در صفات مورد بررسی طی دو سال متوالی ارزیابی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای می‌تواند ناشی از مشابه بودن تقریبی شرایط آب‌وهوایی باشد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. وجود تنوع ژنتیکی معنی‌دار میان ارقام (اثر رقم در تمامی صفات) نشان‌دهنده پتانسیل مناسب برای گزینش ارقام برتر نخودفرنگی علوفه‌ای است. معنی‌دار بودن برهم‌کنش رقم در مکان در برخی صفات عملکردی و رشدی (جدول ۴) بیانگر آن است که واکنش ارقام در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و عملکرد ارقام تحت تأثیر تعامل رقم در محیط قرار می‌گیرد (Razmi et al., 2024). بنابراین، معرفی و توصیه ارقام برتر باید براساس پایداری عملکرد و سازگاری با شرایط هر منطقه صورت گیرد که با مشاهدات سایر محققان (Mohammadi et al., 2010; Yihunie & Gesesse, 2018) مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال بر ارتفاع بوته، عملکرد علوفه تر و خشک معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز تأیید کرد که میانگین این صفات در سال زراعی اول (۱۴۰۲-۱۴۰۳) و سال زراعی دوم (۱۴۰۳-۱۴۰۴) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵). در این پژوهش، اگرچه به‌دلیل شرایط نسبتاً پایداری جوی در دو سال آزمایش، تفاوت معنی‌داری بین دو

1- Crude protein
2- Water solution carbohydrate
3- Crude fiber
4- Acid detergent fiber
5- Ashes
6- PerCon Inframatic 8620 مدل

به اقلیم مرطوب، خاک حاصلخیز و شرایط مساعد رشد در منطقه گرگان نسبت داد که با یافته‌های تراشی و همکاران (Tarashi et al., 2020) مطابقت دارد. در مقابل، کمترین میزان عملکرد علوفه تر و خشک (به ترتیب ۱۴۲۱۷/۹ کیلوگرم در هکتار و ۵۰۲۸/۴ کیلوگرم در هکتار) در منطقه کرج ثبت شد که می‌تواند ناشی از محدودیت رطوبتی، دماهای بالاتر در دوره رشد و شرایط تنش‌زای محیطی در این منطقه باشد. مناطق کرمانشاه و مغان از نظر میزان عملکرد در سطح متوسط تا مطلوب قرار داشتند، بنابراین این مناطق از نظر پایداری رشد و ثبات تولید، وضعیت قابل قبولی داشتند.

سال مشاهده نشد، اما این ویژگی بیانگر پایداری ژنتیکی نسبی ارقام مورد بررسی است.

مقایسه میانگین مکان‌ها نشان داد که مناطق مختلف از نظر رشد و تولید تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). بیشترین عملکرد علوفه تر و خشک در منطقه گرگان ثبت شد. عملکرد علوفه تر در گرگان به ترتیب حدود ۴۸ درصد بیشتر از مغان، ۴۲ درصد بیشتر از کرمانشاه و ۵۲ درصد بیشتر از کرج بود. همچنین عملکرد علوفه خشک در گرگان به ترتیب حدود ۳۹ درصد بیشتر از مغان، ۲۸ درصد بیشتر از کرمانشاه و ۴۷ درصد بیشتر از کرج بود. این برتری عملکرد را می‌توان

جدول ۳- شاخص‌های آماری توصیفی و ارزیابی امکان انجام تجزیه مرکب در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای

Table 3- Descriptive statistical parameters and assessment of the assumptions for combined analysis of variance in forage pea cultivars

آماره Statistic	استقرار بوته Plant establishment	ارتفاع بوته در چین اول Plant height at first cutting	ارتفاع بوته در چین دوم Plant height at second cutting	عملکرد تر Fresh yield	عملکرد خشک Dry yield	کاشت تا سبز شدن Sowing to emergence	کاشت تا شروع گل‌دهی Sowing to beginning of flowering	کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی Sowing to 50% flowering	کاشت تا برداشت Sowing to harvest
میانگین Mean	88.7	106	17.1	19170	6826	19.2	6.83	16.6	168
انحراف معیار Standard deviation	15.4	40.5	6.96	6888	2157	6.88	2.16	3.78	18.3
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	17.4	38.3	40.9	35.9	31.6	35.9	31.6	22.8	10.9
چولگی Skewness	-1.36	0.356	0.432	0.943	1.17	0.947	1.17	-0.409	0.772
کشدگی Kurtosis	0.273	-1.32	-0.48	-0.50	0.471	-0.506	0.479	-0.517	0.109
مقدار کای اسکور آزمون بارتلت Bartlett's chi- square	14.9	47.4	81.7	125	103	4.67	29.8	29.5	21.7
احتمال معنی‌داری کای اسکور Significance level of chi- square	0.31 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.0005 ^{**}	<0.0001 ^{**}	<0.0001 ^{**}	1.00 ^{ns}	0.85 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.98 ^{ns}

^{ns}, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

^{ns}, * and **: indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای در چهار مکان و دو سال

Table 4- Combined analysis of variance for traits of forage pea cultivars evaluated across four locations and two years

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	استقرار بوته Plant establishment	ارتفاع بوته در چین اول Plant height at first cutting	ارتفاع بوته در چین دوم Plant height at second cutting	عملکرد تر Fresh yield	عملکرد خشک Dry yield	کاشت تا سبز شدن Sowing to emergence	کاشت تا شروع گل‌دهی Sowing to beginning of flowering	کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی Sowing to 50% flowering	کاشت تا برداشت Sowing to harvest
مکان Location	3	11498.3**	77260.4**	1004.1**	2007275023**	154664432.4**	2007.3**	154.7**	361.2**	10087.8**
سال Year	1	525.6**	10.51 ^{ns}	10.00 ^{ns}	1202702 ^{ns}	116100.6 ^{ns}	1.20*	0.12 ^{ns}	7.22**	3204.1**
مکان در سال Location × year	3	580**	1336**	77.88**	8980009**	1368561.8**	8.98**	1.37**	8.54**	1814.3**
بلوک (مکان در سال) Block (location × year)	24	0.94 ^{ns}	9.92 ^{ns}	4.08 ^{ns}	217746 ^{ns}	62807.8 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.97 ^{ns}
رقم Cultivar	4	41.3**	3913.5**	671.5**	272601642**	49134430.8**	272.6**	49.13**	148.32**	1699.2**
مکان در رقم Location × cultivar	12	52.4**	636.6**	110.9**	30595971**	5646069.3**	30.59**	5.64**	36.63**	529.8**
سال در رقم Year × cultivar	4	18.5**	8.83 ^{ns}	4.48 ^{ns}	136597 ^{ns}	23932.3 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.02 ^{ns}	10.88**	146.8**
مکان در سال در رقم Location × year × cultivar	12	11.9**	49.8**	4.28 ^{ns}	689185**	69603.8 ^{ns}	0.69**	0.07 ^{ns}	3.36**	50.5**
خطا Error	96	6.18	2.92	230138	47910.4	0.23	0.05	0.31	0.83	0.65
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		2.35	10.01	2.50	3.21	2.50	3.21	3.35	0.54	0.45

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

2022). دادرس و همکاران (Dadras et al., 2020) گزارش کردند که ارتفاع بوته نقش معنی‌داری در بروز عملکرد و اختلاف بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای ایفا می‌کند که با مشاهدات این پژوهش مطابقت

ارتفاع بوته ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای معمولاً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی قرار دارد و در یک محیط اختلاف ژنتیکی ارقام منجر به طول متفاوت بین آن‌ها می‌شود (Salehi Sheikhi et al.,

مختلف حائز اهمیت بوده و تفسیر برتری نهایی ارقام باید در چارچوب نتایج برهم‌کنش رقم در محیط و شاخص‌های پایداری انجام شود (Ahmadi et al., 2023). در مجموع، براساس میانگین عملکرد، رقم گاپ‌پمبسی به‌عنوان رقم برتر از نظر تولید علوفه و رقم برن به‌عنوان رقمی با قدرت رشد رویشی بالا قابل گزارش می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر مکان بر تمامی صفات فنولوژیک (روز تا جوانه‌زنی، روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک) معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کوتاه‌ترین دوره کاشت تا سبز شدن در کرمانشاه (۱۲ روز) و بلندترین آن در گرگان (۱۹ روز) بود که اختلافی حدود ۵۸ درصد را نشان می‌دهند (جدول ۵). دوره رشد گیاه در مناطق گرگان و پارس‌آباد به‌ترتیب ۱۹۷ روز و ۱۹۹ روز بود که به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر از مناطق کرج (۲۲۴ روز) و کرمانشاه (۲۰۶ روز) بود. به عبارت دیگر، طول دوره رشد در گرگان نسبت به کرج حدود ۲۷ روز (حدود ۱۴ درصد) کوتاه‌تر و نسبت به کرمانشاه حدود ۸ روز (حدود پنج درصد) کوتاه‌تر بود (جدول ۵). در صورت بروز تنش محیطی، رشد رویشی و عملکرد نخودفرنگی علوفه‌ای کاهش می‌یابد، به‌نحوی که میزان این کاهش به شدت تنش و مرحله‌ای از نمو که تنش رخ می‌دهد، بستگی دارد (Neamat Mohammed et al., 2021). بنابراین انتخاب مکان مناسب (گرگان و پارس‌آباد) که در طول دوره رشد این گیاه کمتر تحت تنش محیطی قرار گرفته و یا کاشت ارقامی که دوره رشد کوتاه‌تری (ارقام تاشکند و آردا) برای فرار از شرایط نامساعد محیطی در این مناطق را داشته باشند، توصیه می‌گردد.

ارقام از نظر زمان گل‌دهی بسیار متفاوت بودند (جدول ۵). نتایج نشان داد که رقم گاپ‌پمبسی با ۲۱۶ روز، دیررس‌ترین رقم بود که نسبت به رقم آردا (۱۹۴ روز) حدود ۲۲ روز (حدود ۱۱ درصد) و نسبت به رقم تاشکند (۱۹۹ روز) حدود ۱۷ روز (حدود هشت درصد) دیررس‌تر بود (جدول ۵). در مقابل، ارقام تاشکند (۱۹۹ روز) و آردا (۱۹۴ روز) به‌عنوان زودرس‌ترین ارقام شناسایی شدند (جدول ۵) که عملکرد کمتری داشتند (به‌ترتیب ۵۷۹۷/۶ و ۷۵۵۳/۷ کیلوگرم در هکتار)، اما برای مناطق با فصل رشد کوتاه یا اقلیم‌های گرم‌تر گزینه اقتصادی محسوب می‌شوند. ارتباط مثبت بین دیرگل بودن و افزایش عملکرد نشان داد که طولانی‌تر شدن دوره فتوسنتز نقش مؤثری در افزایش زیست‌توده دارد، یافته‌ای که با مشاهدات محققان دیگر مطابقت دارد (Yucel, 2013).

دارد. اختلاف عملکرد بین مناطق مختلف عمدتاً به برهم‌کنش رقم در محیط مربوط است و برخی ارقام (به‌ویژه رقم گاپ‌پمبسی) سازگاری عمومی بالایی دارند. مطالعات چندمحیطی نشان می‌دهند که سهم معنی‌داری از واریانس عملکرد به برهم‌کنش رقم در محیط اختصاص دارد و انتخاب رقم پایدار نیازمند آزمایش در چند سال و چند مکان است (Bocianowski et al., 2019; Das et al., 2019). این یافته مشابه نتایج این پژوهش در مورد رقم گاپ‌پمبسی است که در تمام مناطق، عملکرد برتری نشان داد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای از نظر عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار وجود داشت. رقم گاپ‌پمبسی در تمامی مناطق بالاترین میزان عملکرد علوفه تر و خشک (به‌ترتیب ۲۳۶۴۹/۰ کیلوگرم در هکتار و ۸۳۱۲/۲ کیلوگرم در هکتار) را داشت و از نظر صفات رشدی مانند ارتفاع بوته (حدود ۱۲۱ سانتی‌متر) و درصد استقرار (حدود ۸۹ درصد) نیز برتر بود (جدول ۵). رقم برن با عملکرد علوفه خشک ۷۵۵۳/۷ کیلوگرم در هکتار (حدود ۸ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی)، ارتفاع بوته حدود ۱۰۹ سانتی‌متر و توانایی رشد مجدد (بالاترین ارتفاع بوته در چین دوم حدود ۲۱ سانتی‌متر) در رتبه دوم قرار گرفت (جدول ۵). رقم آردا با عملکرد علوفه خشک ۷۱۴۳/۵ کیلوگرم در هکتار (حدود ۱۴ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی) عملکرد متوسط، اما پایداری نسبی نشان داد. ارقام زرّه و تاشکند نیز به‌ترتیب با عملکرد ۵۳۲۷/۶ و ۵۷۹۷/۶ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب ۳۶ و ۳۰ درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی) عملکرد پایین‌تری داشتند، ولی استقرار قابل قبولی (به‌ترتیب حدود ۸۸ و ۹۰ درصد) از خود نشان دادند (جدول ۵). بنابراین، در شرایطی که هدف تولید کمی علوفه باشد، ارقام برن، آردا و گاپ‌پمبسی در مقایسه با ارقام زرّه و تاشکند برتری داشتند. در انتخاب رقم برای تولید کمی علوفه، صفاتی مانند ارتفاع بلند و توانایی رشد مجدد مزیت محسوب می‌شوند (Şenbek et al., 2025) که با یافته‌های این پژوهش مطابق دارد. ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای با دوره رشد طولانی در برخی شرایط محیطی (به‌ویژه در اقلیم‌های خنک‌تر یا با طول فصلی بالاتر) عملکرد نسبتاً بالاتری داشتند (Parissi et al., 2022) که با یافته‌های حاصل از این پژوهش در خصوص رقم گاپ‌پمبسی که به‌عنوان دیرگل‌ترین و دیررس‌ترین رقم دارای بالاترین میزان عملکرد تر و خشک علوفه بودند، مطابقت دارد. ارزیابی برهم‌کنش ارقام جدید در محیط‌های

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای براساس تجزیه واریانس مرکب در سطوح عامل‌های مورد مطالعه

Table 5- Mean comparison of forage pea cultivars based on the combined analysis of variance in the levels of studied factors

عامل‌های مورد مطالعه Studied factors	سطح Level	استقرار بوته (درصد) Plant establishment (%)	ارتفاع بوته در چین اول (سانتی‌متر) Plant height at first cutting (cm)	ارتفاع بوته در چین دوم (سانتی‌متر) Plant height at second cutting (cm)	عملکرد تر (کیلوگرم در هکتار) Fresh yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry yield (kg.ha ⁻¹)	کاشت تا سبز شدن (روز) Sowing to emergence (day)	کاشت تا شروع گل‌دهی (روز) Sowing to beginning of flowering (day)	کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی (روز) Sowing to 50% flowering (day)	کاشت تا برداشت (روز) Sowing to harvest (day)
سال Year	سال اول First year	90.56 a*	106.01 a	16.82 a	19083.0 a	6800.0 a	16.7 a	163.5 b	174.4 b	203.7 a
	سال دوم Second year	86.93 a	105.50 a	17.31 a	19257.0 a	6853.9 a	16.3 a	172.1 a	184.3 a	208.1 a
LSD 5%		4.80	12.68	2.18	2157.7	675.58	1.18	5.56	5.64	4.99
مکان Location	پارس آباد Parsabad	95.40 b	125.30 b	13.60 c	15540.7 c	5854.0 c	17.5 b	154.1 d	165.4 d	199.5 c
	کرمانشاه Kermanshah	100.0 a	75.52 c	12.60 c	17295.4 b	6875.2 b	12.2 c	168.2 b	179.6 b	206.5 b
	کرج Karaj	63.50 c	63.97 d	18.60 b	14217.9 c	5028.4 d	17.6 b	190.1 a	201.6 a	224.9 a
	گرگان Gorgan	96.10 b	158.22 a	23.47 a	29626.4 a	9550.2 a	19.1 a	159.4 c	171.5 c	197.3 c
	LSD 5%	2.06	5.99	2.43	1379.5	587.02	1.22	5.37	5.68	4.94
رقم Cultivars	زره Zerre	88.12 a	91.09 b	9.18 c	16022.0 c	5327.6 c	18.3 a	164.7 bc	177.1 bc	213.1 ab
	گاپ‌پمبسی Gap Pembesi	88.68 a	121.21 a	18.56 ab	23649.0 a	8312.2 a	14.6 b	178.9 a	190.6 a	216.0 a
	آردا Arda	89.25 a	106.93 ab	19.28 ab	18962.0 bc	7143.5 b	17.9 a	163.1 c	174.8 bc	194.7 c
	برن Beren	87.34 a	108.75 ab	20.91 a	19918.0 b	7553.7 ab	18.2 a	171.8 ab	182.2 ab	207.0 b
	تاشکند Tashkent	90.34 a	100.78 b	17.41 b	17299.0 bc	5797.6 c	13.9 b	161.3 c	173.0 c	199.6 c
LSD 5%		7.70	19.63	2.81	3186.5	924.33	1.62	8.56	8.82	6.99

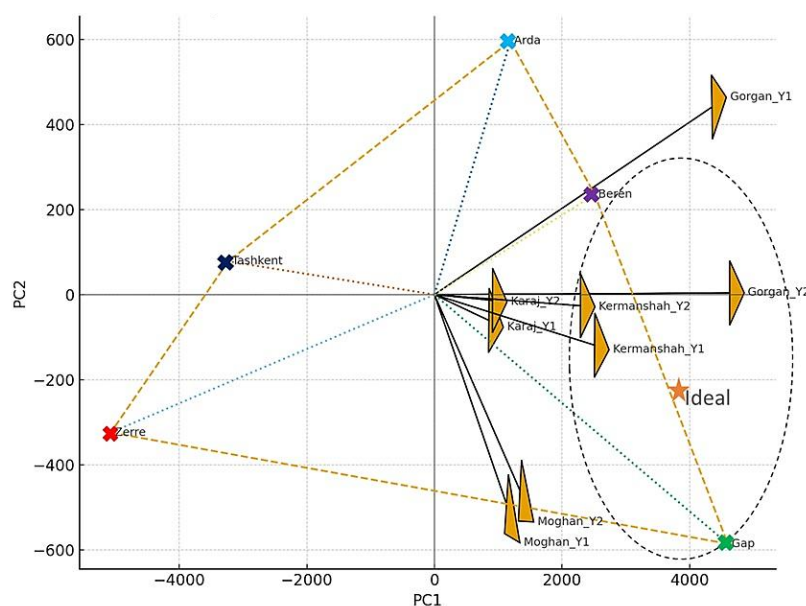
* اعدادی که با حروف مختلف نشان داده شده‌اند با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشتند.

* Different letters indicate significant differences according to least significant difference test at the level $P \leq 0.05$

محیطی رفتار سازگار و پایدار دارد. در مقابل، ارقام برن و آردا در داخل محدوده چندضلعی و دورتر از مرزهای آن قرار دارند که نشان‌دهنده عملکرد پایین‌تر و دامنه سازگاری محدودتر آن‌ها است (شکل ۳). ارقام برن و آردا رتبه‌های دوم و سوم را داشتند و از ثبات نسبی مناسبی برخوردار بودند، اگرچه میانگین عملکرد آن‌ها پایین‌تر از رقم گاپ‌پمبسی بود. در پژوهش‌های مختلفی از تحلیل GGE-biplot به منظور شناسایی ارقام برتر و ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ نخودفرنگی طی سه سال متوالی در چهار مکان شمال اتیوپی (Yihunie & Gesesse, 2018) و هفت رقم نخودفرنگی طی دو سال متوالی در شهرستان طارم استفاده شده است (Dadras et al., 2020).

شناسایی ارقام برتر و پایدار براساس تحلیل GGE-biplot

تحلیل GGE-biplot نشان داد که در نمودار چندضلعی (الگوی برتری ارقام در محیط‌ها)، رقم گاپ‌پمبسی در رأس تمامی چندضلعی قرار گرفته و بخش وسیعی از محیط‌ها را در بر گرفته است که نشان‌دهنده برتری عمومی و سازگاری گسترده آن است (شکل ۳). این پدیده حاکی از ثبات عملکرد بالای رقم گاپ‌پمبسی در تمامی مناطق آزمون طی دو سال زراعی است. چنین الگویی از دیدگاه به‌نژادی، یکی از ویژگی‌های کلیدی برای معرفی رقم جدید محسوب می‌شود، زیرا نشان می‌دهد که رقم گاپ‌پمبسی در پاسخ به تغییرات



شکل ۳- نمودار چندضلعی (الگوی برتری ارقام در محیط‌ها) مدل GGE-biplot برای عملکرد علوفه خشک ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای در محیط‌های مختلف

Figure 3- Polygon view (which-won-where) of the GGE-biplot for dry yield of forage pea cultivars across environments

علوفه در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی و شرایط اقلیمی مناطق مختلف قرار دارد.

تحلیل همبستگی بین صفات فنولوژیک و عملکردی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

تحلیل همبستگی بین صفات فنولوژیک و عملکردی (جدول ۶) نشان داد که برخی از صفات مورد بررسی دارای روابط معنی‌دار آماری با یکدیگر هستند. بالاترین ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد علوفه تر و خشک مشاهده شد ($r = 0.99$, $p < 0.01$). این یافته از نظر اقتصادی حائز اهمیت است، زیرا اندازه‌گیری یکی از این دو صفت برای برآورد دیگری کافی است و هزینه‌های ارزیابی را کاهش می‌دهد. از نظر صفات ریخت‌شناسی، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته در چین اول با عملکرد علوفه تر ($r = 0.96$, $p < 0.05$) و عملکرد علوفه خشک ($r = 0.95$, $p < 0.05$) وجود داشت که نشان‌دهنده نقش مؤثر ارتفاع بوته در افزایش تولید ماده خشک و عملکرد نهایی است. در زمینه نقش ارتفاع بوته به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد در لگوم‌های علوفه‌ای، همبستگی مثبت بین عملکرد علوفه با ارتفاع بوته گزارش شده است (Majidi & Arzani, 2012). این همبستگی، به روشنی تأیید می‌کند که ارتفاع بوته شاخصی معتبر برای برآورد توان رقابتی و ظرفیت انباشت ماده خشک در گیاه به شمار می‌رود. از نظر به‌نژادی، این رابطه به‌وضوح نشان‌دهنده آن است که انتخاب ژنوتیپ‌های بلندقامت، به‌طور

در مجموع، عملکرد علوفه نخودفرنگی علوفه‌ای تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی است و انتخاب رقم مناسب نیازمند بررسی چندساله و چندمکانه است (Dadras et al., 2020) که با مشاهدات این پژوهش مطابقت دارد. رقم گاپ‌پمبسی به‌عنوان رقم برتر از نظر عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته، درصد استقرار و پایداری عملکرد در تمامی مناطق شناسایی شد. ارقام برن و آردا نیز به‌عنوان ارقامی مکمل با رشد رویشی قوی و پایداری نسبی، گزینه‌های مناسبی برای شرایط خاص منطقه‌ای و برنامه‌های ترویج محسوب می‌شوند. نتایج نشان داد که معرفی ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای باید براساس شرایط اقلیمی، طول دوره رشد و پایداری عملکرد در هر منطقه انجام گیرد تا بیشترین بازدهی تولید علوفه حاصل شود. این پژوهش ضمن همسویی با یافته‌های شایان فر و همکاران (Shayanfar et al., 2025) برای ارقام مرجع (آردا، برن و تاشکند)، برای اولین بار عملکرد و کیفیت علوفه دو رقم جدید (زره و گاپ‌پمبسی) را در چهار منطقه مختلف ایران ارزیابی نموده است. آن‌ها گزارش کردند که ارقام برن و آردا پایداری بالاتری داشتند و رقم تاشکند کمترین پایداری را نشان داد. ارزیابی واکنش ارقام در شرایط محیطی مختلف رشد گیاه از اهمیت بسزایی در کشت و کار نخودفرنگی دارد (Georgieva & Kosev, 2020). جمع‌بندی تحلیل‌های چندمحیطی نشان داد که انتخاب ارقام دیررس و پایدار در شرایط اقلیمی معتدل و نیمه‌خشک کشور می‌تواند راهبردی مؤثر برای افزایش پایداری تولید علوفه باشد. به‌طور کلی، نتایج این بخش نشان داد که عملکرد و پایداری تولید

انباشت ماده خشک بیشتر می‌گردد. این همان سازوکار فیزیولوژیکی است که برتری آشکار رقم دیررس گاپ‌پمبسی را در قبال ارقام زودرس تاشکند و آردا توجیه می‌کند. در مقابل، صفت استقرار بوته همبستگی معنی‌داری با هیچ یک از صفات عملکردی و فنولوژیک نشان نداد که بیانگر استقلال نسبی این صفت نسبت به سایر ویژگی‌های زراعی است. این ویژگی به‌ویژه در کشاورزی مکانیزه که یکنواختی سبز شدن و تراکم مطلوب بوته حائز اهمیت است، از ارزش راهبردی بالایی برخوردار می‌باشد. در مجموع، نتایج همبستگی نشان می‌دهد که ارتفاع بوته و طول دوره رشد می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های غیرمستقیم و کم‌هزینه برای گزینش ارقام پرمحصول نخودفرنگی علوفه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

غیرمستقیم اما مؤثر، با دستیابی به ارقامی دارای پتانسیل عملکرد برتر همراه خواهد بود؛ چراکه ارتفاع بیشتر، بستر فیزیولوژیکی مناسبی برای افزایش سطح فتوسنتز و جذب بهینه تابش خورشیدی فراهم می‌آورد. بررسی همبستگی صفات فنولوژیکی نشان داد که همبستگی بسیار قوی و معنی‌داری بین روز تا شروع گل‌دهی و تا ۵۰ درصد گل‌دهی ($r = 0.99, p < 0.01$) و همچنین بین این دو صفت تا برداشت (به‌ترتیب $r = 0.90$ و $r = 0.92, p < 0.05$) وجود داشت که نشان‌دهنده این است که ارقام دیرگل‌تر، دیررس‌تر بوده و دوره رشد طولانی‌تری دارند. این یافته با مشاهدات گزارش شده توسط بخشی و همکاران (Bakhshi et al., 2021) مطابقت دارد. طولیل شدن دوره رشد رویشی، هرچند که فرآیند رسیدگی را به تعویق می‌اندازد، اما ظرفیت فتوسنتزی گیاه را به‌شکل چشم‌گیری افزایش داده و زمینه‌ساز

جدول ۶- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات فنولوژیک و عملکردی در ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای

Table 6- Pearson correlation coefficients between phenological and yield-related traits in forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivars

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9
(۱) استقرار بوته (1) Plant establishment	1								
(۲) ارتفاع بوته در چین اول (2) Plant height at first cutting	-0.21 ^{ns}	1							
(۳) ارتفاع بوته در چین دوم (3) Plant height at second cutting	-0.46 ^{ns}	0.74 ^{ns}	1						
(۴) عملکرد تر (4) Fresh yield	-0.29 ^{ns}	0.96*	0.83	1					
(۵) عملکرد خشک (5) Dry yield	-0.31 ^{ns}	0.95*	0.86 ^{ns}	0.99**	1				
(۶) کاشت تا سبز شدن (6) Sowing to emergence	0.42 ^{ns}	-0.53 ^{ns}	-0.64 ^{ns}	-0.62 ^{ns}	-0.59 ^{ns}	1			
(۷) کاشت تا شروع گل‌دهی (7) Sowing to beginning of flowering	-0.58 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.63 ^{ns}	0.64 ^{ns}	-0.85 ^{ns}	1		
(۸) کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی (8) Sowing to 50% flowering	-0.55 ^{ns}	0.61 ^{ns}	0.64 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.68 ^{ns}	-0.87 ^{ns}	0.99**	1	
(۹) کاشت تا برداشت (9) Sowing to harvest	-0.53 ^{ns}	0.58 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.64 ^{ns}	-0.72 ^{ns}	0.90*	0.92*	1

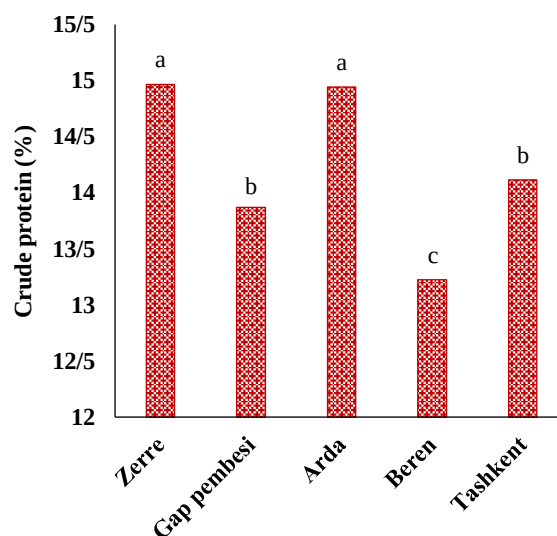
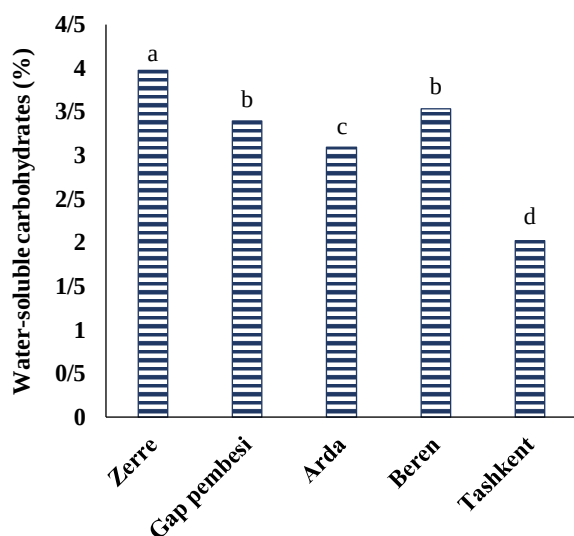
^{ns}، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

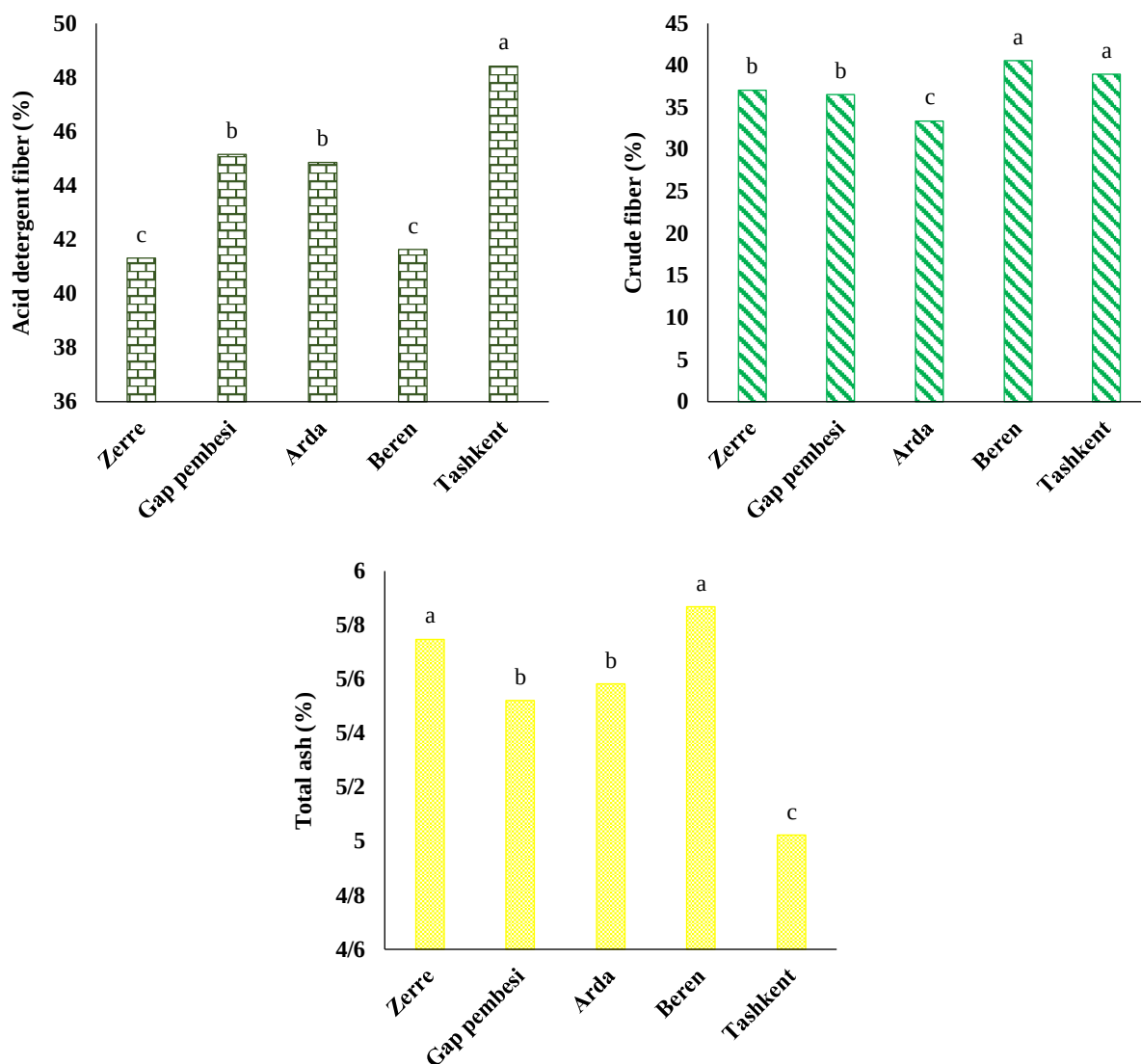
^{ns}, * and **: indicate non-significant differences and significant differences at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای و ارتباط آن با عملکرد

نتایج نشان داد که ارقام مورد بررسی از نظر صفات کیفی (درصد پروتئین خام، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی، فیبر خام و کربوهیدرات‌های محلول در آب) با یکدیگر متفاوت بودند (شکل ۴)؛ به‌طوری که درصد پروتئین خام در ارقام بین ۱۳/۲۲ تا ۱۴/۹۷ درصد متغیر بود که بیشترین میزان مربوط به رقم زرّه و کمترین مقدار مربوط به رقم برن بود. همچنین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی بین ۴۱/۳۱ (رقم زرّه) تا ۴۸/۴۲ (رقم تاشکند)، فیبر خام بین ۳۳/۴۰ (رقم آردا) تا ۳۸/۹۹ (رقم تاشکند)، خاکستر کل بین ۵/۰۲ (رقم تاشکند) تا ۵/۸۷ (رقم برن) و کربوهیدرات‌های محلول در آب بین ۲/۰۲ (رقم تاشکند) تا ۳/۹۷ (رقم زرّه) درصد متغیر بودند. براساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۴، رقم زرّه با ۱۴/۹۷ درصد پروتئین خام (بالاترین مقدار در مقایسه با سایر ارقام)، ۳/۹۷ درصد کربوهیدرات محلول در آب (بیشترین مقدار) و ۴۱/۳۱ درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (کمترین مقدار)، ترکیبی متعادل و برتر از نظر ارزش تغذیه‌ای ارائه داد که آن را در موقعیت برتری نسبت به سایر ارقام قرار می‌دهد. در مقابل، رقم گاپ‌پمبسی با ۴۵/۱۵ درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (دومین مقدار بالا در مقایسه با سایر ارقام) و ۳۶/۵۶ درصد فیبر خام، به‌دلیل فیبر نامحلول نسبتاً بالا، قابلیت هضم و ارزش انرژی کمتری نسبت به سایر ارقام نشان داد (شکل ۴). رقم تاشکند با ۳۸/۹۹ درصد فیبر نامحلول (بیشترین مقدار) و ۲/۰۲ درصد کربوهیدرات محلول در آب (کمترین مقدار)، ضعیف‌ترین وضعیت را از نظر مصرف‌پذیری و قابلیت هضم ارائه کرد (شکل ۴). رقم آردا با ۳۳/۴۰ درصد فیبر خام (پایین‌ترین مقدار در بین ارقام) و ۴۴/۸۶ درصد

فیبر نامحلول (حدود ۸ درصد بیشتر از رقم زرّه)، دارای فیبر نامحلول بالایی بود که ممکن است هضم را محدود کند. رقم برن با ۴۰/۵۴ درصد فیبر خام (بالاترین مقدار در بین ارقام) و ۴۱/۶۴ درصد فیبر نامحلول (حدود ۸ درصد بیشتر از رقم زرّه)، دارای فیبر نامحلول بالایی بود که ممکن است هضم را محدود کند. رقم برن عملکرد تغذیه‌ای مشابه رقم گاپ‌پمبسی نشان داد، به‌طوری که میزان پروتئین خام در رقم برن (۱۳/۲۲ درصد) حدود پنج درصد کمتر از رقم گاپ‌پمبسی بود. فیبر نامحلول در شوینده اسیدی رقم برن (۴۱/۶۴ درصد) حدود هشت درصد کمتر رقم گاپ‌پمبسی بود، درحالی که فیبر خام (۴۰/۵۴ درصد) حدود ۱۰ درصد بیشتر از رقم گاپ‌پمبسی بود. این تفاوت‌ها بیانگر تنوع ژنتیکی قابل توجه از نظر ترکیب شیمیایی علوفه و ظرفیت تغذیه‌ای ارقام مورد بررسی است. اختلاف مشاهده‌شده از لحاظ درصد خاکستر احتمالاً ناشی از تفاوت در جذب عناصر معدنی و شرایط خاک مناطق آزمایشی بوده است، بااین‌حال به‌دلیل محدود بودن دامنه تغییرات این صفت بین ارقام، نقش تعیین‌کننده‌ای در تفکیک ارقام از نظر برتری تغذیه‌ای نداشت. میزان خاکستر اندازه‌گیری‌شده توسط ارقام مورد بررسی در این پژوهش در محدوده درصد خاکستر (کمتر از ۱۰ درصد) گزارش شده از رقم مرز نخودفرنگی می‌باشد (Ghasembaghlou et al., 2023). یافته‌های این پژوهش نشان داد که شاخص‌هایی چون درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب، علاوه بر درصد پروتئین خام و فیبر خام، در تفاوت کیفیت تغذیه‌ای ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مؤثر هستند. این نتایج با پیشنهاد چاتال و همکاران (Çatal et al., 2024) مبنی بر استفاده از این شاخص‌ها برای ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای مطابقت دارد.





شکل ۴- مقایسه شاخص‌های کیفی علوفه در ارقام مختلف نخودفرنگی علوفه‌ای
Figure 4- Comparison of forage quality traits among forage pea cultivars

میانگین داده‌ها ± خطای استاندارد ارائه شده‌اند.

اعدادی که با حروف مختلف نشان داده شده‌اند با توجه به آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار داشتند.

اختصارات شکل: پروتئین خام (■)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (▨)، فیبر خام (▤)، فیبر نامحلول در شوینده اسیدی (▧) و خاکستر کل (■).

Data are means ± standard error.

Different letters indicate significant differences according to the least significant difference test at the level $P \leq 0.05$.

Abbreviations used in the figure: Crude protein (■), Water-soluble carbohydrates (▨), Crude fiber (▤), Acid detergent fiber (▧) and Total ash (■).

نتایج نشان داد که تفاوت بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مورد ارزیابی در این پژوهش عمدتاً از نظر ترکیب دیواره سلولی (شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر خام) و در دسترس بودن کربوهیدرات‌های محلول تعیین می‌شود. فیبر نامحلول به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان غیرقابل هضم بودن آن برای دام گزارش شده است (Javanmard et al., 2019). میزان فیبر نامحلول در شوینده اسیدی اندازه‌گیری شده (۴۱-۴۹ درصد) توسط ارقام مورد بررسی در این پژوهش بیشتر از میزان گزارش‌شده در تیمارهای تحت تأثیر کود زیستی و شاهد رقم مراز نخودفرنگی (۳۳-۴۰ درصد) بود (Ghasembaghlou et al., 2023). تحقیقات پژوهشگران دیگر نشان داده‌اند که افزایش درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی

نتایج نشان داد که تفاوت بین ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مورد ارزیابی در این پژوهش عمدتاً از نظر ترکیب دیواره سلولی (شامل درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و فیبر خام) و در دسترس بودن کربوهیدرات‌های محلول تعیین می‌شود. فیبر نامحلول به‌عنوان شاخصی برای بیان میزان دیواره سلولی گیاه و نیز عامل مهمی برای تعیین میزان غیرقابل هضم بودن آن برای دام گزارش شده است

معمولاً با کاهش قابلیت هضم و انرژی قابل استفاده در علوفه همراه است و بنابراین این شاخص نقش کلیدی در مقایسه ارزش تغذیه‌ای ارقام دارد (Xu et al., 2024). افزون بر این، مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب به‌عنوان عامل تعیین‌کننده‌ای در بهبود طعم‌پذیری و توازن نیتروژن با انرژی در شکمبه شناخته شده است. رقم‌هایی با درصد کربوهیدرات‌های محلول در آب بالاتر مانند رقم زرّه در این پژوهش، احتمالاً حمایت بهتری از میکروبیوم شکمبه برای تبدیل نیتروژن قابل‌دسترس به پروتئین میکروبی فراهم می‌کنند (Sun et al., 2022). میزان پروتئین خام علوفه خشک ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای مورد مطالعه در این پژوهش در محدوده ۱۳ تا ۱۵ درصد ارزیابی شد که کمتر از درصد پروتئین اندازه‌گیری‌شده ارقام مورد بررسی توسط پاورز و ثاواراجا (Powers & Thavarajah, 2019) و رقم مراز نخودفرنگی (Ghasembaghlou et al., 2023) می‌باشد. به‌طور کلی، رقم زرّه بهترین کیفیت علوفه را ارائه داد، درحالی‌که ارقام گاپ‌پمبسی و تاشکند پایین‌ترین ارزش تغذیه‌ای را داشتند، که این یافته‌ها می‌تواند راهنمایی مناسبی برای انتخاب ارقام با کیفیت علوفه بالا در برنامه‌های اصلاح نباتات باشد.

اگرچه در این پژوهش درجه ورس به‌صورت کمی اندازه‌گیری نشد، اما مشاهدات مزرعه‌ای نشان داد که ارقام با عملکرد بالا و رشد رویشی قوی مانند رقم گاپ‌پمبسی، حساسیت بیشتری به ورس و خوابیدگی ساقه داشتند. در مقابل، ارقام با ارتفاع بوته پایین‌تر مانند رقم زرّه (ارتفاع ۹۱ سانتی‌متر) خوابیدگی کمتری نشان دادند. از آنجایی‌که ورس و خوابیدگی ساقه یکی از عوامل محدودکننده برداشت مکانیزه نخودفرنگی علوفه‌ای محسوب می‌شود، پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی، مقاومت به ورس به‌صورت کمی به‌عنوان یکی از معیارهای اصلی انتخاب رقم برای کشت مکانیزه مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که ارزیابی هم‌زمان صفات رشدی، عملکردی و شاخص‌های کیفی تغذیه‌ای می‌تواند تصویر دقیقی از توان بالقوه ارقام نخودفرنگی علوفه‌ای ارائه دهد. از سوی دیگر، تحلیل چندمکانه و چندساله نشان داد که اثرات محیطی، تغییرات سالیانه و تفاوت‌های ژنتیکی به‌طور هم‌زمان روی صفات رشدی و عملکردی

تأثیر گذاشته و ارزیابی برهم‌کنش رقم در مکان ضرورت توجه به سازگاری منطقه‌ای و ثبات عملکرد را دوچندان می‌سازد. به‌طور کلی، رقم گاپ‌پمبسی با داشتن بالاترین عملکرد علوفه تر و خشک، ارتفاع بوته مطلوب، استقرار مناسب و سازگاری وسیع در اغلب محیط‌ها به‌عنوان برترین رقم شناخته شد. تحلیل همبستگی صفات در این پژوهش نشان داد که عملکرد علوفه تر و خشک دارای همبستگی بسیار قوی و مثبت بودند که این یافته از نظر اقتصادی و عملی حائز اهمیت است، زیرا اندازه‌گیری یکی از این دو صفت برای برآورد دیگری کافی بوده و هزینه‌های ارزیابی را کاهش می‌دهد. همچنین ارتفاع بوته با عملکرد خشک همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت و می‌تواند به‌عنوان شاخص غیرمستقیم برای گزینش ارقام پرمحصول استفاده شود. ارقام دیرگل‌تر با دوره رشد طولانی‌تر، عملکرد بالاتری داشتند که نقش مثبت طول دوره رشد در تولید ماده خشک را تأیید می‌کند. در مجموع، استفاده از شاخص‌هایی مانند ارتفاع بوته و زودرسی می‌تواند فرآیند انتخاب ارقام برتر نخودفرنگی علوفه‌ای را تسریع کرده و کارایی برنامه‌های به‌نژادی را افزایش دهد. رقم برن نیز با رشد رویشی قوی و توان بازرویش بالا می‌تواند برای مناطق معتدل‌تر به‌عنوان رقم مکمل مورد استفاده قرار گیرد، اگرچه از نظر کیفیت تغذیه‌ای در رتبه پایین‌تری نسبت به رقم زرّه قرار می‌گیرد. ترکیب نتایج کیفی و عملکردی نشان می‌دهد که اگرچه رقم زرّه دارای کیفیت علوفه مناسب‌تری می‌باشد، اما برای انتخاب رقم برتر در مقیاس کشاورزی، پایداری عملکرد و سازگاری در محیط‌های مختلف معیارهای کلیدی هستند که رقم گاپ‌پمبسی در آن‌ها برتری دارد. در مجموع، نتایج این تحقیق تأکید می‌کند که انتخاب رقم مناسب باید براساس هدف تولید، طول فصل رشد و شرایط اقلیمی منطقه انجام گیرد. یافته‌های این پژوهش دیدگاه مناسبی را برای برنامه‌ریزی تولید علوفه، توصیه زراعی و توسعه کشت ارقام با عملکرد و کیفیت بالاتر فراهم می‌سازد.

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت مالی مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال برای این پژوهش با کد مصوب ۰۴-۰۸-۰۸-۰۳۲-۰۲۰۷۳۰ تشکر و قدرانی می‌نمایند.

References

- Ahmadi, M., Omid, M., Shahnejat boshehri, A. A., & Amirbakhtiar, N. (2023). Evaluation of yield stability of promising winter rapeseed lines in cold and semi-cold climate of Iran. *Journal of Plant Production Research*, 30, 67-84. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.20114.2927>
- Annicchiarico, P. (2002). Defining adaptation strategies and yield stability targets in breeding programmes. In M. S. Kang, (Ed). *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding*, CABI, Wallingford, UK, pp. 365-383.

- Asci, O., Acar, Z., & Arici, Y. K. (2015). Hay yield, quality traits and interspecies competition of forage pea-triticale mixtures harvested at different stages. *Turkish Journal of Field Crops*, 20, 166-173. <https://doi.org/10.17557/tjfc.83484>
- Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agro-morphological traits diversity in cowpea landraces originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal Pulses Research*, 12, 85-103. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.87704>
- Bocianowski, J., Książak, J., & Nowosad, K. (2019). Genotype by environment interaction for seed yield in pea (*Pisum sativum* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model. *Euphytica*, 215, 191. <https://doi.org/10.1007/s10681-019-2515-1>
- Bueckert, R. A., Wagenhoffer, G., Hnatowich, C., & Warkentin, T. D. (2015). Effect of heat and precipitation on pea yield and reproductive performance in the field. *Canadian Journal of Plant Science*, 95, 629-639. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-342>
- Çağan, E., Kökten, K., Bakoğlu, A., Kaplan, M., & Bozkurt, A. (2019). Evaluation of some forage pea (*Pisum arvense* L.) lines and cultivars in terms of herbage yield and quality. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23, 254-262. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.446423>
- Çatal, M. İ., Çelik, Ş., & Bakoğlu, A. (2024). Investigation of factors affecting fresh herbage yield in pea (*Pisum arvense* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, 1482723. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1482723>
- Dadras, A. R., Azimi, M., Khodadadi, M., Aghabeygi, M., Abdolahi, A., & Mohamadi, A. (2020). Investigation the agronomic traits, yield and stability of different pea (*Pisum sativum* L.) cultivars in tarom region of Iran using graphical analysis. *Journal of Vegetables Sciences*, 4, 113-130. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2020.130891.1109>
- Das, A., Parihar, A. K., Saxena, D., Singh, D., Kushwaha, K. P. S., Chand, R., Bal, R. S., & Gupta, S. (2019). Deciphering genotype-by-environment interaction for targeting test environments and rust resistant genotypes in field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 825. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00825>
- FAOSTAT. (2026). FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. Retrieved February 26, 2026. From <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCinfo>
- Georgieva, N., & Kosev, V. (2020). Model of forage pea (*Pisum sativum* L.) cultivar in conditions of organic production. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26, 91-95.
- Ghasembaghlou, M., Sedghi, M., Seyedsharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). The effect of biofertilizer application and different levels of drought stress on yield and forage quality of pea (*Pisum sativum* L.) emaraz cultivar. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33, 85-96. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.50968.2856>
- Greveniotis, V., Bouloumpasi, E., Zotis, S., Korkovelos, A., & Ipsilandis, C. G. (2022). Stability, the last frontier: forage yield dynamics of peas under two cultivation systems. *Plants*, 11, 892. <https://doi.org/10.3390/plants11070892>
- Haile, G. A., Kebede, G. Y., & Eritro, T. A. (2022). Biplot analysis of field pea genotypes by environment interaction and yield stability across eight environments in arsi zone. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 7, 14-23. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2022/v7i330142>
- Haliloglu, K., Turkoglu, A., Tan, M., & Poczar, P. (2022). SSR-based molecular identification and population structure analysis for forage pea (*Pisum sativum* var. Arvense L.) landraces. *Genes*, 13, 1086. <https://doi.org/10.3390/genes13061086>
- Herridge, D. F., Peoples, M. B., & Boddey, R. M. (2008). Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and Soil*, 311, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9668-3>
- Hu, C., Cun, J., Soliman, A. A., Yang, F., Ghareeb, Z. E., Yuan, X., Yang, T., Wang, X., Zhang, J., Xiang, C., Zhao, L., Liu, C., Luo, G., Zhou, B., Zhu, X., Tang, Y., Wang, R., Yu, H., Yang, X., Wang, Y., Dai, Z., Zheng, A., Li, Q., Xia, X., Chen, X., & He, Y. (2025). Agronomic performance and yield stability of field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in multi-environment trials. *BMC Plant Biology*, 25, 1670. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07721-1>
- Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A., & Walsh, E. J. (2003). A note on estimation of quality parameters in perennial ryegrass by near infrared reflectance spectroscopy. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 42, 293-299.
- Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Eskandari, H. (2019). Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) Intercropping system in maragheh rainfed conditions. *Journal of Agroecology*, 11, 435-452. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.65105>

- Kebede, G., Eritro, T. A., & Gutu, D. T. (2024). Genotype $\times$ environment interaction and stability analysis of advanced field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in southeastern Ethiopia. *Ecological Genetics and Genomics*, 33, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2024.100302>
- Majidi, M. M., & Arzani, A. (2012). Study of relationship between morphological, agronomic and qualitative traits in sainfoin populations (*Onobrychis viciifolia* Scop). *Journal of Plant Production Research*, 16, 159-173. (In Persian).
- Mirza, A., & Çopur Doğrusöz, M. (2024). Silage yield and quality of forage peas and Hungarian vetch and triticale binary mixtures. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 38, 434-444. <https://doi.org/10.15316/SJAIFS.2024.039>
- Mohammadi, R., Mohammadi, M., Karimizadeh, R., & Amri, A. (2010). Analysis of genotype-by-environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat genotypes in warm winter areas of Iran. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 13, 267-274. (In Persian).
- Neamat Mohammed, T., Jalali Honarmand, S., Eghbal Ghobadi, M., & Rasaei, A. (2021). Effects of exogenous application of plant hormones on yield and physiological characteristics of pea under supplemental irrigation. *Journal of Vegetables Sciences*, 5, 197-213. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/IUVS.2021.531953.1167>
- Parissi, Z., Irakli, M., Tigka, E., Papastylianou, P., Dordas, C., Tani, E., Abraham, E. M., Theodoropoulos, A., Kargiotidou, A., Kougiteas, L., Kousta, A., Koskosidis, A., Kostoula, S., Beslemes, D., & Vlachostergios, D. N. (2022). Analysis of genotypic and environmental effects on biomass yield, nutritional and antinutritional factors in common vetch. *Agronomy*, 12, 1678. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071678>
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Dakora, F. D., Bhattarai, S., Maskey, S. L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D. F., Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E. S. (2009). The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis*, 48, 1-17. <https://doi.org/10.1007/BF03179980>
- Powers, S. E., & Thavarajah, D. (2019). Checking agriculture's pulse: field pea (*Pisum sativum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 1489. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01489>
- Rahmani, M., Sheidai, S., Zamanian, M., Moghadam, A., Ahakpaz, F., Ghotbi, V., Rezvani, A., Naderpour, M., Jazayeri Nooshabadi, M. R., Sadeghi, H., Rahjou, V., & Amini, S. (2025). Technical guideline for conducting value for cultivation and use (VCU) tests of forage legume varieties. Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Registration No. 68927, 31 pp. (In Persian)
- Razmi, N., Masoudi, B., & Hezarjaribi, E. (2024). Identification of key agronomical traits contributing to the selection of superior lines of soybean in Moghan Plain. *Journal of Plant Production Research*, 31, 127-145. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2023.21773.3076>
- Salehi Sheikhi, M., Nakhzari moghaddam, A., Rahemi karizaki, A., & Mohammad Esmaili, M. (2022). Effect of pea cultivar and replacement and additive intercropping ratios of pea and spinach on yield and competition indices. *Journal of Crops Improvement (Journal of Agriculture)*, 23, 939-952. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.302557.2395>
- Sayar, M. S., & Han, Y. (2016). Forage yield performance of forage pea (*Pisum sativum* spp. *arvense* L.) genotypes and assessments using GGE biplot analysis. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 1621-1634.
- Şenbek, G., Duran, S. T., İpek, A., & Uzun, A. (2025). Selection of parental forage pea [*Pisum sativum* (L.)] genotypes based on morphological characterization and SSR markers for crossbreeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72, 7517-7530. <https://doi.org/10.1007/s10722-025-02400-4>
- Shayanfar, A., Sheidaei, S., Ahmadi, H., Mehravar, M., Rahmani, M., Gharakhani, A., Rezaeizad, A., Alizadeh, S., Dinkouh, F., Hamzehzadeh, F., Darabi, H., Abbariki, Z., Nour-Ziyarat, R., Khaledi, N., & Nori, M. (2025). Evaluation of agronomic traits of three forage pea varieties solicited for commercialization in 2022. Seed and Plant Certification and Registration Research Institute, Registration No. 67266, 38 pp. (In Persian)
- Sidlauskas, G., & Bernotas, S. (2003). Some factors affecting seed yield of spring oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research*, 1, 229-243.
- Sun, X., Cheng, L., Jonker, A., Munidasa, S., & Pacheco, D. (2022). A review: Plant carbohydrate types-the potential impact on ruminant methane emissions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 880115. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.880115>
- Tarashi, M., Rahemi Karizki, A., Biabani, A., & Salahi Farahi, M. (2020). Land suitability evaluation of Golestan province for planting *Pisum sativa* based on climatic factors. *Iranian Journal Pulses Research*, 11, 62-73. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.70708>

- Tsialtas, I. T., Baxevanos, D., Vlachostergios, D. N., Dordas, C., & Lithourgidis, A. (2018). Cultivar complementarity for symbiotic nitrogen fixation and water use efficiency in pea-oat intercrops and its effect on forage yield and quality. *Field Crops Research*, 226, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.07.005>.
- Türk, M., & Albayrak, S. (2012). Effect of harvesting stages on forage yield and quality of different leaf types pea cultivar. *Turkish Journal of Field Crops*, 17, 111-114.
- Weller, J. L., & Ortega, R. (2015). Genetic control of flowering time in legumes. *Frontiers in Plant Science*, 6, 207. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00207>
- Weller, J. L., Liew, L. C., Hecht, V. F., Rajandran, V., Laurie, R. E., Ridge, S., Wenden, B., Vander Schoor, J. K., Jaminon, O., & Blassiau, C. (2012). A conserved molecular basis for photoperiod adaptation in two temperate legumes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 21158-21163. <https://doi.org/10.1073/pnas.1207943110>
- Xu, L., Tang, G., Wu, D., & Zhang, J. (2024). Yield and nutrient composition of forage crops and their effects on soil characteristics of winter fallow paddy in South China. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1292114>
- Yihunie, T. A., & Gesesse, C. A. (2018). GGE biplot analysis of genotype by environment interaction in field pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in northwestern Ethiopia. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 21, 67-74. <https://doi.org/10.1007/s12892-017-0099-0>
- Yucel, D. O. (2013). Impact of plant density and yield and yield components of pea (*Pisum sativum* ssp. *sativum*) cultivars. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 8, 169-174.
- Yüksel, O., & Turk, M. (2019). The effects of phosphorus fertilization and harvesting stages on forage yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28, 4165-4170.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135>

Effect of Planting Date, and Mycorrhiza and Rhizobium Biofertilizers on some Agromorphological, Physiological and Seed Protein of Two Lentil (*Lens culinaris* L.) Cultivars

Zahra Ahmadi¹, Mahmoud Reza Tadayon^{1*}, Mohammad Rafieiohossaini¹, Marzieh Hassani¹

Received: 02 May 2026
Revised: 05 June 2026
Accepted: 08 June 2026
Available Online: 08 June 2026

Cite this article:

Ahmadi, Z., Tadayon, M. R., Rafieiohossaini, M., & Hassani, M. (2026). Effect of planting date, and mycorrhiza and rhizobium biofertilizers on some agromorphological, physiological and seed protein of two lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 97-118. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98538.1134>

Introduction

Lentil (*Lens culinaris* L.) is one of the most important plants in the legume family, which is of great importance in the nutritional system of human societies, especially in developing countries, due to the fact that they contain about 25% protein. In recent years, biofertilizers have received increasing attention as a sustainable alternative to chemical fertilizers, particularly due to the environmental and soil-related problems associated with the excessive use of synthetic inputs. Biofertilizers can improve various soil properties while providing economic, environmental, and social benefits. Consequently, they play an important role in emerging agricultural approaches, including sustainable, organic, and biological farming systems. Biofertilizers encompass a range of biologically derived materials and processes that contribute to soil fertility and plant nutrition. In addition to organic matter derived from animal manure and plant residues, they include beneficial microorganisms involved in processes such as biological nitrogen fixation and the mobilization or increased availability of phosphorus and other essential nutrients in the soil. Through these mechanisms, biofertilizers can enhance nutrient availability, support soil health, and reduce dependence on chemical fertilizers. Legumes are one of the most important plant sources rich in protein and are considered the second most important source of human food after cereals. These plants, by biologically fixing nitrogen, while improving soil fertility as a cover crop or in rotation with some crops, are effective in preventing soil erosion and play an important role in the sustainability of agricultural systems. Legumes are also low-demanding plants in terms of nutrient requirements, which are desirable for cultivation in low-input agricultural systems and are important from an ecological and environmental perspective in preventing land erosion and pollution. Other factors that affect crop production include planting date and cultivar. The choice of planting date is important because it determines the environmental conditions under which the plant will grow and develop. This is especially important for plants such as lentils, which are grown primarily in the spring, relying on soil moisture, and which may expose the plant to high temperatures at the end of the season.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a split factorial experiment in a randomized complete block design with three replications in the 2015-2016 crop year at Shahrekord University Research Farm. The experimental treatments included: the main factor of two planting dates (March 15, 1403 and April 15, 1404), the sub-factorial factor of two lentil cultivars (Varzaghan and Bileh-Savar) at five fertilizer levels including the application of rhizobium bacteria (*Rizobium leguminosarum*); the combined use of rhizobium and nitrogen fertilizer; the use of mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*); the full application of chemical fertilizers required based on soil analysis; and the control (without fertilizer application). Standard agricultural practices were applied uniformly throughout the growth period.

Results and Discussion

The results showed that the combined treatment of Rhizobium + nitrogen increased most growth and yield traits in both lentil cultivars. This treatment increased plant height, stem diameter, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, number of pods per plant, number of seeds per plant, grain yield, and grain protein content. However, no significant effect was observed on protein yield. Lentils were inoculated with the bacterium *Rhizobium leguminosarium*,

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

* Corresponding Author: tadayyon-m@sku.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

and the lighter the soil, the more significant the effect of seed inoculation with the bacteria on yield. According to studies by the Australian Grains Research Institute (MEAGRE), lentils are capable of fixing about 35 to 75 kg/ha of nitrogen. Mycorrhizal biofertilizer increased the phosphorus content of lentil grain, and it seems that mycorrhizae improve the growth, development and performance of the host plant in sustainable agricultural systems by increasing the absorption of nutrients such as nitrogen and some elements such as phosphorus, and increasing the level of water absorption. The modified variety of Bilesawar had better performance for all the mentioned traits at the planting date of March. From the higher yield of the crop at the planting date of March, it can be inferred that the sensitive vegetative and especially reproductive period of the lentil plant did not encounter high temperatures at the end of the growing season, and this had a positive effect on the podding and grain setting of the lentil plant and ultimately the biological performance of the plant. Therefore, it is recommended to use a combination of biological and chemical fertilizers such as Rhizobium + Nitrogen fertilizer at the desired level and the Bilesawar variety at the planting date of March to improve the morphophysiological characteristics of the lentil plant, not only from chemical fertilizers, but also to achieve sustainable agricultural goals and maintain the physical and chemical properties of the soil.

Conclusions

The findings of this study show that the integrated application of biofertilizers and chemical fertilizers was more effective than the separate application of either type of fertilizer. The excessive use of chemical fertilizers alone has contributed to the deterioration of sustainable and organic agricultural systems in many regions of the world in recent decades. Government policies aimed at achieving high crop yields and increasing farmers' incomes are among the major factors contributing to the excessive use of chemical fertilizers and the subsequent degradation of soil and the environment. The cultivation of crops such as lentil, which can serve as a cover crop and fix atmospheric nitrogen while contributing to carbon sequestration, can substantially reduce the adverse effects associated with excessive fertilizer use and help address the challenges of cultivation in degraded agricultural soils. In addition, selecting an appropriate, high-quality cultivar and determining the optimal planting date are essential for achieving high crop yields, as inappropriate cultivar selection or planting time can impose substantial costs on farmers and significantly reduce yields.

Acknowledgements

The authors of the article would like to express their gratitude for the support of Shahrekord University, as well as the National Soil and Water Research Center for providing biofertilizers, and the Ardabil Agricultural Jihad Organization for providing seeds of the requested lentil varieties.

Keywords: Grain yield, Legumes, Nutrient uptake, Photosynthetic pigments, Plant height



اثر تاریخ کاشت، کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر برخی صفات آگرومورفولوژیک، فیزیولوژیکی و پروتئین دانه دو رقم عدس (*Lens culinaris* L.)

زهرا احمدی^۱، محمودرضا تدین^{۱*}، محمد رفیعی‌الحسینی^۱، مرضیه حسینی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸

چکیده

با توجه به اهمیت تاریخ کاشت مناسب برای استفاده بهینه از فصل رشد و همچنین تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه عدس (*Lens culinaris* L.)، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی: دو تاریخ کاشت (۲۵ اسفند ماه سال ۱۴۰۳ و ۲۵ فروردین ماه سال ۱۴۰۴)، عامل فرعی فاکتوریل دو رقم عدس (ورزقان و بيله‌سوار) در پنج سطح کودی (کاربرد باکتری ریزوبیوم (*Rizobium leguminosarum*)؛ استفاده ترکیبی از ریزوبیوم و کود نیتروژن؛ استفاده از قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)؛ کاربرد کامل کودهای شیمیایی مورد نیاز براساس آنالیز خاک؛ و شاهد (بدون مصرف کود)) بودند. نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سه گانه تاریخ کاشت × رقم × کود در صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، فسفر دانه و درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. صفات قطر ساقه و عملکرد پروتئین دانه از نظر آماری معنی‌دار نبودند. نتایج نشان داد که کاربرد کود ریزوبیوم + نیتروژن تأثیر افزایشی بر صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، رنگیزه‌های فتوسنتزی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه داشت. همچنین مشخص شد که کود زیستی مایکوریزا تأثیر افزایشی بر صفت فسفر دانه داشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که رقم بيله‌سوار در تاریخ کاشت اسفندماه برای تمامی صفات نام‌برده از عملکرد بهتری برخوردار بود. بنابراین برای حصول بیش‌ترین عملکرد دانه در عدس، کاشت رقم بيله‌سوار در تاریخ کاشت اسفند ماه علاوه بر استفاده از کودهای زیستی به خصوص کود ریزوبیوم همراه با کاربرد نیتروژن توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، جذب عناصر، حبوبات، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه

مقدمه

۳۰۸ هزار تن عدس در رتبه نهم دنیا قرار داشته است (FAO, 2021). یکی از راهکارهای مهم جهت افزایش میزان عملکرد و تولید عدس، انتخاب منبع کودی مناسب است. کودهای شیمیایی و زیستی از جمله این منابع کودی هستند که در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی مؤثر هستند. مهم‌ترین هدف یک برنامه تغذیه‌ای مناسب، دسترسی کافی گیاه به عناصر ضروری مانند نیتروژن، فسفر و سایر عناصر قابل جذب در مراحل مختلف رشد گیاه است، به گونه‌ای که هیچ محدودیتی ناشی از کمبود عناصر غذایی در رشد گیاه و عملکرد آن به وجود نیاید. امروزه می‌توان از تلفیق کودهای شیمیایی و زیستی، برای تغذیه گیاهان زراعی استفاده کرد تا هم مصرف کودهای شیمیایی به کم‌ترین مقدار خود برسد و هم نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی از طریق کودهای زیستی، که دوستدار و سازگار با بوم‌نظام‌های طبیعی هستند، تأمین شود (Kumar et al., 2018). کودهای زیستی شامل فرآورده‌های حاوی جمعیت‌های متراکم از ریزجاندان مفید خاکری و

از زمان‌های گذشته، حبوبات پس از غلات به عنوان دومین منبع مهم غذایی در دنیا مطرح بوده‌اند. دانه حبوبات با برخورداری از ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین، مکمل کیفی دانه غلات محسوب می‌شوند. علاوه بر این، هم‌زیستی بسیاری از گیاهان این خانواده با باکتری‌های مختلفی از جنس ریزوبیوم سبب تثبیت نیتروژن مولکولی هوا و در پی آن تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه و حاصلخیزی خاک می‌شود. همچنین قرارداد حبوبات در تناوب به پایداری نظام‌های زراعی کمک می‌کند. عدس از جمله حبوبات یک‌ساله با نام علمی *Lens culinaris* L. در تیره نیام‌داران جای می‌گیرد و یکی از قدیمی‌ترین منابع غذایی گیاهی بشر است که تاریخ آن به قدمت خود کشاورزی است و حدود ۹۰۰۰ سال پیش در اطراف خاورمیانه اهلی شده است (Lopez-Bellido, 1998). کشورهای کانادا، هند و ترکیه بزرگ‌ترین تولیدکنندگان عدس در جهان هستند. در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، ایران با تولید بیش از

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
(*)- نویسنده مسئول: tadayyon-m@sku.ac.ir

عَدَس شد (Kumar et al., 2018). نتایج پژوهشی نشان داد که کاربرد اوره و روی بر گیاه عدس، محتوای کلروفیل برگ را افزایش داد که نشان‌دهنده نقش آن‌ها در بیوسنتز کلروفیل و تنظیم فتوسنتز است (Rufaioglu & Tunc, 2025). در پژوهشی مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه عدس (۱۵۳۰ کیلوگرم در هکتار) در کاربرد مقادیر بالایی از نیتروژن متانول و کاربرد توأم مایکوریزا با ریزوبیوم به دست آمد که در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی) از افزایش ۱۰۳ درصدی برخوردار بود (Seyed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020). کودهای نیتروژنه و فسفره از جمله کودهای ماکرو مورد نیاز برای رشد گیاهان است. این کودها جهت رشد و نمو زایشی گیاه مورد نیاز هستند، بنابراین تأمین این کودها با افزایش رشد سلول‌های ساقه، ارتفاع بوته گیاهان را افزایش می‌دهد (Fioreze et al., 2012). در راستای نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، هدف از این پژوهش، بررسی اثر دو تاریخ کاشت زود هنگام (اسفند ماه) و توصیه‌شده (فروردین ماه) و اثر کودهای زیستی مایکوریزا و ریزوبیوم بر صفات آگرومورفوفیزیولوژیکی، فیزیولوژیکی و کیفیت پروتئین دانه دو رقم عدس (بیله‌سوار و ورزقان) در منطقه شهرکرد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلینت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل عامل اصلی دو تاریخ کاشت (۲۵ اسفند ماه ۱۴۰۳ و ۲۵ فروردین ماه ۱۴۰۴)، عامل فرعی فاکتوریل دو رقم عدس (ورزقان و بیله‌سوار) و پنج سطح کودی شامل باکتری ریزوبیوم (*Rizobium leguminosarum*)؛ باکتری ریزوبیوم + کاربرد کود نیتروژن؛ قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*)؛ و کاربرد کامل کودهای مورد نیاز براساس آنالیز خاک و شاهد (بدون مصرف کود) بودند. ابعاد کرت‌ها در این آزمایش ۲×۳ متر، فاصله بین و روی ردیف‌های کشت به‌ترتیب ۱۵ و ۵ سانتی‌متر و عمق کاشت سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از تداخل تیمارها، فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین بلوک‌ها دو متر تعیین گردید. کاشت بذر به‌صورت دستی انجام شد و نخستین مرحله آبیاری مزرعه بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی براساس شرایط رطوبتی خاک انجام گرفت. بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، کودهای زیستی در هنگام کشت به خاک اضافه شدند. لازم به ذکر است که خاک محل آزمایش در هر دو تاریخ کاشت یکسان بوده است.

یا ترکیبات متابولیک حاصل از فعالیت آن‌ها هستند که از طریق افزایش حلالیت و بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی، نقش کلیدی در تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه ایفا می‌کنند (Yadav et al., 2025). ریزوبیوم‌ها از مفیدترین باکتری‌های خاکری هستند که استفاده از آن‌ها در سطح جهانی به‌عنوان یک کود بیولوژیک نیتروژنی در کشت حبوبات و گیاهان لگوم علوفه‌ای از دیرباز معمول و متداول بوده است و بیش از یک قرن است که از شناخت نقش مفید ریزوبیوم‌ها در تثبیت نیتروژن مولکولی می‌گذرد. مایکوریزاها نیز از مهم‌ترین کودهای زیستی هستند که هم‌زیستی ریشه گیاهان با آن می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب توسعه سیستم ریشه‌ای، افزایش سرعت و طول دوره پُرسیدن دانه و محتوای کلروفیل برگ‌ها شود (Kheirizadeh Arough et al., 2015). رابطه هم‌زیستی قارچ‌های مایکوریزا با ریشه گیاهان زراعی نقش مهمی در بهبود جذب آب و مواد مغذی، افزایش تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و ارتقای سلامت و عملکرد گیاه در نظام‌های کشاورزی پایدار دارد (Etesami & Adl, 2024). از جمله مهم‌ترین مشکلات کشاورزی رایج جهان، مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی است. مصرف کودهای شیمیایی در جهان سالانه معادل ۸۵ میلیون تن کود نیتروژن و ۱۵ میلیون تن کود فسفری است (Roy et al., 2006). سیستم‌های کشاورزی رایج، اگرچه به کمک کود و سموم شیمیایی در کوتاه‌مدت می‌توانند عملکرد گیاهان زراعی را افزایش دهند، ولی در درازمدت پایداری و حاصلخیزی خاک، سلامت محیط زیست و عملکرد گیاهان زراعی کاهش می‌یابد. این کاهش، در نتیجه افت ویژگی‌های فیزیکی خاک، اسیدی شدن و کاهش فعالیت‌های زیستی خاک، ناشی از مصرف کودهای شیمیایی است. در مناطقی که حاصلخیزی خاک پایین است، استفاده از کود شیمیایی اجتناب‌ناپذیر است از این‌رو، کودهای شیمیایی باید به‌گونه‌ای مصرف شوند که ضمن تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان زراعی، آلودگی حاصل از آبشویی را به دنبال نداشته باشد (Adediran et al., 2004). طبق بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شده است که نقش اساسی قارچ‌های مایکوریزا، تأمین فسفر برای گیاه است. فسفر در خاک، عنصری فوق‌العاده کم‌تحرك است، به‌طوری که حتی اگر فسفر به‌شکل محلول به خاک اضافه شود، به‌سرعت در اشکال فسفات کلسیم یا دیگر اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرپویا در می‌آید. لذا قارچ‌های مایکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی به‌ویژه فسفر و تجمع ماده خشک بسیاری از گیاهان زراعی در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند (Peterso & Massicote, 2004). نتایج بررسی تأثیر تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقسیت کود نیتروژن بر شاخص‌های رشد عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک عدس نشان داد که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و تقسیت کودی موجب افزایش عملکرد و بهبود شاخص‌های رشدی و صفات مورفولوژیک

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the experimental field soil

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن (درصد) N(%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ₂ O (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
0-30	لوم رسی سیلتی Silty clay loam	1.11	0.15	306	23.2	0.51	7.71

جدول ۲- متوسط دما و میزان بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Table 2- Average monthly temperature and rainfall in the test area during the growing season in 2025

ماه‌های سال Months of the year	حداقل دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	حداکثر دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm)	متوسط رطوبت نسبی (%) Average relative humidity (%)
اسفند ۱۴۰۳ March 2025	-4.01	12.5	35.8	43
فروردین ۱۴۰۴ April 2025	2.7	19	74.4	50
اردیبهشت ۱۴۰۴ May 2025	5.1	27.7	0	35
خرداد ۱۴۰۴ June 2025	8	31	0	24
تیر ۱۴۰۴ July 2025	15.4	36.1	0	23

منبع: آمار هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری - ایستگاه شهرکرد سال ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Source: Meteorological statistics of Chaharmahal and Bakhtiari province - Shahrekord station, 2025

اندازه‌گیری ارتفاع بوته عدس به‌وسیله خط‌کش و قطر ساقه توسط کولیس در زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گردید. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) از روش لیچنتالر و باشمن (معادله‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) استفاده شد و در تمام کرت‌های آزمایشی از برگ‌های بالایی و جوان هر بوته در زمان گل‌دهی نمونه‌برداری انجام گردید (Lichtenthaler & Bachman, 2001). صفات تعداد غلاف در بوته و دانه در بوته به‌صورت جداسازی پنج بوته تصادفی از هر کرت انتخاب شدند و پس از شمارش آن‌ها، میانگین‌گیری صورت گرفت. در مرحله رسیدگی، مقدار فسفر دانه به‌روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبیدات و انادات) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر و در آزمایشگاه فیزیولوژی گروه زراعت دانشگاه شهرکرد اندازه‌گیری شد (Salvagiotti, 2009). با محاسبه وزن دانه در سطح برداشت‌شده در هر کرت، عملکرد دانه محاسبه گردید. درصد نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری و با استفاده از ضریب تبدیل مربوطه ($N \times 6/25$) درصد پروتئین دانه محاسبه شد (Khaliq et al., 2006). از حاصل‌ضرب درصد پروتئین در عملکرد دانه برای هر تیمار، عملکرد پروتئین در آن تیمار به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

عدس رقم بیل‌سوار از تلاقی دو لاین در مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) حاصل شد و در سال ۱۳۷۴ در قالب آزمایش بین‌المللی به ایران ارسال شد. این رقم اصلاح‌شده، دانه درشت، متحمل به خشکی و مقاوم به بیماری پوسیدگی فوزاریومی است. رقم بیل‌سوار متعلق به منطقه مغان (اردبیل) است که اقلیمی معتدل تا گرمسیر دارد. این رقم برای مناطق با ارتفاع کم‌تر و دمای بالاتر اصلاح شده است و معمولاً نسبت به ورزقان زودرس‌تر است (Sabaghpour et al., 2017). رقم دیگر مورد استفاده در این پژوهش، توده محلی منطقه ورزقان (استان آذربایجان غربی) است که از نظر سازگاری با شرایط اقلیمی سرد و کوهستانی منطقه، توسط کشاورزان منطقه انتخاب و حفاظت شده است. این رقم معمولاً نسبت به سرما مقاوم‌تر است و اگر در مناطق معتدل کاشته شود، ممکن است کمی دیررس‌تر از ارقام گرمسیری شود، چراکه نیاز سرمایی یا سازگاری با دمای پایین دارد. هر دو رقم از سازمان جهاد کشاورزی اردبیل تهیه شدند. در طی دوره رشد، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و در نهایت عملیات برداشت بوته‌ها با زرد شدن اندام هوایی و رسیدگی غلاف، در پایان دوره رشد انجام شد. در این پژوهش، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، فسفر دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین دانه و عملکرد پروتئین اندازه‌گیری شدند.

معادله (۱)

Chlorophyll a (mg.ml⁻¹) = 12.25 × A_{663.2} - 2.79 × A_{646.8}Chlorophyll b (mg.ml⁻¹) = 21.50 × A_{646.8} - 5.1 × A_{663.2}Chlorophyll a + b (mg.ml⁻¹) = Chlorophyll a + Chlorophyll bCarotenoids (mg.ml⁻¹) = ((1000(A₄₇₀) - 1.82(Chl.a) - 85.02(Chl.b)) / 198

جدول ۳- تجزیه واریانس برای صفات مورفوفیزیولوژیکی در دو رقم عدس (بیله‌سوار و ورزقان)

Table 3- Analysis of variance for morphophysiological traits in two lentil cultivars (Biah Savar and Varzeghan)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئیدها Carotenoids	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant
بلوک Block	2	15.498 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.630 ^{ns}	0.111 ^{ns}	1.207 ^{ns}	0.029 ^{ns}	23.750 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (P)	1	1479.073**	1.640*	7.249*	5.580*	25.549**	2.400*	3681.666**
خطای اصلی Main error	2	1.774	0.073	0.278	0.338	0.240	0.111	39.316
رقم Cultivar (C)	1	212.440**	5.642**	15.985**	5.881**	41.259**	2.452**	256.266**
کود Fertilizer (F)	4	70.875**	2.029**	8.511**	2.003**	18.630**	0.513**	830.775**
تاریخ کاشت × رقم P × C	1	12.421 ^{ns}	0.094 ^{ns}	7.767**	5.629**	26.612**	2.434**	897.066**
تاریخ کاشت × کود P × F	4	14.936 ^{ns}	0.110*	0.462 ^{ns}	0.172**	1.023**	0.011**	108.625*
رقم × کود C × F	4	2.360 ^{ns}	0.400**	0.442 ^{ns}	0.097**	0.892**	0.024**	84.641 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم × کود P × C × F	4	29.212*	0.015 ^{ns}	0.626**	0.186**	1.491**	0.017**	120.525*
خطای فرعی Sub-plot Error	36	10.186	0.036	0.102	0.013	0.099	0.004	42.200
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.16	2.29	9.85	10.52	7.27	4.86	11.66

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

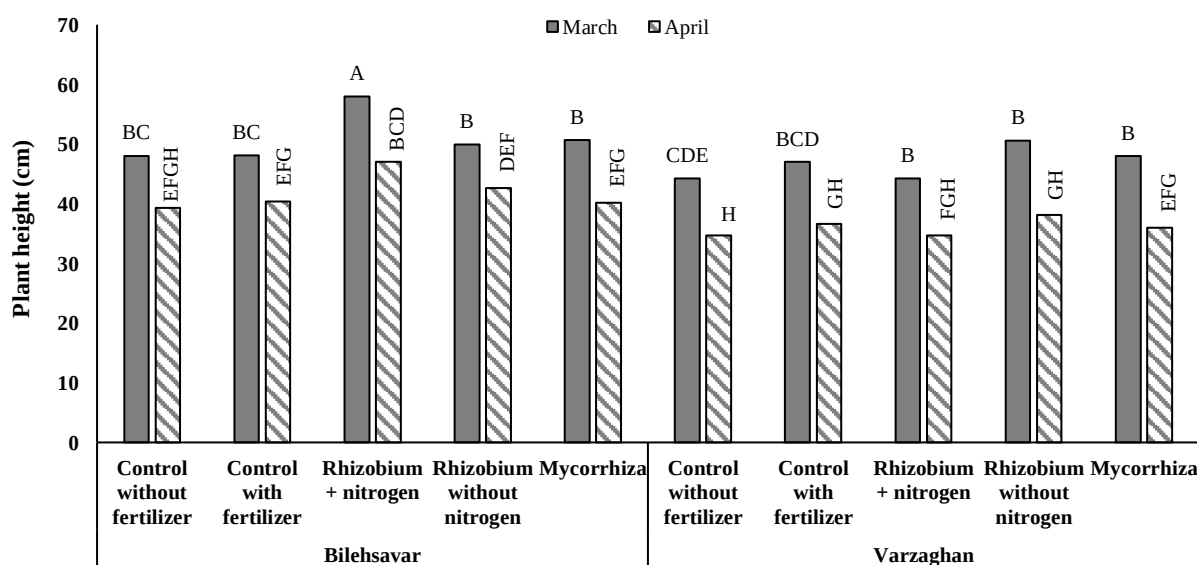
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار تاریخ کاشت، کود و رقم در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته گیاه عدس معنی‌دار بود. اما اثر برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت عدم معنی‌دار نبود. علاوه بر این اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر صفت

ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

بیش‌ترین ارتفاع بوته در تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه (۵۷/۹ سانتی‌متر) و کم‌ترین ارتفاع بوته از شاهد بدون کود در رقم ورزقان در تاریخ کاشت فروردین ماه (۳۴/۷ سانتی‌متر) به دست آمد (شکل ۱). تأخیر در کاشت از ۲۵ اسفند به ۲۵ فروردین با کاهش محسوس ارتفاع بوته همراه بود. این امر را

هرچه ارتفاع بوته بیش‌تر باشد، کودپذیری گیاه و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی گیاه نیز بیش‌تر خواهد بود. ارتفاع بوته شاخص مهمی در تعیین ماده خشک تولیدی گیاه محسوب می‌شود (Bigonah Mikal, 2015). زیدان (Zeidan, 2007) نشان داد که کودهای آلی باعث افزایش ارتفاع بوته شدند. همچنین در پژوهش پیروتی (Pirouti, 2018) مشخص شد که بوته گروه عدس ماکروسپرما (بیله‌سوار) بلندتر از گروه میکروسپرما (لایلین IL590) بود و کلیه تیمارهای کودی ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند. نتایج این پژوهشگر نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته عدس (۲۲/۰۴ سانتی‌متر) در اثر کاربرد تیمار تلفیقی کود زیستی + ورمی کمپوست به دست آمد و کم‌ترین ارتفاع بوته (۱۷/۶۶ سانتی‌متر) مربوط به شاهد (عدم استفاده از کود) بود. نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

می‌توان با شرایط اقلیمی منطقه در طول فصل رشد مرتبط دانست. در تاریخ کاشت اول (۲۵ اسفند)، گیاه در ابتدای فصل با میانگین دمای پایین (۴/۰۱- تا ۲/۷ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی بالا (۴۳-۵۰ درصد) مواجه بود و مهم‌تر از آن، از حجم بارندگی قابل توجهی (۳۵/۸ میلی‌متر در اسفند و ۷۴/۴ میلی‌متر در فروردین) بهره‌مند شد. این شرایط، دوره رشد رویشی گیاه را طولانی‌تر کرده و امکان استقرار قوی‌تر ریشه و توسعه ساختار رویشی را فراهم آورد. در مقابل، تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، با شروع فصل گرم‌تر (حداقل دما از ۵/۱ درجه سانتی‌گراد در اردیبهشت تا ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد در تیر) و مهم‌تر از آن، قطع کامل بارندگی از اواسط فروردین به بعد، گیاه را در معرض تنش خشکی و گرمایی قرار داد (جدول ۲). این تنش‌ها باعث تسریع ورود گیاه به دوره زایشی و توقف رشد طولی ساقه شد، که نتیجه آن کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته بود. یکی از شاخص‌های مهم در تعیین عملکرد به‌ویژه ماده خشک گیاهان زراعی، ارتفاع بوته است، یعنی



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر ارتفاع بوته در گیاه عدس
Figure 1- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on plant height in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود تأثیر معنی‌داری بر این صفت نشان نداد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان قطر ساقه در تیمار کودی ریزوبیوم + نیتروژن در تاریخ کاشت اسفند ماه (۳/۵۱ میلی‌متر) (شکل ۲-الف) و در همین تیمار در رقم بیله‌سوار (۳/۸۶ میلی‌متر) مشاهده شد (شکل ۲-ب) و کم‌ترین تأثیر را شاهد بدون کود در رقم ورزقان و تاریخ کاشت فروردین ماه نشان داد (شکل ۲-الف و ب). شهسواری و همکاران (Shahsavani et al., 2017) بیان داشتند که کاربرد کود آلی و

قطر ساقه

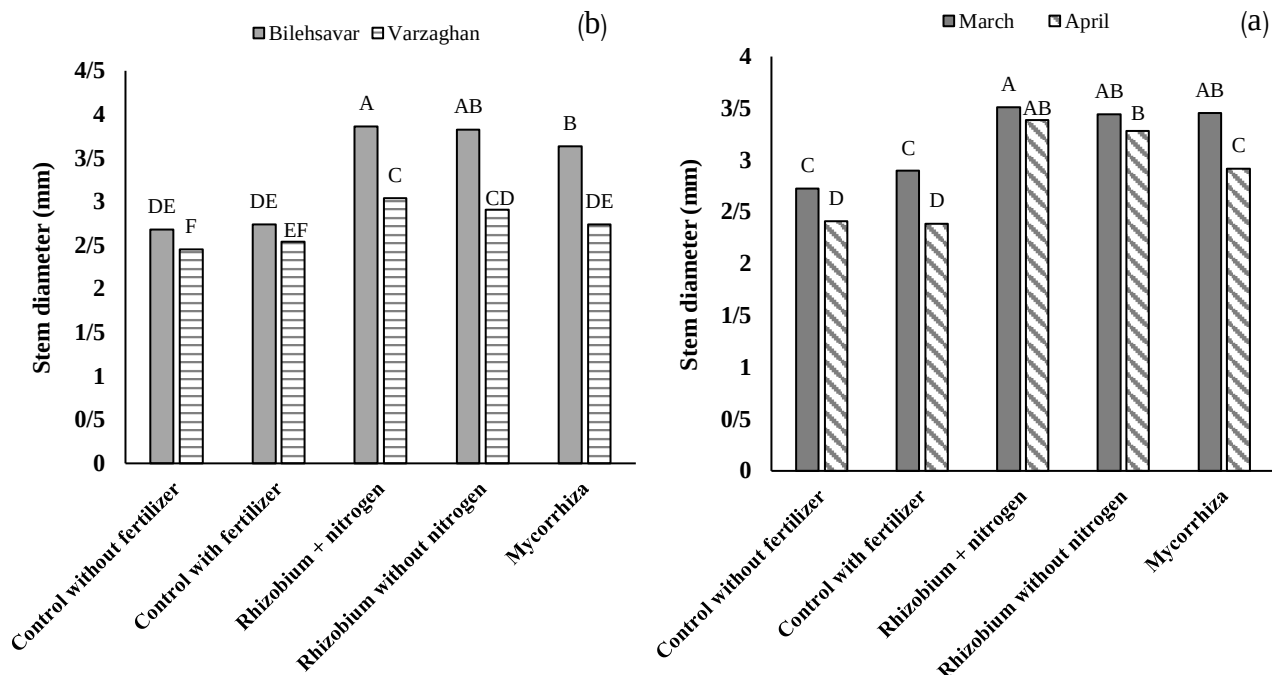
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و همچنین تیمارهای رقم و کودی در سطح احتمال یک درصد بر صفت قطر ساقه معنی‌دار شد. اثر برهم‌کنش دوگانه تاریخ کاشت × رقم بر این صفت معنی‌دار نبود، اما تاریخ کاشت × کود در سطح احتمال پنج درصد و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر این صفت گذاشت. علاوه‌بر این برهم‌کنش اثر

کلروفیل a معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل a (۵/۳۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان از شاهد بدون کود (۱/۰۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) در اسفند ماه و رقم ورزقان حاصل شد (شکل ۳). در پژوهش سید شریفی و سید شریفی (Seyed Sharifi & Sharifi, 2020) روی گیاه عدس نشان داده شد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها به‌ترتیب به‌میزان ۲/۵۲، ۴/۲۴ و ۱/۴۴ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در بالاترین سطح از مصرف نیتروژن و کاربرد توأم مایکوریزا با ریزوبیوم و کم‌ترین این مقادیر به‌ترتیب با ۱/۲۷، ۲/۳۲ و ۰/۷۷ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ در حالت عدم کاربرد نیتروژن و کودهای زیستی به دست آمد. نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

زیستی روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، بادمجان (*Solanum melongena*) و فلفل (*Caspicum SP*) بر قطر ساقه گیاه معنی‌دار بود که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های این پژوهشگران مطابقت داشت. کاربرد کودهای زیستی با ترشح ترکیبات تحریک‌کننده رشد و تولید هورمون‌های رشدی و افزایش پویایی و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در خاک موجب افزایش میزان جذب عناصر غذایی و آب توسط ریشه‌ها شده‌اند که به‌نوبه خود سبب گسترش شاخساره و افزایش سطح فتوسنتزکننده و همچنین رشد بیشتر اندام‌های هوایی گیاه از جمله افزایش قطر ساقه در این آزمایش شدند.

کلروفیل a

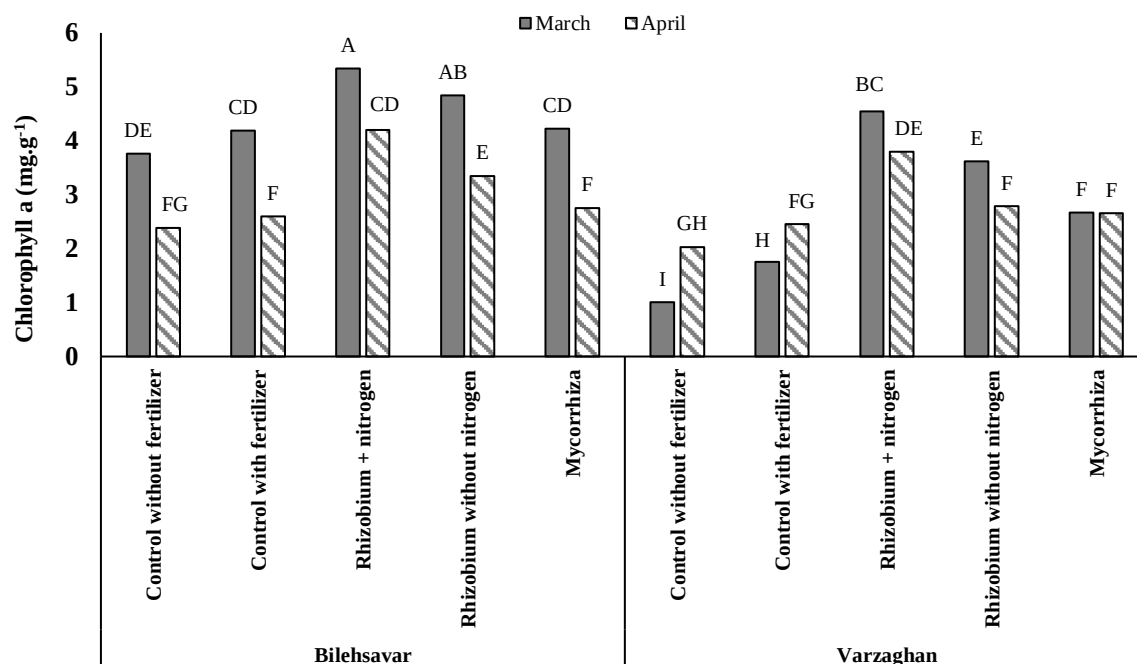
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، اثر تیمارهای کودی و رقم، و همچنین اثرات دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر میزان



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × کود (الف) و تاریخ کاشت × رقم (ب) بر قطر ساقه در گیاه عدس

Figure 2- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × fertilizer (a) and date × cultivar (b) on stem diameter in lentil

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل a در گیاه عدس

Figure 3- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on chlorophyll a in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

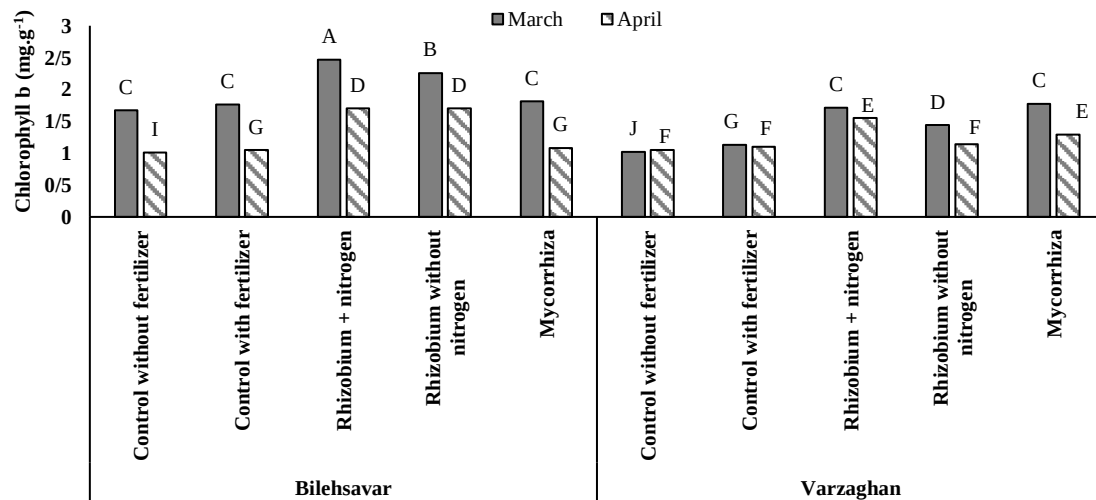
کلروفیل b

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و اثر تیمار کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر کلروفیل b معنی‌دار شد. همچنین اثر برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل b (۲/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۱/۰۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از شاهد بدون کود در رقم ورزقان و فروردین ماه به دست آمد (شکل ۴). پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Sayed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020) در بررسی تأثیر کودهای زیستی، نیتروژن استاتر و متانول در گیاه عدس نشان داد که بیش‌ترین محتوای این نوع کلروفیل از مصرف مقادیر بالای نیتروژن و متانول و کاربرد توأم مایکوریزا با ریزوبیوم و کم‌ترین این مقدار از تیمار عدم کاربرد نیتروژن، متانول و کودهای زیستی به دست آمد.

کلروفیل کل

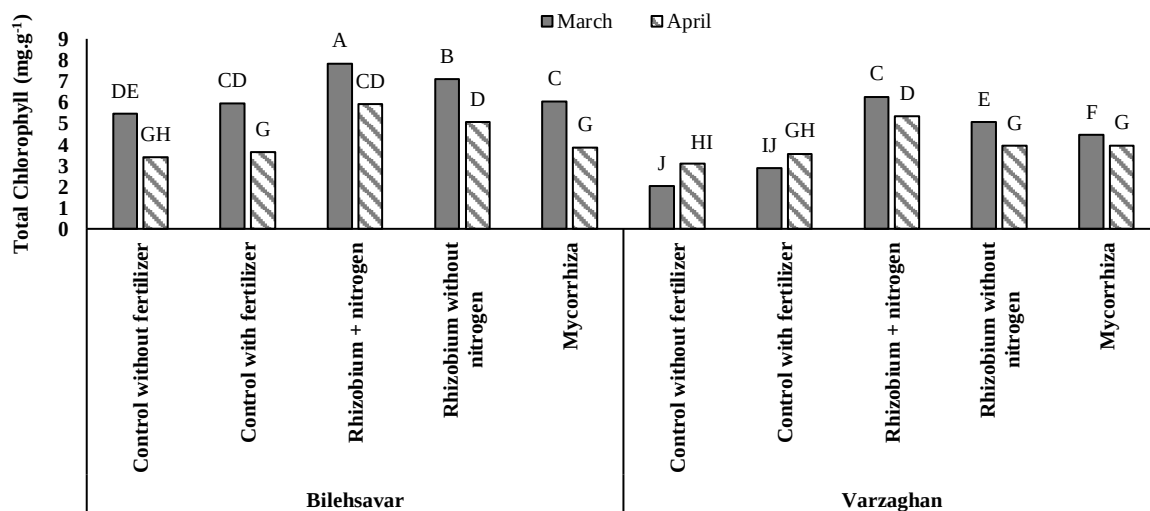
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کشت، تیمار کودی و رقم و همچنین اثر برهم‌کنش دوگانه و سه‌گانه تیمارها بر کلروفیل

کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کلروفیل کل (۷/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه به دست آمد و کم‌ترین میزان کلروفیل کل (۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد بدون کود در رقم ورزقان و اسفند ماه مشاهده شد (شکل ۵). در پژوهش سیدشریفی و سیدشریفی (Sayed Sharifi & Seyed Sharifi, 2020)، مقایسه میانگین اثر متانول در نیتروژن نشان داد که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل (۷۴/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)، در اثر کاربرد مقادیر بالای متانول و نیتروژن به دست آمد که حاکی از افزایش ۸/۴۷ درصدی محتوای کلروفیل کل در اثر کاربرد مقادیر بالای متانول و نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد این عوامل می‌باشد. همچنین در پژوهش حسینی و همکاران (Hassani et al., 2023) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار کودی در گیاه لوبیا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تیمار ترکیبی کود زیستی و آلی، بیش‌ترین افزایش را در صفات کلروفیل a، b و کل به ترتیب با مقدار ۷۰/۶، ۷۰/۱ و ۶۶/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر نسبت به شاهد نشان دادند.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل b در گیاه عدس

Figure 4- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Chlorophyll b in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کلروفیل کل در گیاه عدس

Figure 5- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on total chlorophyll in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

کاروتنوئیدها

به دست آمد (شکل ۶). محتوای کاروتنوئیدها نیز با مقادیر نیتروژن ارتباط مستقیم دارد، از این رو کاربرد نیتروژن به دلیل افزایش دسترسی گیاه به این عنصر موجب افزایش محتوای کاروتنوئیدها شد. بخشی از بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر کاربرد کودهای زیستی را می‌توان به نقش این کودها در جذب و انتقال نیتروژن به گیاه میزبان نسبت داد. در این راستا، مایکوریزا می‌تواند به‌طور مستقیم نیتروژن (بیش‌تر به شکل آمونیومی) را جذب و به گیاه میزبان انتقال دهد

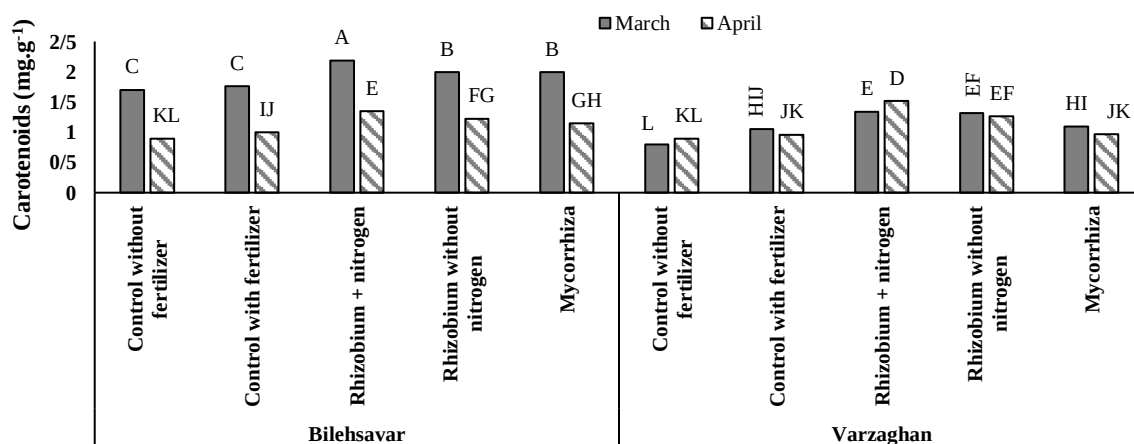
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال پنج درصد، و اثر تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه‌گانه تیمارها در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کاروتنوئیدها معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان کاروتنوئیدها (۲/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان (۰/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از شاهد بدون کود رقم ورزقان در اسفند ماه

ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیله‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین تعداد غلاف در بوته از تیمار شاهد با و بدون کود (۲۷/۶۷ و ۳۰/۳۳) در فروردین ماه در رقم بیله‌سوار به دست آمد (شکل ۷). نوری و همکاران (2015) نشان دادند که در گیاه عدس، مصرف ۳۳ درصد کود آغازگر نیتروژن و مصرف کود زیستی به‌ترتیب سبب تولید بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته (به‌ترتیب ۶/۱۵ و ۳۳/۱۴) شدند. رضائی چپانه و همکاران (2015) گزارش کردند که در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) تحت شرایط دیم، بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته از تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی + کود دامی به دست آمد. نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

(Kheirizadeh Arough et al., 2015). نتایج مشاهده‌شده در این پژوهش با گزارش‌های ارائه‌شده مطابقت دارد.

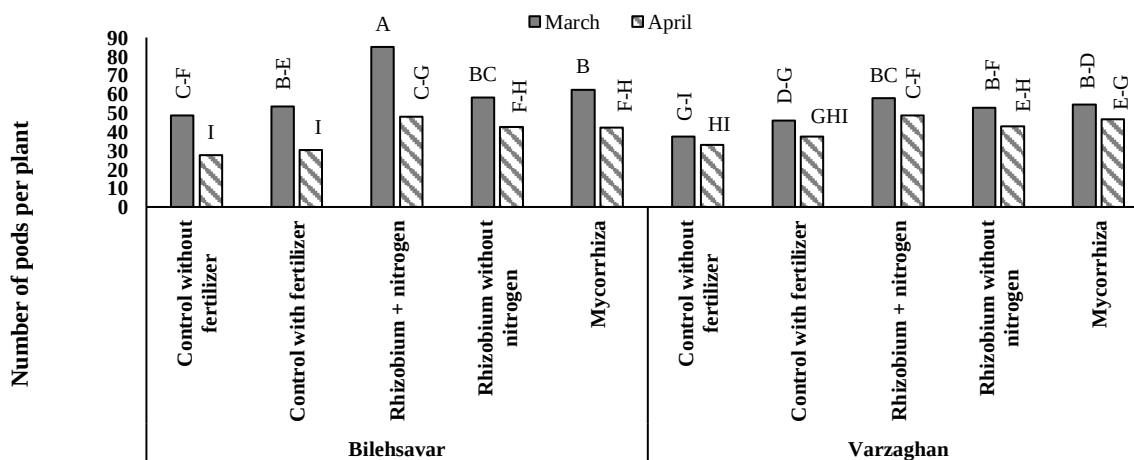
تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمار کودی و رقم و نیز اثر دوگانه تاریخ کاشت × رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش دوگانه تیمارهای رقم × کود بر این صفت معنی‌دار نبود. همچنین اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود، و برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان تعداد غلاف در بوته (۸۵ عدد) از تیمار ترکیبی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر کاروتنوئیدها در گیاه عدس

Figure 6- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on carotenoids in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر تعداد غلاف در بوته در گیاه عدس

Figure 7- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of pods per plant in lentil
ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۴- تجزیه واریانس برای صفات عملکرد و کیفیت دانه در دو رقم عدس (بیل‌سوار و ورزقان)

Table 4- Analysis of variance for yield and grain quality traits in two lentil cultivars (Bile Savar and Varzeghan)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	عملکرد دانه Seed yield	فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	درصد پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین دانه Protein yield
بلوک Block	2	16.016 ^{ns}	53681.667 ^{ns}	203.063 ^{ns}	0.537 ^{ns}	305020101 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date (P)	1	6976.816 ^{**}	7413135 ^{**}	2730.782 ^{**}	99.488 ^{**}	113270584.884 ^{ns}
خطای اصلی Main error	2	131.716	444005	203.680	1.610	1688939751.039
رقم Cultivar (C)	1	3241.350 ^{**}	9024881.667 ^{**}	322.763 ^{**}	39.141 ^{**}	797356747.266 ^{ns}
کود Fertilizer (F)	4	5541.525 ^{**}	714714.167 ^{**}	371.983 ^{**}	83.475 ^{**}	34294125.714 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم P × C	1	421.350 ^{**}	421681.667 ^{**}	18.182 ^{ns}	0.136 ^{ns}	265082563.568 ^{ns}
تاریخ کاشت × کود P × F	4	82.858 ^{ns}	115597.500 ^{ns}	43.041 ^{ns}	5.841 ^{ns}	142797106.372 ^{ns}
رقم × کود C × F	4	177.808 ^{**}	121969.167 ^{ns}	39.869 ^{ns}	5.009 ^{ns}	405659102.535 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم × کود P × C × F	4	113.641 [*]	234019.167 ^{**}	68.331 [*]	7.663 [*]	215813787.078 ^{ns}
خطای فرعی Sub-plot error	36	38.385	62611.85	25.809	2.748	313896424.495
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	8.69	11.49	11.65	6.60	15.7

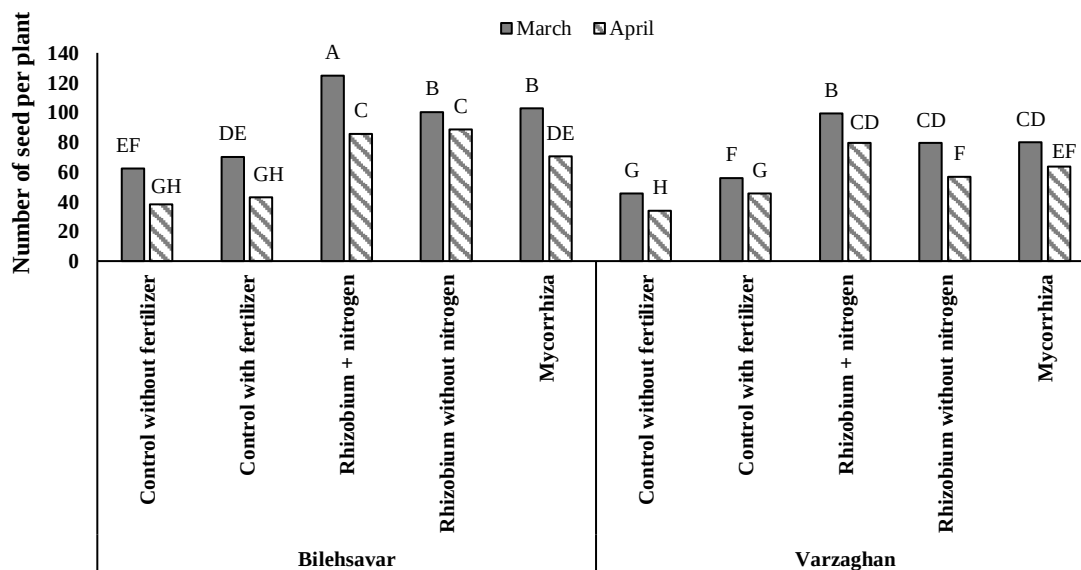
* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

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

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی، و همچنین اثرات دوگانه تاریخ کاشت × رقم و رقم × کود در سطح احتمال یک درصد بر صفت تعداد دانه در بوته معنی‌دار شد، اما اثر دوگانه تاریخ کاشت × کود بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد. همچنین اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان تعداد دانه در بوته از تیمار ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و در تاریخ کاشت اسفند ماه (به مقدار ۱۲۴/۷) و کم‌ترین تعداد دانه در بوته از شاهد بدون کود در رقم ورزقان و در فروردین ماه (به مقدار ۳۳/۶۷) به دست آمد (شکل ۸). در پژوهش پیروتی (Pirouti, 2018)، نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بوته عدس ماکروسپرما (بیل‌سوار) حدود سه برابر تعداد دانه در بوته در گونه میکروسپرما بود. با اینکه تیمارهای کودی در هر دو عدس ماکروسپرما (بیل‌سوار) و میکروسپرما تعداد دانه در هر بوته را افزایش داد، اما این افزایش در عدس ماکروسپرما همواره

بیش‌تر از عدس میکروسپرما بود. بیش‌ترین افزایش‌ها در دانه هر بوته عدس ماکروسپرما مربوط به ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی و تیمارهای تلفیقی ورمی‌کمپوست با کود زیستی و کود شیمیایی بود. در پژوهش محمدزاده آلقو و همکاران (Mohammadzadeh Algho et al., 2018) مشخص شد که اثر تیمار کودی بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. ولی بین کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته از تیمار کود زیستی و شاهد به دست آمد. کودهای زیستی به‌دلیل توانایی در افزایش حلالیت فسفر نامحلول خاک، در مرحله زایشی بر رشد گیاه تأثیر گذاشته و باعث افزایش دانه‌بندی می‌شوند (Estrada-Luna & Davies, 2003). به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای و همچنین افزایش آب در دسترس گیاه ناشی از بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک در اثر مصرف کودهای آلی و زیستی باعث افزایش قدرت رشد گیاه شده و در نتیجه تعداد دانه در بوته را افزایش داده است.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت × رقم × کود بر تعداد دانه در بوته در گیاه عدس
Figure 8-Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Number of seed per plant in lentil

ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

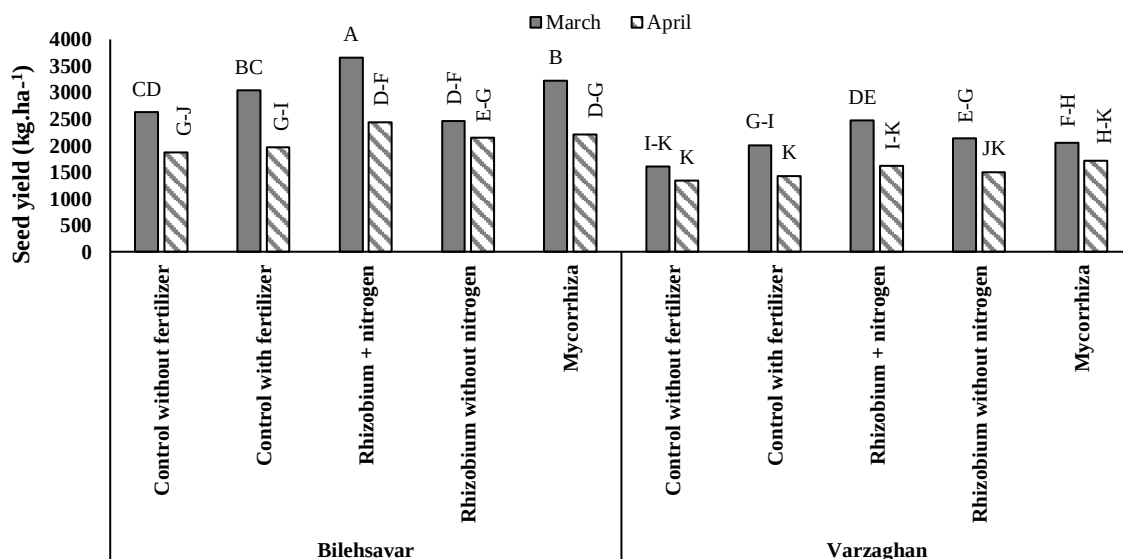
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثر دوگانه تاریخ کاشت × رقم و اثر برهم‌کنش سه‌گانه تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال یک درصد بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار بود، اما اثرات دوگانه تاریخ کاشت × کود و رقم × کود بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۶۶۰ کیلوگرم بر هکتار) مربوط به تیمار ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و تاریخ اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود و با کود در رقم ورزقان (۱۳۴۳ و ۱۴۳۰ کیلوگرم بر هکتار) در تاریخ کاشت فروردین ماه حاصل شد (شکل ۹). آلبایراک و همکاران (Albayrak et al., 2006) اظهار داشتند که تلقیح با باکتری ریزوبیوم منجر به افزایش ۷/۶ درصدی عملکرد دانه گیاه عدس شد. همچنین در پژوهش آمانی (Amany, 2007) مشخص شد که افزایش میزان نیتروژن قبل دسترس در نخود با افزایش رشد رویشی و بالابردن شاخص سطح برگ موجب تولید ماده خشک بیش‌تر و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید. رایت و همکاران (Wright et al., 1998) بیان کردند که کربن اضافی تثبیت‌شده توسط گیاهان مایکوریزایی‌شده به قارچ‌های مایکوریزا تخصیص می‌یابد و این قارچ‌ها با ایفای نقش مخزن اضافی

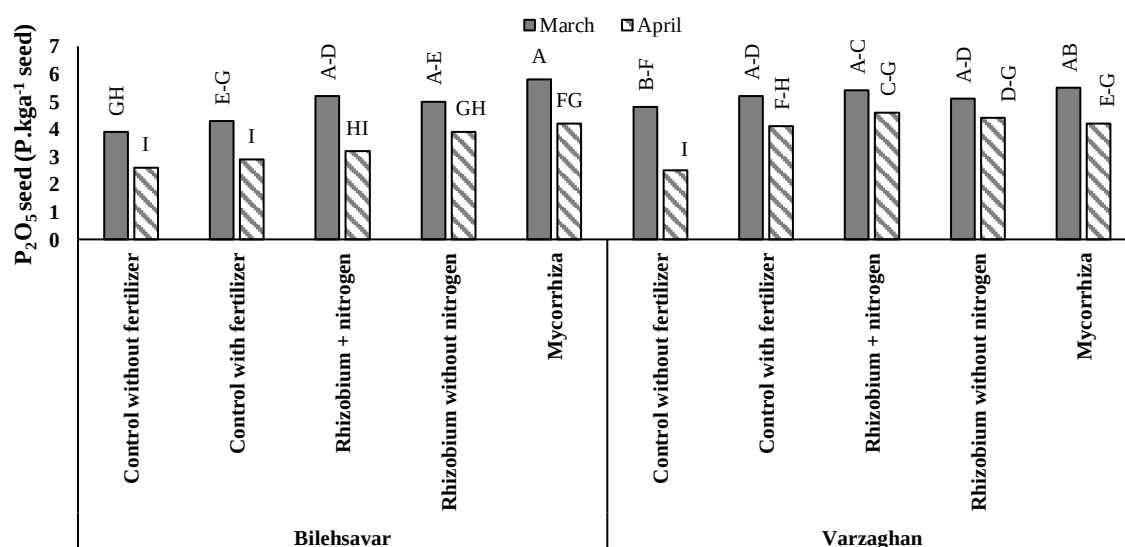
برای آسیمیلات‌ها موجب تحریک فتوسنتز گیاه میزبان شده و از این طریق به بهبود عملکرد به‌ویژه عملکرد دانه کمک می‌کنند.

فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت و تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد بر صفت میزان فسفر دانه معنی‌دار شد. اما برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد. علاوه‌براین برهم‌کنش سه‌گانه تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین میزان فسفر دانه (۵/۸ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) مربوط به تیمار مایکوریزا در رقم بیل‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود در رقم ورزقان (۲/۵ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در تاریخ کاشت فروردین ماه و شاهد با و بدون کود در رقم بیل‌سوار (۲/۹ و ۲/۶ گرم فسفر در کیلوگرم دانه) در فروردین ماه حاصل شد (شکل ۱۰). ساکت و همکاران (Saket et al., 2014) تأثیر کود لای و معدنی را بر شاخص‌های عملکرد عدس بررسی کردند. بررسی مطالعه آنان نشان داد که دانه‌های به‌دست‌آمده از شاهد کم‌ترین مقدار فسفر را داشتند، درحالی‌که بوته‌های تیمارشده با کود دامی و کود زیستی بالاترین میزان فسفر را داشتند.



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر عملکرد دانه در گیاه عدس
 Figure 9- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on Seed yield in lentil
 ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر میزان فسفر دانه در گیاه عدس
 Figure 10- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on seed phosphorus percentage in lentil
 ستون‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
 Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

درصد پروتئین دانه

تیمار ریزوبیوم + نیتروژن در رقم بیل‌سوار و تاریخ اسفند ماه و کم‌ترین میزان این صفت به‌ترتیب از شاهد بدون کود در رقم ورزقان در فروردین و اسفند ماه (۱۷/۹۴ و ۱۹/۷۹ درصد) و شاهد بدون کود در رقم بیل‌سوار در فروردین ماه (۲۰/۱۷ درصد) حاصل شد (شکل ۱۱). گزارش شده است که روابط مایکوریزایی از طریق تأثیر بر قدرت جذب و نوع عناصر غذایی مانند نیتروژن بر درصد پروتئین دانه اثر گذاشته و

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش تاریخ کاشت × رقم × کود در سطح احتمال پنج درصد بر پروتئین دانه معنی‌دار شد. اما برهم‌کنش دوگانه تیمارها بر این صفت اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان پروتئین دانه (۳۱ / ۰۶ درصد) مربوط به

تعداد روز تا سبز شدن

سبز شدن عدس بسته به دمای خاک و رطوبت معمولاً ۷ تا ۱۴ روز پس از کاشت گزارش شده است (Erskine et al., 2009). در کاشت ۲۵ اسفند، به دلیل پایین تر بودن دمای خاک و هوا، سبز شدن با تأخیر بیش تری انجام شد؛ به طوری که تعداد روز تا سبز شدن در رقم بیلہ سوار بین ۱۱ تا ۱۳ روز و در رقم ورزقان بین ۱۲ تا ۱۵ روز پس از کاشت رخ داد. در مقلبل، در کاشت ۲۵ فروردین با افزایش دمای محیط، سرعت جولنه زنی و خروج گیاهچه از خاک افزایش یافت و تعداد روز تا سبز شدن کاهش پیدا کرد؛ به طوری که این مرحله در بیلہ سوار در ۹ تا ۱۱ روز و در ورزقان در ۱۰ تا ۱۲ روز پس از کاشت ثبت شد. این موضوع نشان می دهد که افزایش دمای خاک در محدوده مطلوب می تواند با افزایش فعالیت های متابولیکی بذر، جذب آب و رشد ریشه چه و ساقه چه، سبز شدن را تسریع کند. رقم بیلہ سوار در هر دو تاریخ کاشت نسبت به رقم محلی ورزقان، سبز شدن سریع تری داشت که می تواند بیانگر قدرت استقرار اولیه و سازگاری بهتر این رقم باشد. کم ترین تعداد روز تا سبز شدن مربوط به تیمارهای ریزوبیوم همراه با نیتروژن و مایکوریزا بود، در حالی که بیش ترین تعداد روز تا سبز شدن در شاهد بدون کود مشاهده شد. بنابراین، اگرچه کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن شد، اما به دلیل مواجه شدن مراحل بعدی رشد با گرمای انتهای فصل، این تسریع اولیه الزاماً به عملکرد بالاتر منجر نشد.

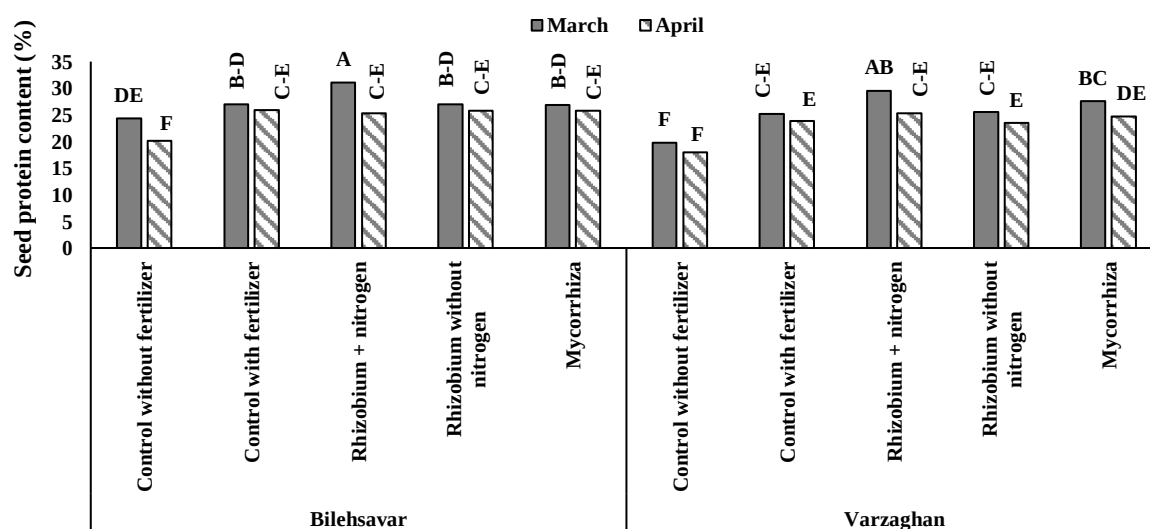
موجب بهبود درصد پروتئین دانه می شود و از آنجا که عنصر نیتروژن ماده اولیه تشکیل دهنده پروتئین است، احتمالاً یکی از دلایل افزایش پروتئین با کاربرد قارچ مایکوریزا، افزایش در درصد نیتروژن دانه است (Mazlomi Meimandi et al., 2019).

عملکرد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، تیمارهای کودی و رقم و همچنین اثرات دوگانه و سه گانه آن ها بر عملکرد پروتئین معنی دار نبود (جدول ۴). در پژوهش ذبیحی محمود آباد و حسن زاده (Zabihi-e-Mahmoodabad & Hassanzadeh, 2017)، نتایج تجزیه واریانس به دست آمده برای صفت عملکرد پروتئین دانه نشان داد که عملکرد پروتئین دانه تحت تأثیر سطوح تیماری کود پتاسیم و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و تحت تأثیر اثر متقابل این دو تیمار در سطح احتمال پنج درصد معنی دار شد. نتایج مقایسه میانگین ها برای این صفت نشان داد که افزایش کود پتاسیم و نیتروژن موجب افزایش این صفت گردید، به طوری که بیش ترین مقدار عملکرد پروتئین دانه به ترتیب در سطوح تیماری ۷۰ کیلوگرم کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن به دست آمد. نتایج این پژوهش با نتایج این محققان در مورد صفت عملکرد پروتئین مطابقت نداشت.

مراحل فنولوژیک

نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد روز تا کلیه مراحل فنولوژیک تحت تأثیر تاریخ کاشت، رقم و تیمار تغذیه ای قرار گرفت.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر برهم کنش تیمارهای تاریخ کاشت × رقم × کود بر پروتئین دانه در گیاه عدس

Figure 11- Comparison of the mean interaction effects of sowing date × cultivar × fertilizer on seed protein content in lentil

ستون هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند. Columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the LSD test at the 5% probability level.

تعداد روز تا شاخه‌دهی

مطالعات فنولوژی عدس نشان می‌دهد که مرحله شاخه‌دهی معمولاً در حدود ۲۰ تا ۳۵ روز پس از کاشت رخ می‌دهد (Erskine et al., 2009). در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دلیل خنک‌تر بودن شرایط ابتدای فصل، رسیدن گیاه به مرحله شاخه‌دهی دیرتر انجام شد؛ به طوری که در رقم بیل‌سوار، شاخه‌دهی در حدود ۲۲ تا ۲۶ روز پس از کاشت و در رقم ورزقان در حدود ۲۶ تا ۳۲ روز پس از کاشت رخ داد. اما در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، به دلیل افزایش دما و تسریع رشد رویشی، این مرحله زودتر اتفاق افتاد؛ به طوری که در بیل‌سوار شاخه‌دهی در حدود ۱۸ تا ۲۳ روز و در ورزقان در حدود ۲۱ تا ۲۶ روز پس از کاشت ثبت شد. رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت، زودتر از ورزقان وارد مرحله شاخه‌دهی شد. این موضوع نشان‌دهنده استقرار اولیه بهتر، رشد رویشی سریع‌تر و توان بیش‌تر این رقم برای تولید شاخه‌های فرعی است. شاخه‌دهی زودتر می‌تواند باعث افزایش تعداد گره، سطح برگ، تعداد محل‌های بالقوه تشکیل گل و در نهایت افزایش اجزای عملکرد شود. در مقابل، تأخیر در شاخه‌دهی در رقم ورزقان باعث شد که ورود به مراحل بعدی رشد به‌ویژه غنچه‌دهی و گل‌دهی، دیرتر انجام شود و در نتیجه فرصت کم‌تری برای پُر شدن دانه باقی بماند (Toleikiene et al., 2025). بهترین تیمار، ریزوبیوم همراه با نیتروژن بود، زیرا در هر دو رقم و هر دو تاریخ کاشت، این تیمار باعث زودتر وارد شدن گیاه به مرحله شاخه‌دهی شد. این تیمار علاوه بر شاخه‌دهی زودتر، در مراحل بعدی نیز موجب گل‌دهی زودتر، رسیدگی دیرتر و طولانی‌تر شدن دوره پُر شدن دانه شد؛ بنابراین شرایط مناسب‌تری برای افزایش عملکرد فراهم کرد. در مقابل، شاهد بدون کود بیش‌ترین تعداد روز تا شاخه‌دهی را نشان داد. تأخیر در این مرحله بیانگر کندی رشد رویشی و ضعف تغذیه‌ای گیاه بود. در این تیمار، گیاه دیرتر ساختار رویشی لازم را تشکیل داد، اما به دلیل تنش تغذیه‌ای و گرمای اواخر فصل، فرصت کافی برای جبران این تأخیر نداشت و در نتیجه، گل‌دهی با تأخیر، دوره پُر شدن دانه کوتاه‌تر و رسیدگی زودتر اتفاق افتاد (Chauhan et al., 2025).

تعداد روز تا غنچه‌دهی

در شرایط مختلف اقلیمی، تشکیل غنچه در عدس معمولاً حدود ۳۰ تا ۴۵ روز پس از کاشت گزارش شده است (Erskine et al., 2009). به‌طور کلی، در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دلیل خنکی نسبی ابتدای فصل، بوته‌ها با آهنگ ملایم‌تری رشد کردند و در نتیجه ورود به مرحله غنچه‌دهی با فاصله زمانی بیش‌تری پس از کاشت رخ داد. در این شرایط، رقم بیل‌سوار حدود ۳۶ تا ۴۰ روز پس از کاشت و رقم ورزقان حدود ۴۲ تا ۴۸ روز پس از کاشت به غنچه‌دهی رسیدند. در مقابل، در کاشت ۲۵ فروردین به‌علت دمای بالاتر و سرعت بیش‌تر رشد، این مرحله زودتر ظاهر شد. به طوری که غنچه‌دهی در بیل‌سوار در حدود ۳۰ تا ۳۵ روز و در ورزقان در حدود ۳۵ تا ۴۰ روز پس از کاشت ثبت شد. از نظر تفاوت بین ارقام، رقم بیل‌سوار در هر دو تاریخ کاشت زودتر از رقم ورزقان وارد مرحله غنچه‌دهی شد (شکل ۱۲). این

تعداد روز تا ساقه‌دهی اصلی

براساس گزارش‌های فیزیولوژی رشد عدس، مرحله شروع رشد فعال ساقه معمولاً در حدود ۲۵ تا ۴۰ روز پس از کاشت مشاهده می‌شود (Erskine et al., 2009). در این آزمایش (شکل ۱۲) نیز مقادیر به‌دست‌آمده در همین محدوده قرار داشت. در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند، به دلیل پایین‌تر بودن دمای ابتدای دوره رشد، گیاهان مدت زمان بیش‌تری را در مراحل اولیه رشد رویشی سپری کردند و ساقه‌دهی اصلی دیرتر آغاز گردید. در این تاریخ کاشت، رقم بیل‌سوار در حدود ۳۰ تا ۳۴ روز پس از کاشت و رقم ورزقان در حدود ۳۵ تا ۴۱ روز پس از کاشت وارد مرحله ساقه‌دهی اصلی شدند. در مقابل، در تاریخ کاشت ۲۵ فروردین، افزایش دما باعث سرعت گرفتن رشد رویشی شد و این

اختصاص داد (شکل ۱۲). زودگل دهی در این تیمار یک امتیاز فیزیولوژیک محسوب می‌شود؛ گل دهی زود هنگام باعث می‌شود که گیاه پیش از مواجه شدن با تنش گرمای انتهایی فصل، بخش عمده‌ای از تلقیح خود را انجام دهد (Erskine et al., 2009).

تعداد روز تا غلاف دهی

به‌طور معمول، تشکیل اولین غلاف‌ها در عدس حدود ۵ تا ۱۰ روز پس از شروع گل دهی (تقریباً ۵۰ تا ۸۰ روز پس از کاشت) آغاز می‌شود (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009). نتایج این بررسی نشان داد که در رقم بیل‌سوار، غلاف دهی حدود ۴۵ تا ۵۲ روز و در رقم ورزقان حدود ۵۰ تا ۵۸ روز پس از کاشت به ثبات رسید. تسریع در غلاف دهی در تیمارهای برتر (به‌ویژه ریزوبیوم و مایکوریزا) نشان‌دهنده کارایی بالای فتوسنتزی و انتقال سریع مواد پرورده از منبع به مخزن است (شکل ۱۲). در مقابل، شاهد بدون کود بیش‌ترین زمان تا تشکیل غلاف را داشت. تأخیر در غلاف دهی در این تیمار، همراه با کوتاهی دوره پُر شدن دانه باعث شد که غلاف‌ها در معرض دمای بالای خرداد ماه و تیر ماه قرار گرفته و تعداد دانه در غلاف کاهش یابد. این یافته با نتایج سایر پژوهشگران مبنی بر اهمیت تقارن غلاف دهی با دمای معتدل برای حفظ عملکرد هم‌خوانی دارد (Chauhan et al., 2025).

تعداد روز تا پُر شدن دانه

دوره پُر شدن دانه، که فاصله کلیدی بین گل دهی تا رسیدگی است، در ارقام تجاری معمولاً بین ۳۰ تا ۴۵ روز متغیر می‌باشد (Erskine et al., 2009). نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار ریزوبیوم با نیتروژن در رقم بیل‌سوار، طولانی‌ترین دوره پُر شدن دانه (۴۵ روز) را ایجاد کرد. رقم ورزقان علی‌رغم طول دوره رشد بیش‌تر، دوره پُر شدن دانه کوتاه‌تری (۴۲ روز) داشت که علت اصلی، پایین بودن عملکرد آن نسبت به بیل‌سوار است (شکل ۱۲). تیمارهای کودی با تأخیر در پیری برگ و فراهم کردن مواد غذایی مداوم، دوره پُر شدن دانه را طولانی کردند، درحالی‌که در شاهد، گیاه به‌دلیل فقر غذایی دچار رسیدگی اجباری و زود هنگام شد که دوره پُر شدن دانه را به‌شدت کوتاه کرد.

تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک

طول دوره رشد عدس از کاشت تا رسیدگی کامل در منابع علمی بین ۹۰ تا ۱۳۰ روز ذکر شده است (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009). در این آزمایش، رسیدگی در محدوده ۹۲ تا ۱۱۲ روز پس از کاشت نوسان داشت. بیش‌ترین طول دوره رشد متعلق به رقم ورزقان در کاشت اسفند بود، اما این طولانی شدن به‌دلیل تأخیر در

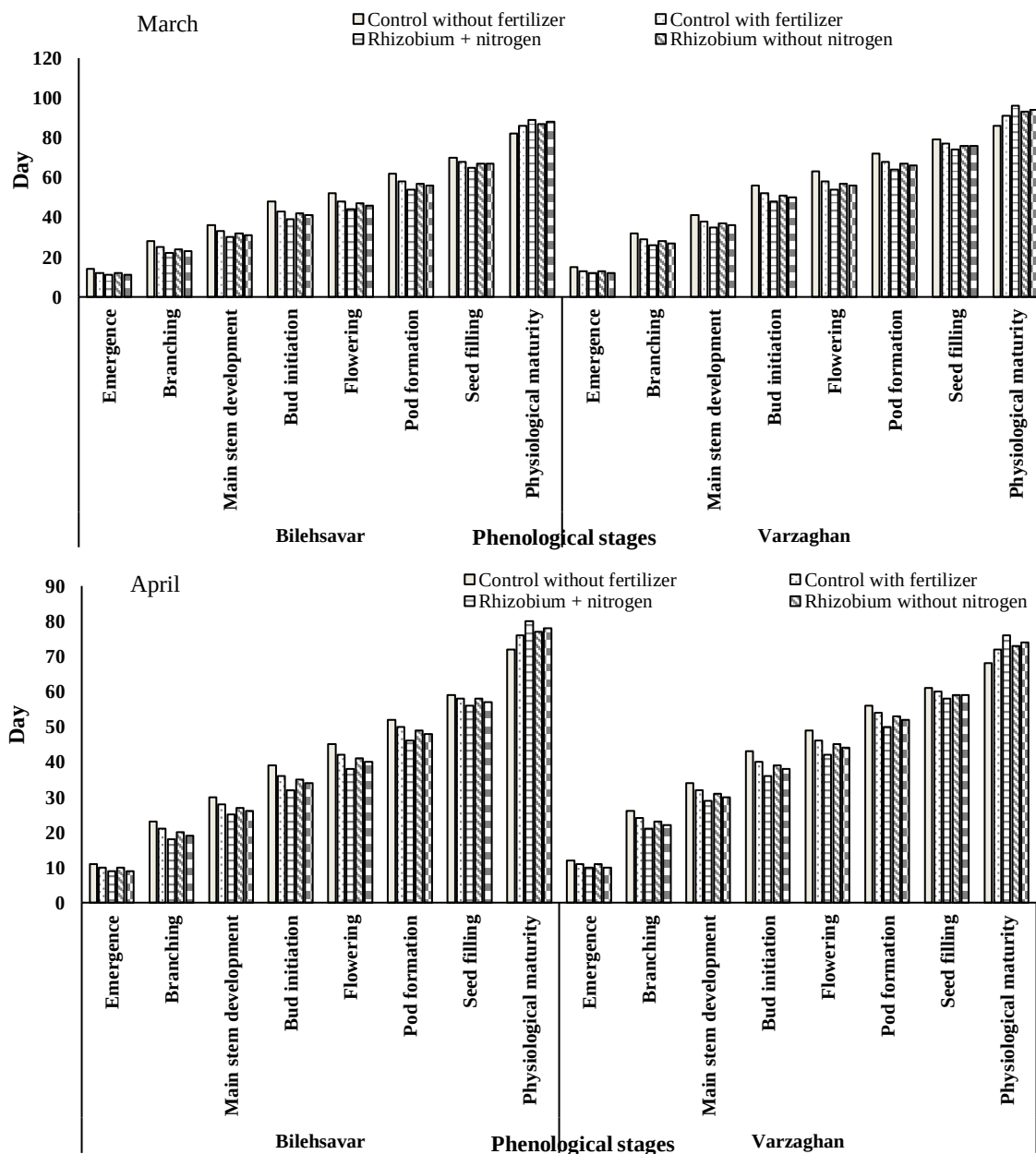
ویژگی نشان می‌دهد که بیل‌سوار مسیر گذار از رشد رویشی به زایشی را سریع‌تر طی کرده و توانسته است اندام‌های زایشی خود را زودتر تشکیل دهد. در مقابل، دیرتر رسیدن ورزقان به این مرحله باعث شد که بخشی از ظرفیت رشد زایشی آن به اواخر فصل و شرایط گرم‌تر منتقل شود؛ موضوعی که می‌تواند از کارایی تولیدی آن بکاهد. مقایسه تیمارها نیز نشان داد که ریزوبیوم همراه با نیتروژن مناسب‌ترین شرایط را برای تسریع غنچه دهی فراهم کرده است. در این تیمار، گیاه از نظر رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و تأمین نیتروژن در وضعیت بهتری قرار داشت و همین امر موجب شد که تشکیل اندام‌های زایشی با تأخیر کم‌تری انجام شود. نکته مهم این است که برتری این تیمار تنها به غنچه دهی محدود نماند، بلکه در ادامه نیز با تسریع گل دهی و طولانی‌تر شدن فاصله بین گل دهی تا رسیدگی همراه شد؛ الگویی که با افزایش عملکرد سازگار است. اگرچه کاشت دیرتر موجب شد که غنچه دهی در تعداد روز کم‌تری پس از کاشت رخ دهد، اما این پدیده بیش‌تر نتیجه افزایش دما و فشرده شدن کل چرخه رشد بود تا یک مزیت واقعی از نظر تولید. در واقع، گیاه در کاشت فروردین با سرعت بیش‌تری به مراحل زایشی وارد شد، ولی تداوم این مراحل تحت تأثیر گرمای انتهایی فصل کاهش یافت. به همین دلیل، صرف کاهش تعداد روز تا غنچه دهی را نمی‌توان نشانه برتری دانست. در این میان، کاشت ۲۵ اسفند با فراهم کردن بستر زمانی مناسب‌تر، امکان شکل‌گیری متعادل‌تر مراحل زایشی را ایجاد کرد و از این نظر برای عملکرد نهایی مطلوب‌تر بود. در مجموع می‌توان گفت که زودرسی نسبی بیل‌سوار در ورود به غنچه دهی، همراه با پاسخ بهتر این رقم به تیمار ریزوبیوم همراه با نیتروژن موجب شد که هماهنگی مناسب‌تری میان رشد رویشی و زایشی برقرار شود. در مقابل، ورزقان و به‌ویژه شاهد بدون کود با تأخیر در آغاز غنچه دهی، وارد روندی شدند که در ادامه به کوتاه‌تر شدن دوره مؤثر زایشی و افت توان تولیدی منجر شد (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009).

تعداد روز تا گل دهی

در منابع معتبر زراعی، مرحله آغاز گل دهی عدس بسته به اقلیم و رقم، معمولاً بین ۳۵ تا ۶۰ روز پس از کاشت گزارش شده است (Toleikene et al., 2025; Erskine et al., 2009). در این تحقیق، گل دهی در بازه ۳۸ تا ۵۵ روز رخ داد که کاملاً با گزارش‌های جهانی مطابقت دارد. در تاریخ کاشت اسفند به‌دلیل سپری شدن دوره رشد رویشی طولانی‌تر، گیاه دیرتر وارد دوره گل دهی شد، اما در مقابل، گیاهانی که در فروردین کشت شدند تحت تأثیر افزایش دما سریع‌تر به گل رفتند. رقم بیل‌سوار با میانگین ۴۰ روز، نسبت به ورزقان با میانگین ۴۷ روز، زودگل‌ده‌تر بود. تیمار ریزوبیوم + نیتروژن با تسریع در تکامل اندام‌های زایشی، کم‌ترین زمان تا گل دهی را به خود

ممکن به ذخیره ماده خشک در دانه ادامه دهد. این تفاوت در رسیدگی فیزیولوژیک، توجه‌کننده برتری عملکرد در تاریخ کاشت اول نسبت به کاشت فروردین است (شکل ۱۲).

مراحل اولیه بود، نه به دلیل طولانی بودن دوره پُر شدن دانه. در مقابل، رقم بیل‌سوار با وجود اینکه زودتر به گل رفت، اما به دلیل تأثیر مثبت تیمارهای بیولوژیک، دیرتر به مرحله پیری رسید. براساس نتایج این پژوهش، تیمار ریزوبیوم + نیتروژن باعث شد که گیاه تا حداکثر زمان



شکل ۱۲- مراحل فنولوژیکی گیاه عدس تحت تیمار کودی و تاریخ کاشت

Figure 12- Phenological stages of lentil plants under fertilizer treatment and sowing date

کلروفیل a با کلروفیل کل، کلروفیل b با کلروفیل کل و کلروفیل b با کاروتنوئیدها همبستگی بسیار بالایی نشان دادند. همچنین بین صفات رویشی و اجزای عملکرد روابط مثبت و معنی‌دار مشاهده شد؛ به‌طوری که ارتفاع بوته و قطر ساقه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

ضرایب همبستگی

نتایج ضرایب همبستگی (جدول ۵) نشان داد که بین بسیاری از صفات مورد بررسی، روابط مثبت و معنی‌دار وجود داشت. بیشترین همبستگی‌های مثبت مربوط به صفات رنگی‌های بود، به‌طوری که

عملکرد دانه و عملکرد پروتئین همبستگی مثبت و قابلت وجهی داشتند. از میان صفات عملکردی، عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد پروتئین نشان داد که بیانگر ارتباط نزدیک این دو صفت است. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که بهبود صفات رویشی و اجزای عملکرد می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه و عملکرد پروتئین در عدس داشته باشد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین برخی از صفات مورد مطالعه عدس
Table 5- Correlation coefficients among some of the studied traits in lentil

متغیرها Variables	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئیدها Carotenoids	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	عملکرد دانه Seed yield	فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield
ارتفاع بوته Plant height	1	0.644	-0.166	-0.062	-0.126	-0.071	0.831	0.717	0.848	0.643	-0.036	0.0742
قطر ساقه Stem diameter	0.644	1	-0.242	-0.256	-0.254	-0.203	0.71	0.888	0.74	0.439	0.429	0.814
کلروفیل a Chlorophyll a	-0.166	-0.242	1	0.911	0.985	0.886	-0.204	-0.227	-0.204	-0.239	-0.054	-0.23
کلروفیل b Chlorophyll b	-0.062	-0.256	0.911	1	0.968	0.954	-0.179	-0.255	-0.144	-0.241	-0.246	-0.235
کلروفیل کل Total chlorophyll	-0.126	-0.254	0.985	0.968	1	0.936	-0.198	-0.243	-0.183	-0.245	-0.136	-0.237
کاروتنوئیدها Carotenoids	-0.071	-0.203	0.886	0.958	0.936	1	-0.17	-0.197	-0.055	-0.276	-0.156	-0.128
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.831	0.71	-0.204	-0.179	-0.198	-0.17	1	0.8	0.786	0.716	0.151	0.745
تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	0.717	0.888	-0.227	-0.255	-0.243	-0.197	0.8	1	0.725	0.686	0.365	0.766
عملکرد دانه Seed yield	0.848	0.74	-0.204	-0.144	-0.183	-0.055	0.786	0.725	1	0.42	0.152	0.939
فسفر دانه P ₂ O ₅ seed	0.643	0.439	-0.239	-0.241	-0.245	-0.276	0.716	0.686	0.42	1	-0.024	0.345
پروتئین دانه Seed protein content	-0.036	0.429	-0.054	-0.246	-0.136	-0.156	0.151	0.365	0.152	-0.024	1	0.474
عملکرد پروتئین Protein Yield	0.742	0.814	-0.23	-0.235	-0.237	-0.128	0.745	0.766	0.939	0.345	0.474	1

اعداد با فونت ضخیم، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵ هستند.

Values in bold are different from 0 with a significance level alpha=0.05

نتیجه‌گیری

توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و نیاز به غذای بیش‌تر و با کیفیت‌تر در اقشار جامعه، توصیه می‌شود که از این رقم برای تولید با عملکرد و کیفیت بالاتر استفاده شود. زیرا که این ویژگی‌های مطلوب سبب صرف انرژی کمتر توسط تولید کنندگان، بازدهی بالاتر، رضایت

در این پژوهش مشخص شد که رقم اصلاح‌شده بیل‌سوار نسبت به رقم محلی ورزقان تحت تیمارهای ریزوبیوم + نیتروژن در تمامی صفات مورد بررسی، عملکرد بالاتر و بهتری از خود نشان‌داده است. با

نیتروژن اندام هوایی و دانه عدس مثبت ارزیابی شد. میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و برخی عناصر مانند فسفر و افزایش سطح جذب آب سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه میزبان در سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌شود. بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاربرد قارچ میکوریزا از طریق بهبودی که در مقدار جذب عناصر غذایی از طریق توسعه ریشه و فراهمی عناصر غذایی در خاک و نیز افزایشی که به دنبال آن بر روی رشد، نمو و زیست‌توده گیاه عدس ایجاد می‌کند سبب بهبود عملکرد این گیاه شده است. در مجموع، به دلیل افزایش اکثر صفات رشدی و عملکردی گیاه عدس تحت تأثیر کود ترکیبی ریزوبیوم + نیتروژن در تاریخ کاشت اسفند ماه و رقم بیله‌سوار، توصیه می‌شود که جهت جلوگیری از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، از ترکیب کود ریزوبیوم + نیتروژن به همراه رقم بیله‌سوار و تاریخ کاشت اسفند ماه استفاده شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله، بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه شهرکرد و همچنین مرکز تحقیقات خاک و آب کشور جهت تأمین کودهای زیستی و سازمان جهاد کشاورزی اردبیل جهت تأمین بذر ارقام گیاه عدس، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

بیش‌تر مصرف کنندگان و در نتیجه تولید محصول با کیفیت‌تر می‌شود. ارقام عدس در تاریخ کاشت اسفند ماه به دلیل مواجه نشدن مراحل رشدی با دماهای بالای اواخر فصل، به‌ویژه در زمان‌های حساسی مانند گل‌دهی و غلاف‌دهی، از طول دوره‌ی رشد بلندی در منطقه شهرکرد برخوردار شدند و در نتیجه عملکرد بالاتری از صفات مورد بررسی نسبت به تاریخ فروردین ماه داشتند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت عامل اصلی تنظیم فنولوژی بود. تاریخ کاشت فروردین موجب تسریع سبز شدن، شاخه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی شد، اما به دلیل فشردگی دوره پر شدن دانه، پتانسیل عملکرد کاهش یافت، درحالی‌که کاشت ۲۵ اسفند چرخه رشد متعادل‌تری ایجاد کرد. رقم بیله‌سوار در اکثر مراحل (سبز شدن تا گل‌دهی) زودرس‌تر از ورزقان بود و با طولانی‌تر بودن نسبی دوره پر شدن دانه، عملکرد بهتری نشان داد، درحالی‌که ورزقان با تأخیر در گل‌دهی و کوتاه‌تر بودن دوره پر شدن دانه، ضعیف‌تر ظاهر شد. از نظر تغذیه‌ای، تیمار ریزوبیوم همراه نیتروژن موجب تسریع مراحل رویشی، تنظیم بهتر ورود به دوره زایشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه شد و بهترین پاسخ فنولوژیک و عملکردی را ایجاد کرد. در مقابل، شاهد بدون کود بیش‌ترین تأخیر در مراحل اولیه و کوتاه‌ترین دوره مؤثر پر شدن دانه را داشت و در مجموع ضعیف‌ترین وضعیت فنولوژیک و عملکردی را نشان داد. در این پژوهش، نقش قارچ میکوریزا در بالا بردن درصد

References

- Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., & Idowu, O. J. (2004). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yield. *Nigerian Journal of Plant Nutrition*, 27, 1163-1181. <https://doi.org/10.1081/PLN-120038542>
- Albayrak, S., Sevimey, C. S., & Tongel, O. (2006). Effect of inoculation with rhizobium on seed yield and yield components of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Turkish Journal of Agricultural Forestry*, 30, 31-37.
- Amany, A. B. (2007). Effect of plant density and urea foliar application on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 3(4), 220-223.
- Bigonah Mikal, A. (2015). Effect of organic biological and chemical fertilizers on growth characteristics and quantitative and qualitative of lentil (*Lens culinaris* Medik). MSc. Thesis. University of Lorestan, Lorestan, Iran. (In Persian).
- Chauhan, Y. S., Lake, L., Williams, R., Palta, J., & Sadras, V. O. (2025). Accounting for soil water improves prediction of lentil phenology for improved frost and heat stress management. *European Journal of Agronomy*, 164, 127486. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127486>
- Erskine, W., Muehlbauer, F. J., Sarker, A., & Sharma, B. (2009). The Lentil: Botany, Production and Uses. 370-410 pp. CABI.
- Estrada-Luna, A. A., & Davies, F. T. (2003). Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and pos-tacclimatization. *Jornal of Plant Physiology*, 160(9), 1073-1083. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00989>
- Etesami, H., & Adl, S. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and their role in sustainable agriculture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(1), 1-32.
- Fioreze, S. L., Castoldi, G., Augusto Pivetta, L., Gustavo Pivetta, L., Maximino Fernandes, D., & Theodoro Büll, L. (2012). Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. *Maringá*, 34, 331-338. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303026602014>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). FAOSTAT. Retrieved from. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

- Hassani, M., Tadayon, M. R., & Olia, M. (2023). Effect of organic and biological fertilizers on morphological characteristics and grain yield of mexican yam bean plant (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban). *Journal of Crop Production and Processing*, 13(4), 1-15. <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.13.4.209118>
- Khaliq, A., Abbasi, M. K., & Hussain, T. (2006). Effect of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology Journal*, 97, 967-972. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.05.002>
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2015). Effects of stabilizer water deficient (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of triticale under water withholding. *Plant Ecophysiology*, 9(28), 37-51. (In Persian).
- Kumar, T., Prakash, A., Ahmad, V., & Singh, R. P. (2018). Effect of biofertilizers and micronutrients on nutrient uptake, growth, yield and yield attributes of lentil (*Lens culinaris* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 3269-3275. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.392>
- Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1: F4.3.1-F4.3.8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
- Lopez-Bellido, L. (1998). Role of grain legumes in 93 Mediterranean agricultural systems. European Conference on Grain Legumes. Valladolid Spain. pp. 127-131.
- Mazlomi Meymandi, M., Pirzad, A. R., & Jalilian, J. (2019). Effect of mycorrhizal coexistence and complementary irrigation on the yield and grain elements and plant residues of chickpea (*Cicer arietinum*). *Iranian Journal of Pulses Reserarch*, 1(10), 75-90.
- Mohammadzadeh Algho, M., Janmohammadi, M., & Sabaghnia, N. (2018). The effect of planting date and management of chemical and nano-micro-nutrients on chickpea yield. *Jornal Crop Production*, 4(11), 55-70. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.15025.2127>
- Nori, M. J., Mozafari, A., & Mirzaie Heydari, M. (2015). Evaluation of yield and components of lentil seed under the influence of biofertilizer levels of nitrogen and complementary irrigation in Kermanshah province. *Agronomy and Plant Breeding*, 1(12), 1-14.
- Peterso, R. L., & Massicotte, H. B. (2004). Exploring structural definitions of mycorrhizas, with emphasis on nutrient-exchange interfaces. *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne De Botanique*, 82(8), 1074-1088. <https://doi.org/10.1139/b04-071>
- Pirouti, M. (2018). The effect of bio, organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of lentil under rainfed condition. MSc. Thesis, University of Urmia, Urmia, Iran. (In Persian).
- Rezaei Chianeh, A., Tajbakhsh, M., Ghiasi, M., & Amirnia, V. (2015). Investigation of the effect of organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chickpea plant. *Jornal of Research Crop Sciences*, 4(1), 55-69.
- Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., & Tandon, H. L. (2006). Plant Nutrition for Food Security. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin. Food and Agricultural Organization, Rome, p. 16-348.
- Rufaioglu, S. B., & Tunç, M. (2025). Sensor-based assessment of fertilizer strategies in soybean: Linking SPAD, NDVI, plant height, and thermal imaging with biomass accumulation. *BMC Plant Biology*, 25, Article 1626. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07628-x>
- Sabaghpour, S. H., Shahbazi, H., & Rezakhanlou, R. (2017). The effect of using biological and chemical nitrogen fertilizers on yield and yield components in lentil cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(1), 40-51. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.61850>
- Saket, S., Singh, S. B., Namdeo, K. N., & Parihar, S. S. (2014). Effect of organic and inorganic fertilizers on yield, quality and nutrients uptake of lentil. *Annals of Plant and Soil Research*, 16(3), 238-241.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crop Research*, 113, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
- Seyed Sharifi, R., & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of starter nitrogen, methanol and bio fertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed lentil. *Journal of Crops Improvement*, 22(3), 445-460. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292605.2295>
- Shahsavani, S., Qaranjik, S., & Jadid-ol-Islam, N. (2017). Effect of mycorrhiza, *Pseudomonas* bacteria, and humic acid on growth indices of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 97-112. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.50327>
- Toleikiene, M., Arlauskienė, A., Sarunaite, L., Kadziulienė, Z., Deveikyte, I., & Supragonas, A. (2025). Adaptation of lentil to Northern European agro-climatic conditions: Effect of sowing time and sowing rate on lentil development, productivity and weed suppression. *BMC Plant Biology*, 25(1), 931. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06961-5>

- Yadav, A. N., Kour, S., & Kaur, T. (2025). Biofertilizers: A sustainable tool for soil health and crop productivity. *Sustainable Agriculture Reviews*, 62(1), 115-148.
- Wright, D. P., Scholes, J. D., & Read, D. J. (1998). Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of (*trifolium repense* L.). *Plant, Cell and Environment*, 209-216. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1998.00280.x>
- Zabihi-e-Mahmoodabad, R., & Hassanzadeh, M. (2017). Effects of nitrogen and potassium levels on some qountitative and qualitative traits and agronomical fertilizer use efficiency in lenti cultivation. *Jornal of Plant Ecophysiology*, 38, 11. (In Persian).
- Zeidan, M. S. (2007). Effect of organic manure and phosphorus fertilizers on growth, yield and quality of lentil plants in sandy soil. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3(6), 748-752.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135>

Effect of Salicylic Acid and Mycorrhiza on Morphophysiological Traits, Yield, and Nutrient Uptake of Two Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars in Lorestan, Iran

Zeinab Imani¹, Mohamad Reza Moradi Telavat¹, Ahmad Koochekzadeh^{1*}, Behrooz Mir Drikvand², Aydin Khodaei Joghani¹

Received: 09 May 2026
Revised: 18 June 2026
Accepted: 21 June 2026
Available Online: 21 June 2026

Cite this article:

Imani, Z., Moradi Telavat, M. R., Koochekzadeh, A., Mir Drikvand, B., & Khodaei Joghani, A. (2026). Effect of salicylic acid and mycorrhiza on morphophysiological traits, yield, and nutrient uptake of two rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Lorestan, Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 119-133. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important rainfed legumes in the western regions of Iran; however, its production is severely constrained by late-season drought stress. Drought stress disrupts photosynthetic processes and reproductive growth by reducing the availability of essential nutrients. Salicylic acid, as a plant growth regulator, enhances drought tolerance. Furthermore, mycorrhizal fungi such as *Glomus intraradices*, through the extension of their hyphal network, facilitate the uptake of water and low-mobility elements such as phosphorus (P), thereby improving stress resilience. Given the decisive role of cultivar selection in yield performance, this study was conducted to evaluate the interactive effects of salicylic acid and mycorrhizal inoculation on the morphophysiological characteristics, yield, and nutrient acquisition of two rainfed chickpea cultivars under the climatic conditions of Lorestan province.

Materials and Methods

The experiment was carried out during the 2021–2022 growing season at the Beyranshahr Research Station (northeast of Khorramabad, altitude 1660 m, cold semi-arid climate with an average annual rainfall of 250 mm). The experiment was arranged as a split-plot factorial based on a randomized complete block design with three replications. The main factor consisted of salicylic acid at four levels (0, 0.5, 1.0, and 1.5 mM). Subplot factors included two chickpea cultivars (Lorestan local and the Goksu cultivar) and two mycorrhizal inoculation levels (inoculation with *Glomus intraradices* and non-inoculated). Seeds were hand-planted in December. Mycorrhizal inoculum was incorporated into the root-zone soil, before sowing, and salicylic acid was applied as a foliar spray at the pre-flowering stage. Measured traits included plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 100-seed weight, seed yield, biological yield, leaf area index (LAI), canopy temperature, leaf chlorophyll index (SPAD), plant nitrogen and phosphorus concentration, and seed protein content. Data were analyzed using SAS software (version 9.4, SAS Institute Inc.). Analysis of variance (ANOVA) was performed, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test ($\alpha = 0.05$).

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that the salicylic acid $\times$ mycorrhiza interaction had a significant effect on number of pods per plant, number of seeds per pod, canopy temperature, leaf chlorophyll index, plant nitrogen and phosphorus concentrations, and seed protein content. The highest number of pods per plant (26.30) and seeds per pod (2.15) were recorded in the 1.5 mM salicylic acid $\times$ mycorrhiza treatment. Moreover, the highest leaf chlorophyll index (17.08) was observed in the Goksu cultivar treated with 1.5 mM salicylic acid and mycorrhiza, which was twice the minimum value (8.18 in the untreated local cultivar, 0 mM salicylic acid, no mycorrhiza). The combined application of 1.5 mM salicylic acid and mycorrhiza increased plant nitrogen concentration (by 40.38%), plant phosphorus concentration (to 4.16 mg.kg⁻¹) which were more than double the lowest values (19.82% and 1.98 mg.kg⁻¹, respectively). The lowest canopy temperature (23.45 °C) was also recorded under the 1.5 mM salicylic acid $\times$ mycorrhiza treatment, showing a significant

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran

2- Agricultural Jihad Organization of Lorestan Province, Khorramabad, Iran

* Corresponding Author: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

reduction compared to the control (31.53 °C). The main effect of salicylic acid was significant on plant height, 100-seed weight, and seed yield; the application of 1.5 mM salicylic acid resulted in the highest plant height (42.07 cm), 100-seed weight (38.06 g), and seed yield (2022 kg.ha⁻¹), which were increases of 26.6%, 30.5%, and 56%, respectively, over the control. Mycorrhizal inoculation alone also increased seed yield to 1864 kg ha⁻¹. The Goksu cultivar was superior to the local cultivar in terms of plant height (39.03 cm vs. 37.52 cm) and leaf area index (2.08 vs. 1.85), but no significant difference in seed yield was detected between the two cultivars.

Conclusions

Based on the results obtained from this experiment, it was established that the main effects of salicylic acid application and mycorrhizal inoculation individually increased seed yield. Mycorrhiza, through the expansion of its hyphal network, improves phosphorus uptake, which provides the energy required for nitrogen fixation and chlorophyll synthesis. Salicylic acid appears to improve nitrogen metabolism and prevent protein degradation under drought conditions by enhancing nitrate reductase activity and modulating antioxidant responses. Furthermore, the synergy between these two factors reduced canopy temperature (which improves plant water status) and increased the chlorophyll index (enhancing photosynthetic capacity), thereby promoting the translocation of photosynthates to the seed. Although the Goksu cultivar was superior in certain vegetative traits, its seed yield was similar to the local cultivar, which is likely attributable to the greater adaptation of the local cultivar to the region's rainfed conditions. In conclusion, the foliar application of 1.5 mM salicylic acid combined with soil inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can be recommended as a low-input, environmentally sustainable strategy to increase seed yield (up to 56%), protein content (up to 37%), and nutrient uptake in rainfed chickpea under cold semi-arid conditions similar to those of Lorestan province.

Keywords: Canopy temperature, Drought stress, Leaf area index, Seed protein



تأثیر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و جذب عناصر دو رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم در لرستان

زینب ایمانی^۱، محمدرضا مرادی تلاوت^{۱*}، احمد کوچک زاده^{۱*}، بهروز میردریگوند^۲، آیدین خدایی جوقان^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

چکیده

به منظور ارزیابی اثر اسیدسالیسیلیک و قارچ مایکوریزا در کاهش خسارت تنش خشکی آخر فصل در کشت دیم نخود (*Cicer arietinum* L.) و ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکردی آن، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر استان لرستان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح اسیدسالیسیلیک (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) به عنوان عامل اصلی، دو ژنوتیپ نخود (توده محلی لرستان و رقم گوکسو) و دو سطح تلقیح مایکوریزایی (تلقیح با گونه *Glomus intraradices* و عدم تلقیح) به عنوان عامل‌های فرعی بودند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص کلروفیل برگ، درصد نیتروژن، فسفر بوته و پروتئین دانه معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزایی به تعداد ۲/۱۵ به دست آمد. همچنین مقدار نیتروژن و فسفر بوته در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزا به ترتیب ۴۰/۳۸ درصد و ۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل شد که نسبت به شاهد بیش از دو برابر بود. اثر اصلی وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک معنی‌دار و مقدار آن به ترتیب ۳۸/۰۶ گرم و ۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی برگی ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تلقیح میکوریزا می‌تواند به عنوان یک راهبرد کم‌نهاد و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش شاخص‌های عملکردی نخود دیم در شرایط نیمه‌خشک و سرد مشابه استان لرستان توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تنش خشکی، دمای سایه‌انداز، شاخص سطح برگ

مقدمه

ترکیبات مواد غیرآزمی هستند که برای مقابله با خسارت سلولی در تنش‌ها توسط گیاهان استفاده می‌شوند (Ashraf et al., 2010). گزارش شده است که اسیدسالیسیلیک، دسترسی عناصر غذایی به گیاه را بهبود بخشیده و به این ترتیب باروری گل‌ها را افزایش داد (Hasanvand et al., 2020). در مطالعه‌ای نشان داده شد که محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک، تمام صفات مورد ارزیابی دو رقم نخود را به جز تعداد دانه در غلاف، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Salek Mearaji & Hatami, 2020). قارچ مایکوریزا با بهبود جذب آب و مواد غذایی مانند منیزیم و آهن، غلظت کلروفیل را افزایش داد (Aghababaei & Raiesi, 2011) و از این طریق باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شد (Koochekzadeh et al., 2023; Jahangiri-Nia et al., 2016). نشان داده شده است که تلقیح مایکوریزایی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و به دنبال

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) در خانواده بقولات پس از لوبیا دومین جایگاه مصرف را در ایران دارد. سطح زیرکشت این محصول در ایران ۶۱۸ هزار هکتار و مقدار تولید آن ۵۵۵ هزار تن است (Agricultural Statistics, 2023). این گیاه با ۲۰ تا ۲۳ درصد پروتئین، یکی از کشت‌های دیم مهم استان‌های غربی کشور محسوب می‌شود. یکی از عوامل محدودکننده تولید این محصول، تنش خشکی است که دسترسی به عناصر غذایی را کاهش می‌دهد. در این رابطه، کاربرد اسیدسالیسیلیک، تحمل گیاه به تنش خشکی را تعدیل و بر فرآیندهای رشدی و عملکردی گیاه مؤثر است (Sahraei et al., 2018). اسیدسالیسیلیک به عنوان یک ماده شبه‌هورمونی، تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش داده و تنش اکسیداتیو را با تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز، کاهش می‌دهد (Baghizadeh et al., 2020). آنتی‌اکسیدان‌ها، آنزیم‌ها و برخی

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲- جهاد کشاورزی استان لرستان، خرم‌آباد، ایران

*- نویسنده مسئول: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

فصل رشد و هنگام شکل‌گیری اندام‌های زایشی نخود، این پژوهش با هدف اثر کاربرد اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر دو رقم نخود در شرایط دیم انجام شد تا تغییرات ویژگی‌های رشدی و عملکردی آن‌ها بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر واقع در استان لرستان، در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرق خرم‌آباد با عرض شمالی ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه، طول شرقی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه و ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک با مشخصات هواشناسی **جدول ۱** می‌باشد. همچنین خصوصیات خاک محل مورد آزمایش در **جدول ۲** ارائه شده است.

آن، افزایش عملکرد بذر نسبت به شاهد گردید (Taheri Asghari, 2022). همچنین مایکوریزا با تولید پروتئینی به‌نام گلومالین، نقش کلیدی در تشکیل خاک‌دانه‌ها و ایجاد حفرات مناسب در خاک دارند، لذا هیف‌های قارچ با سهولت بیشتری وارد آن‌ها شده و انتقال مواد غذایی به‌خصوص فسفر را تسهیل می‌کنند (Piotrowski et al., 2004). از طرف دیگر، تأثیر ژن‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر صفات زراعی بیان شده است، بنابراین بین ارقام مختلف نخود نیز از این نظر تفاوت وجود دارد (Tahir & Karim, 2011; Bagheri et al., 2019). رقم، نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در میزان عملکرد دانه دارد که به‌دلیل خصوصیات ژنتیکی آن می‌باشد (Kabir-Fazlul et al., 2009). در مطالعه‌ای نشان داده شد که کاربرد رقم، اسیدسالیسیلیک و کودهای زیستی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه نخود زراعی شد (Momeni et al., 2021). با توجه به اثر سوء تنش خشکی در انتهای

جدول ۱- مشخصات دما و میزان بارندگی منطقه در طول دوره آزمایش (سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 1- Temperature and rainfall characteristics of the region during the experiment

ماه Month	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
میانگین دما Mean temperature (°C)	9.8	6.5	6.0	10.6	15.7	19.6	27.1
حداکثر دما Max temperature (°C)	16.2	11.8	12.8	17.2	24.8	27.6	37.6
حداقل دما Min temperature (°C)	3.5	1.2	-0.8	3.9	6.6	11.5	16.5
مقدار بارندگی Precipitation (mm)	89.5	89.8	29.7	33.6	5.0	29.0	0

جدول ۲- نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر استان لرستان)

Table 2- Results of physical and chemical analysis of soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	بافت Texture
0-30	2.5	7.1	0.06	8.0	180	0.62	Loam

عامل‌های مورد مطالعه شامل اسیدسالیسیلیک در چهار سطح (شاهد، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل اصلی، دو رقم نخود (توده محلی منطقه لرستان (به‌عنوان شاهد) و رقم گوکسو) و قارچ مایکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) به‌عنوان عامل‌های فرعی بودند. توده محلی لرستان مناسب مناطق دیم و کم‌آب است که عادت رشد نیمه‌قائم دارد و نسبت به ارقام جدید عملکرد کمتری دارد، ولی از نظر پایداری عملکرد در سیستم‌های کم‌نهاد و شرایط کم‌آبی ارزشمند محسوب می‌شود. رقم نخود گوکسو (Göksu) یک رقم نسبتاً جدید ترکیه‌ای است که برای کشت پاییزه (زمستانه) و همچنین کشت بهاره

اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Rhoades, 1996)، pH در خمیر اشباع (Thomas, 1996)، توزیع اندازه ذرات به‌روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، نیترژن کل به‌روش کج‌دال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به‌روش اسید آسکوربیک (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل جذب به‌روش استات آمونیم (Helmke & Sparks, 1996) و کربن آلی به‌روش والکی-بلاک (Nelson & Sommers, 1996) انجام شد.

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و سه تکرار اجرا گردید.

که در آن، LA: سطح برگ (مساحت برگ‌های بوته‌ها) و GA: مساحت زمین تحت اشغال بوته‌ها است.

ارتفاع ساقه در مرحله برداشت با استفاده از خط کش و با نمونه‌برداری ۱۰ بوته از هر کرت اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ در مرحله گل‌دهی با استفاده از دستگاه کلروفیل متر SPAD مدل ۵۰۲ انجام شد. برای این کار پنج بوته از هر کرت انتخاب و در آخرین برگ توسعه‌یافته آن‌ها، سه نقطه قرائت گردید (در مجموع ۱۵ عدد برای هر کرت) و میانگین آن‌ها به‌عنوان عدد کلروفیل هر کرت آزمایشی ثبت شد. اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف با نمونه‌برداری ۱۰ بوته از هر کرت و میانگین‌گیری آن‌ها اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه با جدا کردن دانه‌ها و اندازه‌گیری دو نمونه تصادفی ۱۰۰ تایی از هر کرت به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم اعشار انجام شد و میانگین وزن ۱۰۰ دانه برای هر کرت آزمایشی محاسبه گردید. عملکرد دانه، پس از جدا کردن دانه‌ها از غلاف با رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. اندازه‌گیری عملکرد زیستی پس از قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون با ترازوی دقیق انجام گردید.

همچنین جهت اندازه‌گیری نیتروژن دانه، بوته و فسفر بوته، ابتدا نمونه‌ها آسیاب و یک گرم از آن‌ها به مدت چهار ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس عصاره‌گیری به‌وسیله اسیدکلریدریک دو نرمال انجام گرفت. نیتروژن دانه و بوته به‌روش نلسون و سامرز (Nelson & Sommers, 1980) و فسفر بوته به‌روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شد. مقدار پروتئین دانه نیز از ضرب نیتروژن دانه در ۶/۲۵ منظور گردید. تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. قبل از آنالیز آماری، به‌وسیله رویه Univariate از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع گیاه یکی از مهم‌ترین صفات مورد استفاده در تعیین ارقام مناسب برای شرایط دیم و پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد. ارتفاع بوته خود از صفات اثرپذیر کاربرد اسیدسالیسیلیک بود (جدول ۳). طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش مشخص شد که افزایش میزان کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (جدول ۴)، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته (۴۲/۱ سانتی‌متر) با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار حاصل شد که با اسیدسالیسیلیک ۱ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴). کمترین ارتفاع بوته نیز

در مناطق مرتفع معرفی شده است. این رقم یک نخود درشت‌دانه از تیپ کابلی، زودرس، متحمل به خشکی و مناسب برداشت مکانیزه با ارتفاع بوته حدود ۳۸ تا ۷۰ سانتی‌متر است که برای کشت پاییزه در مناطق گرم‌تر و کشت بهاره در مناطق مرتفع طراحی شده و پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط آبی و دیم دارد. عملکرد در شرایط دیم ۲/۸۷ تن در هکتار و در شرایط آبی تا حدود ۴/۵۵ تن در هکتار است. به‌طور کلی، بذر رقم گوکسو، اصلاح‌شده، دانه درشت، مقاوم به برق‌زدگی و فوزاریوم، مقاوم به سرمای زمستان، مناسب کشت دیم و آبی، دارای ارتفاع بلند و قابلیت برداشت مکانیزه و توده محلی، دانه ریز، متوسط رشد و دارای حساسیت نسبی به برق‌زدگی است (Yuce and Karakoy, 2024). در این آزمایش، مایع تلقیح مایکوریزا (*Glomus intraradices*) که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده بود، به تعداد اسپور ۵۰ عدد در گرم ماده حامل، قبل از کاشت با اختلاط با خاک مرطوب منطقه توسعه ریشه به کار برده شد. محلول اسید سالیسیلیک نیز در یک مرحله قبل از گل‌دهی به‌صورت محلول‌پاشی استفاده گردید. هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به‌طول شش متر و عرض ۱/۸ متر بود که یک ردیف از هر طرف و نیم متر از بالا و پایین برای حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذرهای روی هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌های اصلی ۵۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌های فرعی ۳۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها از هم ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. کاشت به‌صورت دستی در کرت‌های مسطح در نیمه اول آذر ماه انجام گرفت. در طی مراحل رشد، مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. برداشت در اواخر خرداد به‌صورت دستی و از سطح یک متر مربع وسط هر کرت (با حذف اثرات حاشیه) انجام گردید. همچنین از کود فسفات پتاسیم به‌مقدار ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار قبل از کشت استفاده شد.

صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص سطح برگ، دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص کلروفیل برگ، درصد نیتروژن بوته، درصد فسفر بوته و پروتئین دانه بودند. برای اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز جامعه گیاهی، از دستگاه دماسنج مادون قرمز استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، از هر کرت، پنج بوته انتخاب و تمام برگ‌های آن پس از قرار گرفتن روی کاغذ سفید عکس‌برداری و توسط نرم‌افزار Digimizer 6.4 برای محاسبه سطح برگ‌های نمونه‌برداری شده در هر تیمار قرائت شدند. شاخص سطح برگ (LAI) برای هر نمونه از طریق معادله ۱ محاسبه شد.

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad \text{معادله (۱)}$$

دانه) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۶). اسیدسالیسیلیک در شرایط کم‌آبی (مشابه دیم) تعداد غلاف و دانه را در لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) افزایش داد (Afshari et al., 2013). مشابه همین نتایج در آزمایش شیرویی و همکاران (Shiroui et al., 2023) روی نخود گوکسو در اراضی دیم نیز مشاهده شد. اما شاه‌قاسی و همکاران (Shahghasi et al., 2023) گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک، تعداد دانه در غلاف گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) را افزایش نداد که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت ندارد.

شاخص‌های فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تنها اثر رقم بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها مشخص کرد که شاخص سطح برگ ۲/۰۸ رقم گوکسو به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده محلی (۱/۸۵) بود (جدول ۴). برگ‌ها، لندام‌های اصلی دریافت نور و انجام فتوسنتز در گیاهان هستند. سطح برگ، ظرفیت جذب انرژی تاج‌پوشش را تعیین کرده و نقش مهمی در تخمین زیست‌توده و تبخیر-تعرق پوشش گیاهی ایفا می‌کند (Verrelst et al., 2012). به نظر می‌رسد که ارقام با خلوص و پتانسیل ژنتیکی بیشتر، توانایی بهتری در جذب آب و مواد غذایی از خاک داشته و در نتیجه از سطح برگ گسترده‌تری برخوردار می‌شوند. اگرچه کاربرد جداگانه اسیدسالیسیلیک یا مایکوریزا باعث افزایش عددی شاخص سطح برگ گردید، اما این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴). در این رابطه گزارش شده است که میکوریزا به‌طور مستقیم سطح برگ را افزایش نمی‌دهد، بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ اثر می‌گذارد (Valentine et al., 2006).

اثر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر دمای سایه‌انداز معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک در تیمارهای حاوی مایکوریزا منجر به کاهش دمای سایه‌انداز گردید. کمترین میزان دمای سایه‌انداز (۲۳/۴۵ درجه سلسیوس) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار حاصل شد، درحالی‌که بیشترین دمای سایه‌انداز (۳۱/۵۳ درجه سلسیوس) در تیمار بدون اسیدسالیسیلیک و بدون تلقیح مایکوریزا مشاهده گردید (جدول ۶). این یافته‌ها با گزارش واسایا و همکاران (Wasaya et al., 2021) همسو است، آن‌ها نشان دادند که کاربرد اسیدسالیسیلیک دمای سایه‌انداز گیاهی را کاهش می‌دهد. حسن و همکاران (Hassan et al., 2022) اعلام کردند که اسیدسالیسیلیک یک تنظیم‌کننده تولید گرما در گیاه بوده و غلظت‌های مختلف آن ممکن است اثرات متفاوتی بر دمای تاج‌پوشش داشته باشد. عواملی که سطح برگ و بازشدگی روزنه‌ها را افزایش می‌دهند باعث افزایش

در شاهد با ۳۳/۲ سانتی‌متر مشاهده گردید. کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش طولی شدن ساقه از راه بهبود وضعیت آبی سلول‌ها شده که در نتیجه ارتفاع بوته نیز افزایش می‌یابد (Hafez et al., 2019). در پژوهشی روی نخود زراعی گزارش شد که با کاربرد اسیدسالیسیلیک، نشت یونی و تجمع یون‌های سمی در گیاهان کاهش و سبب افزایش سیتوکینین‌ها گردید (Krantev et al., 2008) که تأثیر مثبتی بر رشد طولی گیاه دارد. علی‌رغم اینکه اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2010) بیان داشتند که اسیدسالیسیلیک در غلظت زیاد، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی عمل کرده و با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برهم‌کنش ایجاد می‌کند، ولی در این آزمایش، اسیدسالیسیلیک تا غلظت ۱/۵ میلی‌مولار، شاخص‌های رشدی و عملکردی نخود را افزایش داد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تلقیح بذره‌های نخود زراعی با مایکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد، به‌طوری‌که در تیمار تلقیح با مایکوریزا، ارتفاع بوته به ۳۹/۷ سانتی‌متر رسید که نسبت به شاهد (۳۶/۸ سانتی‌متر) بیشتر بود (جدول ۴). قارچ مایکوریزا با فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک برای گیاه سبب بهبود رشد آن (Ferrol et al., 2019) و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه گردید. مایکوریزا با جذب بیش‌تر عناصر غذایی، ریشه‌های گیاه را گسترش داده که از این طریق بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Hasanvand et al., 2020).

بین ارقام محلی و خارجی نیز از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت و نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در رقم گوکسو و توده محلی به‌ترتیب ۳۹/۰۳ و ۳۷/۵۲ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

اجزای عملکرد

نتایج نشان داد که اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف (۲۶/۳) در بوته) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار و کمترین تعداد آن (۱۸/۴) در تیمار بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک حاصل شد (جدول ۶). تعداد غلاف از مهم‌ترین صفات زایشی مؤثر بر عملکرد دانه است. افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک باعث افزایش تعداد غلاف شد و این افزایش در حضور مایکوریزا تشدید گردید. اسیدسالیسیلیک با تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی، محتوای آب سلول و فتوسنتز را بهبود بخشیده و با افزایش کارایی ریشه‌های موئین، جذب آب و عناصر را تسهیل می‌کند (Hafez et al., 2019) و در نتیجه مقاومت به خشکی و اجزای عملکرد را افزایش می‌دهد.

همچنین اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در غلاف (۲/۱۵)

تبخیر و تعرق شده و در نتیجه دمای سایه‌انداز گیاهی کاهش می‌یابد (Wasaya et al., 2021). بگوم و همکاران (Begum et al., 2019) عنوان کردند که کاربرد مواد مغذی و بهبود تغذیه گیاه با افزایش سطح برگ و حفظ محتوای آب درونی، دمای سایه‌انداز را کاهش می‌دهد. همچنین گزارش شده است که هر عاملی جذب آب توسط گیاه را افزایش دهد موجب کاهش دمای سایه‌انداز می‌گردد (Liu et al., 2021).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سه‌گانه اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود. بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۱۷/۰۸) در تیمار کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار، رقم گوکسو و تلقیح مایکوریزایی حاصل شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. کمترین میزان این صفت (۸/۱۸) نیز مربوط به توده محلی، عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک و عدم تلقیح مایکوریزا بود (جدول ۵). کاهش کلروفیل در شاهد احتمالاً به دلیل کاهش سنتز و افزایش تخریب

کلروفیل تحت تنش خشکی در شرایط دیم می‌باشد. استفاده از اسیدسالیسیلیک به دلیل دسترسی به موقع عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Yeganehpour et al., 2016). همچنین در شرایط تنش خشکی، اسیدسالیسیلیک باعث افزایش تراکم کلروفیل در واحد سطح برگ شده (Baljani & Shekari, 2012) و در نتیجه شاخص کلروفیل ارتقاء می‌یابد. پژوهش حافظ و همکاران (Hafez et al., 2019) روی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، شاخص کلروفیل برگ را افزایش داده و اثرات منفی خشکی را کاهش می‌دهد. همچنین تلقیح بذر با ریزجاندانان زیستی همراه با اسیدسالیسیلیک، افزایش بیشتری در شاخص کلروفیل ایجاد کرد. به نظر می‌رسد که افزایش کلروفیل در هم‌زیستی با قارچ‌های میکوریزا به دلیل جذب بیشتر فسفر و عناصر ضروری در بیوسنتز کلروفیل باشد (Aghababaei & Raiesi, 2011). همچنین میکوریزا با کمک به جذب منیزیم، سنتز کلروفیل را افزایش می‌دهد (Hashem et al., 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات اندازه‌گیری شده نخود زراعی
Table 3- Variance analysis of some evaluated traits of chickpea

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of squares (MS)			
		ارتفاع بوته Height of plant	تعداد غلاف در بوته No. of pods.plant ⁻¹	تعداد دانه در غلاف No. of seed.pod ⁻¹	شاخص سطح برگ Leaf area index
تکرار Replication	2	3.168 ^{ns}	0.453 ^{ns}	0.308**	3.92**
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	184.419**	73.328**	1.141**	0.170 ^{ns}
خطای اصلی Ea	6	10.359	1.955	0.063	2.225
رقم Cultivar (C)	1	27.075*	2.895 ^{ns}	0.067 ^{ns}	0.671**
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	1	99.907**	29.657**	0.700**	0.048 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × رقم SA × C	3	6.938 ^{ns}	0.282 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.206 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × مایکوریزا SA × M	3	4.355 ^{ns}	5.235*	0.091*	0.251 ^{ns}
رقم × مایکوریزا C × M	1	15.881 ^{ns}	0.494 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.014 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × رقم × مایکوریزا SA × C × M	3	8.105 ^{ns}	0.758 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.053 ^{ns}
خطای فرعی Eb	24	8.368	1.432	0.038	0.116
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.55	5.48	12.02	17.32

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

^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جذب عناصر

اثر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر مقدار نیتروژن بوته معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نیتروژن بوته (۴۰/۳۸ درصد) در تیمار ترکیبی اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار همراه با تلقیح مایکوریزا و کمترین مقدار (۱۹/۸۲ درصد) در شاهد (بدون اسیدسالیسیلیک و بدون مایکوریزا) حاصل شد (جدول ۴). به عبارت دیگر، کاربرد تلفیقی این دو تیمار موجب افزایش دو برابری نیتروژن بوته نسبت به شاهد گردید. مایکوریزا با افزایش فسفر قابل جذب خاک، تثبیت زیستی نیتروژن را افزایش (Oliveira et al., 2017) و با فعال کردن آنزیم‌های گلوتامین

سنتتاز، آرژیناز و اوره‌آز، مقدار نیتروژن را در گیاهان زیاد می‌کند (Ashraf, 2010). کاربرد اسیدسالیسیلیک همراه با هم‌زیستی مایکوریزایی، کلونیزاسیون ریشه و گسترش آن را افزایش داده و جذب آب و عناصر را بهبود می‌بخشد (Hasanvand et al., 2020). از سوی دیگر، اسیدسالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در برگ، احیای نیترات را تسریع کرده و متابولیسم نیتروژن را تسهیل می‌کند (Khaled & Fawy, 2011). در شرایط کم‌آبی، بهبود کلونیزاسیون مایکوریزا در حضور اسیدسالیسیلیک و متعاقب آن افزایش جذب نیتروژن، یکی از سازوکارهای اصلی افزایش عملکرد دانه و محتوای پروتئین نخود است.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده نخود زراعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری

Table 4- Mean comparison of measured some evaluated traits of chickpea affected by treatments

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	ارتفاع بوته Height of plant (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha ⁻¹)
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	شاهد Control	33.24 c*	1.83 a	29.16 c	1295.6 c	4462.3 a
	0.5 mM	37.21 b	1.91 a	34.29 b	1599.2 bc	4661.2 a
	1.0 mM	40.58 a	2.02 a	36.84 ab	1822.4 ab	4767.3 a
	1.5 mM	42.07 a	2.10 a	38.06 a	2022.1 a	5038.3 a
رقم Cultivar	محلی Local	37.52 b	1.85 b	34.11 a	1611.3 a	4576.4 a
	گوکسو Goksu	39.03 a	2.08 a	35.06 a	1758.6 a	4888.2 a
	عدم تلقیح No inoculation	36.83 b	1.93 a	33.12 b	1505.6 b	4430.1 b
مایکوریزا Mycorrhiza	تلقیح Inoculation	39.72 a	2.00 a	36.05 a	1864.3 a	5034.4 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

فسفر را افزایش می‌دهد (Hasanvand et al., 2020). با توجه به مقدار کم فسفر قابل جذب خاک منطقه (جدول ۲)، پاسخ مناسب گیاه به مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک قابل انتظار بود. ریزجانداران حل‌کننده فسفر با ترشح اسیدهای آلی، فسفر قابل جذب را افزایش می‌دهند (Ferrol et al., 2019) براساس پژوهش مؤمنی و همکاران (Momeni et al., 2020)، مصرف اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا، مقدار فسفر را در نخود دیم افزایش داد. اسیدسالیسیلیک با تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی، محتوای آب سلول و فتوسنتز را بهبود بخشیده و با افزایش کارایی ریشه‌های موین، جذب آب و عناصر را تسهیل می‌کند (Hafez et al., 2019).

علاوه بر این، اثر رقم و مایکوریزا بر فسفر بوته معنی‌دار بود. در هر دو رقم (توده محلی و گوکسو)، تلقیح مایکوریزا نسبت به عدم تلقیح برتری داشت. رقم گوکسو در تیمار تلقیح با مایکوریزا دارای بیشترین

همچنین برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر فسفر بوته معنی‌دار بود. در تمام سطوح اسیدسالیسیلیک، تلقیح با مایکوریزا منجر به افزایش درصد فسفر بوته گردید. بالاترین مقدار فسفر (۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار تلقیح مایکوریزا همراه با اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار به دست آمد که با تیمار ۱ میلی‌مولار همراه با مایکوریزا تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار فسفر (۱/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در شاهد (بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک) به دست آمد (جدول ۴). پژوهش‌های مختلف افزایش معنی‌دار جذب فسفر در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا را تأیید کرده‌اند (Begum et al., 2019). مایکوریزا با توسعه هیف خود، دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه فسفر با تحرک کم در خاک را تسهیل می‌کند (Ferrol et al., 2019). اسیدسالیسیلیک با افزایش کلونیزاسیون ریشه و بهبود استقرار مایکوریزا، به‌طور غیرمستقیم جذب

میزان فسفر (۳/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و توده محلی در تیمار عدم تلقیح دارای کمترین میزان فسفر (۲/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). به احتمال زیاد، خصوصیات ژنتیکی و ریخت‌شناختی ریشه و اندام هوایی رقم گوکسو در جذب بهتر آب و عناصر مؤثر بوده است

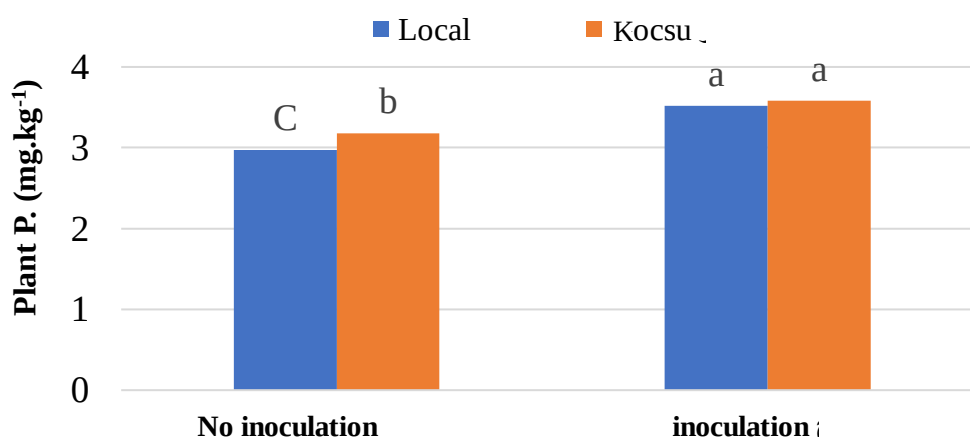
میزان فسفر (۳/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و توده محلی در تیمار عدم تلقیح دارای کمترین میزان فسفر (۲/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). به احتمال زیاد، خصوصیات ژنتیکی و ریخت‌شناختی ریشه و اندام هوایی رقم گوکسو در جذب بهتر آب و عناصر مؤثر بوده است

جدول ۵- برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر شاخص کلروفیل برگ نخود زراعی

Table 5- Interaction of salicylic acid, mycorrhiza and cultivar on leaf chlorophyll index of chickpea		عدم تلقیح				تلقیح			
مایکوریزا	Myco	No inoculation				Inoculation			
اسیدسالیسیلیک	Salicylic acid (mM)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
محلی	Local	8.18 ^{g*}	10.98 ^f	12.50 ^{de}	13.24 ^{cd}	9.94 ^f	12.07 ^e	13.72 ^c	15.00 ^b
گوکسو	Goksu	9.73 ^{ef}	12.00 ^e	12.53 ^{de}	13.51 ^c	10.14 ^f	12.31 ^e	14.59 ^b	17.08 ^a

* میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.



شکل ۱- برهم‌کنش مایکوریزا و رقم بر فسفر بوته نخود زراعی

Figure 1- Interaction of mycorrhiza and cultivar on plant phosphorus of chickpea

نتایج سایر محققان نیز افزایش معنی‌دار پروتئین دانه نخود دیم را با کاربرد اسیدسالیسیلیک تأیید کرده است (Abbasi et al., 2024) که با این تحقیق مطابقت دارد. نتایج تحقیق پژوهشگران نشان داد که کاربرد مایکوریزا، مقدار پروتئین دانه در نخود دیم را افزایش داد (Momeni et al., 2020). گزارش شده است که مایکوریزا با افزایش فسفر قابل جذب خاک، تثبیت زیستی نیتروژن را افزایش داده (Oliveira et al., 2017) که باعث تجمع بیشتر نیتروژن در گیاه و در نهایت انباشتگی پروتئین در دانه می‌شود. هم‌افزایی مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک در مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد تلفیقی این دو تیمار، پروتئین دانه نخود در شرایط دیم را افزایش داد.

پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزایی بذور (جدول ۶) ضمن برتری تیمار تلقیح مایکوریزایی، نشان داد که افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک نیز افزایش درصد پروتئین دانه را به همراه داشت (جدول ۶). به‌طوری‌که بالاترین درصد پروتئین دانه در تیمار تلقیح مایکوریزایی به همراه کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار به‌میزان ۳۰/۰۵ درصد و کمترین مقدار آن به‌میزان ۲۱/۹۷ درصد در شرایط بدون تلقیح و بدون مصرف اسیدسالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۶) که افزایش ۳۷ درصدی را نشان داد. نقش اسید سالیسیلیک در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مانند پروتئین‌های محلول در شرایط تنش بیان شده است

اجزای عملکرد

اثر اصلی اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود. با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین میزان (۳۸/۰۶ گرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار (۲۹/۱۶ گرم در شاهد) ۳۰/۵ درصد افزایش داشت. همچنین تلقیح مایکوریزا، وزن ۱۰۰ دانه را تا ۳۶/۰۵ گرم افزایش داد (جدول ۴). یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات متعدد تأییدکننده اثر مثبت اسیدسالیسیلیک بر وزن دانه نخود زراعی همسو است (Gupta et al., 2020; Momeni et al., 2020). اسیدسالیسیلیک به‌دلیل دسترسی به‌موقع عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فتوسنتز را بهبود بخشیده (Yeganehpour et al., 2016) و تسهیم مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را افزایش می‌دهد. گزارش‌های متعددی تأثیر معنی‌دار اسیدسالیسیلیک بر وزن ۱۰۰ دانه نخود در شرایط دیم را تأیید کرده‌اند (Gupta et al., 2020; Patel & Hemantaran, 2012). مایکوریزا نیز از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای در ریزوسفر، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب آب و عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن را بیشتر می‌کند (Oliveira et al., 2017; Ferrol et al., 2019). افزایش جذب آب و مواد مغذی، تولید و تسهیم ماده خشک بهینه‌تری به همراه داشته و با اختصاص سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی، وزن دانه را افزایش می‌دهد (Oliveira et al., 2017). افزون بر این، مایکوریزا با بهبود روابط آبی گیاه و افزایش رطوبت نسبی برگ در شرایط دیم، از طریق کاهش تنش خشکی در مرحله پُر شدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک می‌کند (Laranjeira et al., 2021).

عملکرد دانه نیز تحت تأثیر اثر اصلی مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک قرار گرفت. عملکرد دانه با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقدار (۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) پس از مصرف ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک با افزایش ۵۶ درصدی نسبت به شاهد، و کمترین مقدار (۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون اسیدسالیسیلیک به‌دست آمد. همچنین کاربرد مایکوریزا، عملکرد دانه را تا ۱۸۶۴ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (جدول ۴). بر این اساس، در تیمارهای برتر آزمایش حاضر، با توجه به بارش حدود ۳۰۰ میلی‌متر باران طی پنج ماه اجرای آزمایش که با پراکنش مناسبی نیز همراه بود (جدول ۱)، عملکرد نخود زراعی در منطقه در سطح اقتصادی قابل قبولی به‌دست آمد. اسیدسالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، از تخریب کلروفیل و ساختار روزه‌ها در

شرایط تنش خشکی جلوگیری کرده و طول دوره مؤثر پُر شدن دانه را افزایش می‌دهد (Gupta et al., 2020). کاربرد برگی اسیدسالیسیلیک سبب بهبود انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های هوایی به دانه می‌شود که عامل کلیدی در افزایش وزن و عملکرد دانه در شرایط دیم است (Patel & Hemantaran, 2012). مصرف اسیدسالیسیلیک به‌تنهایی عملکرد نخود رقم گوکسو را در شرایط دیم افزایش داده است (Shiroui et al., 2023). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که خشکی آخر فصل با کاهش زنده‌مانی گرده‌ها، اختلال در عملکرد کلاله، کاهش تعداد گل‌ها، ریزش غلاف‌ها و کاهش اندازه بذرها، عملکرد دانه نخود را کاهش می‌دهد (Pang et al., 2017; Dreccer et al., 2018). مایکوریزا در شرایط دیم با بهبود روابط آبی و افزایش رطوبت نسبی برگ، از کاهش شدید فتوسنتز در مرحله پُر شدن دانه جلوگیری کرده و عملکرد را افزایش می‌دهد (Momeni et al., 2020). همچنین کاربرد قارچ میکوریزا با بهبود جذب نیتروژن، رشد، کلروفیل برگ و فتوسنتز را افزایش داده و در نتیجه عملکرد را بالا می‌برد (Oliveira et al., 2017).

عملکرد زیستی تنها تحت تأثیر اثر اصلی مایکوریزا قرار گرفت. بیشترین مقدار (۵۰۳۴ کیلوگرم در هکتار) با تلقیح مایکوریزایی بذور حاصل شد، درحالی‌که عدم تلقیح، آن را به ۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد (جدول ۴). گزارش شده است که اثر اسیدسالیسیلیک در افزایش نسبی عملکرد زیستی و دانه نخود در خشکی آخر فصل ممکن است با القای نقش محافظتی غشاء مرتبط باشد (Vaisnad & Talebi, 2015). تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح و دوام برگ‌ها و اختلال در جذب و انتقال عناصر و فتوسنتز (Dreccer et al., 2018) باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود، هرچند در تحقیق حاضر این کاهش معنی‌دار نبود. فرجام و همکاران (Farjam et al., 2014) نیز گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نداشت که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. کاربرد مایکوریزا، عملکرد زیستی لوبیا قرمز را نسبت به شاهد افزایش داده است (Tanhaei et al., 2018). این قارچ‌ها با تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین، تعداد برگ، قطر، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد گلرنگ را افزایش می‌دهند (Omidi et al., 2009). همچنین پس از تلقیح میکوریزا، وزن تر و خشک ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نسبت به شاهد افزایش یافت (Zolfaghari et al., 2013).

جدول ۶- برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر برخی اجزای عملکرد، دمای سایه‌انداز، نیتروژن، فسفر و پروتئین بوته نخود

Table 6- Interaction of salicylic acid, mycorrhiza and cultivar on yield components, canopy temperature, N, P and Protein of chickpea

مایکوریزا Mycorrhiza	عدم تلقیح No inoculation				تلقیح Inoculation			
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (mM)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
تعداد غلاف در بوته No. of pods.plant ⁻¹	18.38 ^{f*}	20.47 ^{de}	22.54 ^{bc}	22.75 ^{bc}	19.22 ^{ef}	21.58 ^{cd}	23.33 ^b	26.30 ^a
تعداد دانه در غلاف No. of seeds.pod ⁻¹	1.24 ^d	1.42 ^{cd}	1.57 ^c	1.81 ^b	1.37 ^{cd}	1.48 ^{cd}	2.00 ^{ab}	2.15 ^a
دمای سایه‌انداز Canopy temperature	31.53 ^a	27.78 ^b	25.63 ^c	24.75 ^{cd}	28.26 ^b	27.34 ^b	24.20 ^b	23.45 ^b
نیتروژن بوته Plant N	19.82 ^f	27.86 ^d	29.97 ^{bc}	31.74 ^b	23.98 ^e	28.79 ^{cd}	32.70 ^b	40.38 ^a
فسفر بوته Plant P	1.98 ^g	3.04 ^e	3.44 ^c	3.83 ^b	2.64 ^f	3.29 ^d	4.11 ^a	4.16 ^a
پروتئین دانه Seed protein	21.97 ^e	23.27 ^{de}	25.76 ^{bc}	26.50 ^b	22.72 ^e	24.34 ^c	27.08 ^b	30.05 ^a

* در هر ردیف، میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each row, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک و مایکوریزا به‌طور جداگانه و به‌ویژه در تیمار ترکیبی بر ویژگی‌های رشدی، عملکردی و جذب عناصر در نخود دیم و در شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک استان لرستان اثر داشته و آن‌ها را بهبود بخشیده است. بیشترین عملکرد دانه (۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، و بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۰ درصد)، نیتروژن گیاه (۴۰/۳۸ درصد) و فسفر گیاه (۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با کاربرد توأم ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزا به دست آمد که حاکی از اثر هم‌افزایی این دو عامل است. جذب بیشتر عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و فسفر توسط هیف‌های مایکوریزا و به‌دنبال آن افزایش کلروفیل برگ‌ها باعث شد تا فتوسنتز افزایش یافته که نتیجه آن زیاد شدن تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف بود. این امر به‌همراه خنک‌تر بودن تاج‌پوشش گیاه باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد

دانه و زیستی شد. از طرف دیگر، افزایش نیتروژن دانه، بر مقدار پروتئین آن اثر گذاشت و ازدیاد آن را سبب شد. همچنین استفاده از بذر اصلاح‌شده گوکسو قادر است تا ۹/۱ درصد محصول را افزایش دهد. علی‌رغم معنی‌دار نبودن اختلاف بین دو رقم مورد بررسی، رقم گوکسو با قابلیت برداشت مکانیزه می‌تواند مورد توجه بیشتری قرار گیرد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک همراه با کاربرد مایکوریزا به‌عنوان یک راهکار کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش بهره‌وری نخود دیم در مناطق مشابه در صورت تکرار نتایج در مطالعات آینده قابل توصیه خواهد بود.

سپاسگزاری

از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و همچنین معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که از تحقیق حاضر حمایت کردند، سپاسگزاری می‌شود.

References

- Abbasi, L., Khourgami, A., & Rafiee, M. (2024). Morphophysiological response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salicylic acid priming and chelate nanofertilizer application in dryland conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 34(3), 165-180. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2023.55487.3002>
- Afshari, M., Shekari, F., Azimkhani, R., Habibi, H., & Fotokian, M. H. (2013). Effects of foliar application of salicylic acid on growth and physiological attributes of cowpea under water stress conditions. *Iran Agricultural Research*, 32(1), 55-70. <https://doi.org/10.22099/iar.2013.1817>
- Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosynthesis and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. *Journal of Water and Soil Science*, 15(56), 91-102. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.7.7>

- Agricultural Statistics. (2023). Volume One: Crop Products. 120 p. (In Persian).
- Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 28, 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005>
- Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R. N., & Foolad, M. R. (2010). The Physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(3), 162-190. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580>
- Bagheri, A. , Siadat, A. , Koochekzadeh, A. , Moradi Telavat, M. R. and Rafiee, M. (2019). Physiological responses of chickpea cultivars to supplemental irrigation and super-absorbent polymer using under rainfed farming system. *Journal of Crops Improvement*, 21(3), 259-273. <https://doi.org/10.22059/jci.2019.277271.2178>.
- Baghizadeh, A., Hajmohammadrezaei, M., & Tohidi, Z. (2020). Evaluation of interaction effect of drought stress with ascorbate and salicylic acid on the activity of some antioxidant enzymes and flavonoids in *Hibiscus esculentus* L. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(1), 142-152. (In Persian with English Abstract).
- Baljani, R., & Shekari, F. (2012). Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plants under end season drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(1), 87-108. (In Persian).
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465. <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen- Total. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 1085-1121.
- Dreccer, M., Fainges, J., Whish, J., Francis, C. O., & Sadras, V. O. (2018). Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 275-294. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.006>
- Farjam, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, H., & Ghaleshakhati, S. (2014). Effect of cut irrigation tension and foliar application of salicylic acid on growth, yield and yield components of three safflower cultivars. *Crop Physiology Journal*, 6(23), 99-112. (In Persian).
- Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., & Pérez-Tienda, J. (2019). Review: Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. *Plant Science*, 280, 441-447. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.11.011>
- Gupta, K. C., Praharaj, C. S., Jain, S. K., Kumar, V., & Yadav, M. R. (2020). Crop, water productivity and economics in chickpea as influenced by application of hydrogel and foliar nutrition. *Journal of Food Legumes*, 33(2), 101-108.
- Hafez, E., Omara, A., & Ahmed, A. (2019). The coupling effects of plant growth promoting rhizobacteria and salicylic acid on physiological modifications, yield traits, and productivity of wheat under water deficient conditions. *Agronomy*, 9(9), 524. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090524>
- Hasanvand, H. , Siadat, S. , Bakhshandeh, A. , Moradi Telavat, M. R. and Poshtdar, A. (2020). Effects of salicylic acid on yield and nutrient uptake of borage (*Borago officinalis* L.) under interrupting irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(2), 519-531. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2035.1504>.
- Hashem, A., Alqarawi, A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A., AbdulazizAldehaish, H., Egamberdieva, D., & Fathi Abd Allah, E. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones, and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1102–1114. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.009>
- Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Afzal, A., Batool, M., Ahmed, H. A. I., Guoqin, H., & Shahzad, B. (2022). Salicylic acid-mediated physiological and molecular mechanisms in plants under heat stress. In: A. Sharma, R. Bhardwaj, V. Kumar, B. Zheng and D.K. Tripathi (Eds.), *Managing Plant Stress Using Salicylic Acid* (Chapter 9). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119671107.ch9>
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 551-574.

- Jahangiri Nia, E. , Siyadat, S. A. , Koochakzadeh, A. , Moradi Telavat, M. and Sayyah far, M. (2016). Effect of the usage of vermicompost and mycorrhizal fertilizer on quantity and quality yield of soybean in water deficit stress condition. *Journal of Crops Improvement*, 18(2), 319-331. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.59877>.
- Kabir-Fazlul, A. H. M., Bari, M. N., Abdul-Karim, M. D., Khaliq, Q. A., & Uddin-Ahmad, J. (2009). Effect of sowing time and cultivars on the growth and yield of chickpea under rainfed condition. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(2), 335-342.
- Khaled, H., & Fawy, H. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil Water Research*, 6(1), 21-29. <https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR>.
- Koochekzadeh, A. , Siahpoosh, A. , Moradi Telavat, M. R. and shafiee, M. (2023). Effect of Mycorrhizal inoculation and Salicylic Acid on Growth Characteristics, Yield and Quality of Marigold under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 25(4), 1141-1156. <https://doi.org/10.22059/jci.2023.344308.2719>.
- Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., & Popova, L. (2008). Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, 165(9), 920-931. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.11.014>
- Kuo, S., (1996). Phosphorus. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 869-919.
- Laranjeira, S., Fernandes-Silva, A. A., Reis, S., Torcato, C., Raimundo, F., Ferreira, L., Carnide, V., & Marques, G. (2021). Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions. *Applied Soil Ecology*, 164, <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103927>
- Liu, H., Gao, Z., Zhang, L., & Liu, Y. (2021). Stomatal conductivity, canopy temperature and evapotranspiration of maize (*Zea mays* L.) to water stress in Northeast China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(2), 112-119. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211402.5289>
- Momeni, F., Abdali Mashhadi, A. R., Siadat, S. A., Pakdaman Sardrood, B., & Ghobadi, M. (2020). The effect of application of biofertilizer and salicylic acid on biochemical characteristics and grain elements of chickpea cultivars under rainfed conditions in Kermanshah. *Scientific Journal of Crop Physiology*. 12(47), 5-25. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1399.12.47.3.7>
- Momeni, F., Siadat, S. A., Abdali Mashhadi, A. R., Pakdaman, B., & Ghobadi, M. (2021). Effect of biofertilizers and salicylic acid foliar application on yield and yield components of chickpea cultivars under rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 9(2), 195-216. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/idaj.2021.342974.307>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1980). Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Association of Official Analytical Chemists, Oxford University Press*, 63(4), 770-778. <https://doi.org/10.1093/jaoac/63.4.770>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 961-1010.
- Oliveira, R. S., Carvalho, P., Marques, G., Ferreira, L., Nunes, M., Rocha, I., Ma, Y., Carvalho, M. F., Vosátka, M., & Freitas, H. (2017). Increased protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria under water deficit conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(13), 4379-4385. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8201>
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In: A. L. Page (Ed.). *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 403-430.
- Omidi, H., Naghdibadi, H. A., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M. H. (2009). The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 8(30), 98-109. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2009.8.30.11.4>
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., & Emam, Y. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes and ion accumulation as affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39(10), 1372-1379. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143498>

- Pang, J., Turner, N. C., Khan, T., Du, Y. L., Xiong, J. L., Colmer, T. D., Devilla, R., Stefanova, K., & Siddique, K. H. M. (2017). Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: Leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany*, 68(8), 1973-1985. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw153>
- Patel, P. K., & Hemantaran, A. (2012). Salicylic acid induced alteration in dry matter partitioning, antioxidant defence system and yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Asian Journal of Crop Science*, 4(3), 86-102. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.86.102>
- Piotrowski, J. S., Denich, T., Klironomos, J. N., Graham, J. M., & Rillig, M. C. (2004). The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist*, 164(365-373), 365-373. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01181.x>
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 417-435.
- Sahraei, E., Maleki, A., Pazoki, A., & Fathi, A. (2018). The effect of salicylic and ascorbic acid on ecophysiological characteristics and German chamomile essences in deficit of water. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 6(11), 117-142.
- Salek Mearaji, H., & Hatami, A. (2020). The effect of foliar application of glycine-betaine and salicylic acid on yield and yield components of two dryland chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Scientific Journal of Crop Ecophysiology*, 14(1), 1-20. (In Persian).
- Shahghasi, M., Seghatoleslami, M., Moosavi, S. G., & Nakhaei, F. (2023). To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 487-502. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.326353.1184>
- Shiroui, H., Hatami, A., Zeidali, E., & Alizadeh, Y. (2023). Effect of foliar application of salicylic acid and biofertilizers on yield and yield components of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in dryland conditions. *Journal of Plant Production and Genetics*, 4(1), 71-86. (In Persian). <https://doi.org/10.34785/J020.2022.017>
- Taheri Asghari, M. (2022). Effect of Mycorrhizal fungi symbiosis and foliar application of amino acids on some growth traits and pot marigold oil (*Calendula officinalis* L.). *Field Crops Research*, 20(1), 93-103. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.72735.1092>
- Tahir, N. A., & Karim, H. F. (2011). Determination of genetic relationship among some varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in sulaimani by RAPD and ISSR markers. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 4(2), 77-86.
- Tanhaei, R., Yadavi, A. R., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2018). Effects of mycorrhizal fungi and biofertilizer on yield and yield components of red bean (*phaseolus vulgaris* l.) in drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(3), 277-291. (In Persian).
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 475-490.
- Vaisnad, S., & Talebi, R. (2015). Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under water deficit stress. *Environmental and Experimental Biology*, 13, 109-115.
- Valentine, A. J., Mortimer, P. E., Lintnaar, A. & Borgo, R. (2006). Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. *Symbiosis*, 41, 127-133.
- Verrelst, J., Muñoz, J., Alonso, L., Delegido, J., Rivera, J. P., Camps-Valls, G., & Moreno, J. (2012). Machine learning regression algorithms for biophysical parameter retrieval: Opportunities for Sentinel-1 and -2. *Remote Sensing of Environment*, 118, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.002>
- Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Ismail, I. A., Reza, A., Rehman, A., Hossain, A., & El-Sabagh, A. (2021). Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield performance under drought stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 7345-7354. <https://doi.org/10.3390/su13094799>
- Yeganehpour, F., Zehtab Salmasi, S., Shafaq Kalvanagh, J., & Ghasemi Golazani, K. (2016). Effect of drought stress, chemical and biological fertilizer, and salicylic acid hormone on grain yield and yield components

in (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Crop Production*, 9(4), 37-55. (In Persian).
<https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8717.1672>

Yuce, I., & Karakoy, T. (2024). Determination of agro-morphological characteristics of turkey origin wild chickpea (*Cicer reticulatum* L.) genotypes. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(2), 502–518.

Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2), 643–650. (In Persian).



<https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98849.1136>

Investigating the Effect of Humic Acid and Farmyard Manure on the Growth and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Landraces under the Climatic Conditions of Samangan-Afghanistan

Jamshid Shahab¹, Hamid Sodaiezadeh^{2*}, Waliullah Zaree¹, Mohammad Anwar Sakhi Zadeh³

Received: 20 May 2026

Revised: 23 July 2026

Accepted: 25 July 2026

Available Online: 25 July 2026

Cite this article:

Shahab, J., Sodaiezadeh, H., Zaree, W., & Sakhi Zadeh M. A. (2026). Investigating the effect of humic acid and farmyard manure on the growth and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) landraces under the climatic conditions of Samangan-Afghanistan. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 135-150. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98849.1136>

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* L.) belongs to the Fabaceae family and originates in Southeast Asia. It is widely cultivated worldwide, particularly in Asia, for human consumption, with annual production exceeding 4.5 million tons. Due to its high protein content, carbohydrates, dietary fiber, and essential vitamins, mung bean plays a significant role in food security. In addition, it contributes to soil fertility through atmospheric nitrogen fixation by rhizobium bacteria. In Afghanistan, mung bean is particularly important because of its high nutritional value and low water requirement. However, its production faces several challenges, including a lack of improved seeds, limited access to modern equipment, and poor nutrient management. In this context, the use of organic fertilizers has been proposed as a sustainable approach to improve growth and yield. These fertilizers enhance soil physical, chemical, and biological properties while supplying essential nutrients. Humic acid, as an effective organic compound, improves soil structure, increases nutrient uptake, and promotes plant growth. Its combined application with organic fertilizers can enhance photosynthesis, biomass, and grain yield. Due to the lack of sufficient studies under the climatic conditions of Afghanistan, this study was conducted to evaluate the effects of humic acid and farmyard manure on the growth and yield of mung bean in Samangan province.

Materials and Methods

The study was conducted during the 2025 season at the research farm of the Faculty of Agriculture, Samangan University, located in the Old City of Samangan Province, Afghanistan, at an altitude of 962 m above sea level. The experiment was arranged as a factorial in a randomized complete block design with three replications. The experimental factors consisted of fertilizer at three levels (control: 0, humic acid: 50 kg.ha⁻¹, and farmyard manure: 40 t.ha⁻¹) and genotype at two levels (Afghanistan landrace and Uzbekistan landrace). Before sowing, farmyard manure was uniformly incorporated into the soil one month before planting. Each experimental plot measured 2 × 2 m (4 m²), and the seeds were uniformly sown by hand broadcasting. Humic acid was applied once in solid form at the 2–3 leaf stage. Irrigation was carried out using the flood irrigation method according to crop water requirements at approximately 7-day intervals. Weeds were manually controlled at two stages, 20 and 40 days after sowing. Measured traits included phenological, growth, and yield-related characteristics, including plant height, number of pods per plant, 1000-seed weight, grain yield, biological yield, harvest index, and relative water content. The data were tested for normality prior to statistical analysis using IBM SPSS Statistics version 25. Treatment means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level ($P \leq 0.05$). Graphs were generated using Microsoft Excel.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that there were significant differences among mung bean landraces and fertilizer treatments for most traits. The shortest period to the three-leaf stage was observed in the control treatment, which may be attributed to the use of seed storage during early seedling growth. Among the treatments, humic acid had the

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Samangan University, Samangan, Afghanistan

2- Department of Arid Land Management and Desert Control, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

3- Faculty of Agriculture, Samangan University, Samangan, Afghanistan

* Corresponding Author: hsodaie@yazd.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

greatest effect on the growth and yield of mung bean. In the Uzbekistan landrace, this treatment increased leaf length and width by 51.7% and 79%, respectively, number of branches by 63.7%, number of pods by 51.9%, number of seeds per pod by 65.33%, 1000-seed weight by 11%, seed yield by 69.3%, biological yield by 66%, dry matter yield by 65.4%, and relative water content of leaf by 3.3%, compared to the control. Furthermore, in the Afghanistan landrace, humic acid increased plant height and number of leaves by 16.8% and 46.4%, respectively, compared to the control treatment. In addition, the application of humic acid in the Uzbekistan landrace reduced the days to flowering and days to maturity by 23.6% and 7.5%, respectively, compared to the control.

Conclusions

The results showed that the application of farmyard manure and humic acid could significantly increase the growth parameters and yield of mung bean. Among the treatments studied, humic acid performed better than farmyard manure in most of the studied traits; in the Afghanistan landrace, the highest plant height and number of leaves were observed under this treatment, while in the Uzbekistan landrace, the greatest leaf length and leaf width, highest number of branches, and highest number of pods and seeds per pod were recorded with humic acid application. Furthermore, humic acid significantly reduced the days to flowering and days to maturity. The Uzbekistan landrace showed a better response than the Afghanistan landrace in most of the traits studied, with the highest 1000-seed weight, seed yield, biomass, harvest index, stem dry weight, and relative leaf water content being observed in this landrace under humic acid treatment. Overall, the results of this study showed that the application of humic acid at a rate of 50 kg.ha⁻¹ improved the growth and yield of mung bean landraces under the climatic conditions of Afghanistan, and it can be used as an effective strategy to improve the production of this crop in the region.

Acknowledgements

We would like to thank our esteemed colleagues at Samangan University.

Keywords: Biological yield, Crop yield, Harvest index, Pods number, 1000-seed weight



بررسی تأثیر اسید هیومیک و کود دامی بر رشد و عملکرد توده‌های ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط اقلیمی سمنگان - افغانستان

جمشید شهاب^{۱*}، حمید سودایی زاده^{۲*}، ولی الله زارع^{۱*}، محمد انور سخی زاده^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۳

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر انواع کود بر رشد و عملکرد دو توده ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط مزرعه انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده زراعت دانشگاه سمنگان واقع در شهر قدیم استان سمنگان - افغانستان اجرا گردید. عامل کود در سه سطح (شامل شاهد: ۰، اسید هیومیک: پنج گرم در مترمربع و کود گاوی: ۴۰ تن در هکتار) و عامل توده در دو سطح (شامل توده بومی افغانستان و توده ازبکستان) اعمال شدند. هر کرت دارای ابعاد ۲×۲ متر (چهار مترمربع) بود. عملیات کاشت بذرها در تاریخ چهارم فروردین ماه ۱۴۰۴، به صورت دستی انجام پذیرفت. اسید هیومیک به صورت جامد و در مرحله دو تا سه برگی اعمال گردید. آبیاری به روش غرقابی و براساس نیاز گیاه، هر هفت روز یکبار انجام شد. صفات مورد مطالعه شامل روز تا سه برگی، روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی محصول، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف، طول غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، عملکرد ماده خشک خشک و آماس نسبی برگ بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین ارقام ماش و تیمارهای کودی برای اکثر صفات اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در بین تیمارهای مورد بررسی، اسید هیومیک بیشترین تأثیر را بر رشد و عملکرد ماش داشت، به طوری که در توده ازبکستان، این تیمار نسبت به شاهد، طول و عرض برگ را به ترتیب ۵۱/۷ و ۷۹ درصد، تعداد شاخه را ۶۳/۷ درصد، تعداد غلاف را ۵۱/۹ درصد، تعداد دانه در غلاف را ۶۵/۳۳ درصد، وزن هزار دانه را ۱۱ درصد، عملکرد دانه را ۶۹/۳ درصد، عملکرد زیستی را ۶۶ درصد، عملکرد ماده خشک گیاه را ۶۵/۴ درصد و آماس نسبی برگ را ۳/۳ درصد افزایش داد. همچنین اسید هیومیک در توده افغانستان نیز ارتفاع بوته و تعداد برگ را به ترتیب ۱۶/۸، ۴۶/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. علاوه بر این کاربرد اسید هیومیک در توده ازبکستان، فاصله روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی را به ترتیب ۲۳/۶ و ۷/۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. به طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد اسید هیومیک موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد ارقام ماش در شرایط اقلیمی افغانستان گردید.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف، شاخص برداشت، عملکرد زیستی، عملکرد محصول، وزن هزار دانه

مقدمه

ماش (*Vigna radiata* L.) (Feng et al., 2024). جدا از نقش آن در رژیم غذایی انسان، با تثبیت نیتروژن اتمسفر به کمک گونه‌های ریزوبیوم موجود در گره‌های ریشه، نقش مهمی در حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (Altai et al., 2020). سازگاری آن با شرایط مختلف کشاورزی - اقلیمی نیز به توزیع گسترده آن کمک می‌کند. ماش یکی از حبوبات مهم و باارزش در افغانستان به‌ویژه در ولایت سمنگان است که به دلیل ارزش غذایی بالا و استفاده گسترده در غذاهای محلی، نیاز آبی کم و توانایی تثبیت نیتروژن، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی و حفظ حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند. با وجود این پتانسیل‌ها، عملکرد ماش در مزارع افغانستان به طور قابل توجهی پایین‌تر از ظرفیت ژنتیکی آن است. عوامل متعددی از جمله کمبود مواد آلی خاک، کاهش حاصلخیزی، عدم استفاده از کودهای

ماش (*Vigna radiata* L.) متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) بوده که از آسیای جنوب شرقی سرچشمه گرفته و به طور گسترده برای مصرف خوراکی کشت می‌شود (Batubara, 2022). این گیاه در بیش از شش میلیون هکتار زمین در سطح جهان کشت شده و توسط اکثر خانواده‌های آسیایی مصرف می‌گردد. تولید جهانی ماش بیش از ۴/۵ میلیون تن در سال است (Patankar et al., 2024). ماش حاوی ۴۸ درصد پروتئین و ۲۱ درصد کربوهیدرات می‌باشد. این محصول به دلیل داشتن پروتئین بالا، فیبر غذایی و ویتامین‌های ضروری، در تغذیه انسان بسیار مهم است و آن را به منبع غذایی مهمی در مناطقی که پروتئین‌های گیاهی جزء اصلی رژیم غذایی هستند، تبدیل می‌کند

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سمنگان، سمنگان، افغانستان

۲- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- دانشکده کشاورزی، دانشگاه سمنگان، سمنگان، افغانستان

(*- نویسنده مسئول: hsodaie@yazd.ac.ir)

مناسب، نبود بذرهای اصلاح‌شده و مدیریت نامناسب تغذیه گیاه از موانع اصلی تولید پایدار ماش در این منطقه به شمار می‌روند (Jabar, 2021). از سوی دیگر، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نه تنها هزینه‌بر است، بلکه به مرور زمان موجب تخریب ساختار خاک، کاهش فعالیت میکروبی و آلودگی محیط زیست می‌شود. در این راستا، کودهای آلی مانند کود دامی پوسیده و اسید هیومیک به عنوان راهکارهای پایدار و سازگار با محیط زیست، می‌توانند ضمن تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را نیز به همراه داشته باشند. بنابراین برای به حداکثر رساندن عملکرد و کیفیت بالقوه محصول ماش، شیوه‌های کشاورزی پایدار به‌ویژه استفاده از کودهای آلی می‌تواند نقش مهمی ایفا می‌کند (Mohammadzadeh et al., 2022).

کودهای آلی، غنی از مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بوده و در عین حال حاصلخیزی خاک و فعالیت میکروبی را بهبود می‌بخشند (Singh et al., 2020; Sodaeizadeh et al., 2025). استفاده از کودهای آلی، چه به تنهایی و چه در ترکیب با سایر کودها، به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین بهبود عملکرد و کیفیت بذر کمک می‌کند (Khasawneh & Othman, 2020; Sodaeizadeh et al., 2024). کودهای ارگانیک باعث بهبود عملکرد بذر شده و به دلیل اثرات مثبت آن بر خواص فیزیکی و بیولوژیکی خاک و سطح تغذیه گیاه، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک دارد (Priyadharshini et al., 2021). در این راستا، مصرف کود دامی در خاک به عنوان یک ماده آلی زاید صنعت دامپروری برای دستیابی به غلظت مناسب عناصر غذایی در گیاهان، افزایش تولید محصولات کشاورزی و بهداشت محیط زیست اهمیت دارد. مطالعات متعددی در زمینه نقش کودهای دامی بر افزایش عملکرد محصولات کشاورزی انجام شده است. پژوهش انجام‌شده روی نقش کود دامی بر افزایش عملکرد مخلوط یولاف (*Avena sativa*) و شبدر برسیه (*Trifolium alexandrinum*) نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود گاوی از ۱۲ به ۳۶ تن در هکتار، بیشترین مقدار عملکرد علوفه تر و خشک به دست آمد (Ahmadi et al., 2017). گزارش شده است که گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis*) در تیمار حاوی کود مرغی دارای بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس بود (Ghanbari Odivi, et al., 2021). مطالعه انجام‌شده روی نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) نشان داد که کاربرد کود کبوتر، بیشترین تأثیر را بر افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه داشت و این کود از کارایی بیشتری نسبت به کود مرغی برخوردار بود (Salehi et al., 2022).

اسید هیومیک، یک ترکیب آلی طبیعی است که از تجزیه مواد آلی به دست می‌آید. این ماده ساختار خاک را بهبود بخشیده، جذب

مواد مغذی را افزایش داده و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد. این فواید به‌طور مستقیم به رشد بهتر ریشه و ساقه گیاه کمک می‌کند (Patankar et al., 2024). اسید هیومیک یک محرک زیستی باردار آلی است که به‌طور قابل توجهی بر رشد گیاه و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد. نقش اسید هیومیک بر افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی در مطالعات مختلف بررسی شده است. آلتای و همکاران (Altai et al., 2020)، افزایش رشد و عملکرد گیاه ماش را به دلیل کاربرد اسید هیومیک گزارش نمودند. ترکیب اسید هیومیک و کودهای آلی اثرات هم‌افزایی در بهبود عملکرد فیزیولوژیکی گیاه ماش داشته و استفاده از این مواد باعث افزایش محتوای کلروفیل، افزایش فتوسنتز و افزایش زیست‌توده و بهبود عملکرد دانه شد (Thomason et al., 2020). بررسی تأثیر شوری و اسید هیومیک بر رشد و عملکرد ارقام ماش نشان داد که اسید هیومیک اثرات منفی ناشی از تنش شوری را کاهش و باعث افزایش رشد و بهره‌وری گیاه ماش گردید (Patankar et al., 2024). در مطالعه‌ای، تأثیر مواد آلی مختلف بر ویژگی‌های رشد و عملکرد ماش در شرایط مزرعه بررسی و گزارش شد که کاربرد ترکیبی کودهای آلی اثرات مثبتی بر شاخص‌های رشد و عملکرد ماش (ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد شاخه‌چه، سطح برگ، تعداد غلاف، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد کاه، زیست‌توده و شاخص برداشت) داشت (Batubara, 2022). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که اسید هیومیک در غلظت نه گرم در لیتر منجر به بهبود خصوصیات رشد و عملکرد گیاه ماش شد (Al-Zubaidi & Al-Shammari, 2023). با توجه به اینکه کودهای آلی و زیستی، وابستگی به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد (Jiang et al., 2022; Rahmani et al., 2024)، بنابراین، استفاده از اسید هیومیک و سایر کودهای آلی در مزارع تولید ماش نه تنها عملکرد را افزایش می‌دهد، بلکه به سلامت طولانی مدت خاک و تولید پایدار محصول نیز کمک می‌کند (Saha & Baudh, 2020). با توجه به اهمیت استفاده از کودهای آلی در بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی، اطلاعات کافی درباره اثر هم‌زمان اسید هیومیک و کود دامی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ماش در شرایط اقلیمی افغانستان، به‌ویژه ولایت سمنگان، در دسترس نیست. همچنین واکنش ارقام مختلف ماش (بومی افغانستان و ازبکستان) به این نوع کودها در این منطقه مطالعه نشده است. بنابراین، شناسایی بهترین تیمار کودی و توده مناسب برای افزایش عملکرد ماش در این اقلیم، یک ضرورت پژوهشی محسوب می‌شود. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر اسید هیومیک و کود دامی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دو توده ماش در شرایط اقلیم سمنگان، افغانستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۴۰۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده زراعت دانشگاه سمنگان واقع در شهر قدیم استان سمنگان، افغانستان، با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 53' 53''$ N و $68^{\circ} 10' 31''$ E و در ارتفاع ۹۶۲ متر از سطح دریا اجرا شد. محل آزمایش از نظر آب‌وهوایی و با توجه به شاخص اقلیمی دوماترن، در طبقه مناطق نیمه‌خشک و نسبتاً معتدل گرم قرار می‌گیرد (Shahab et al., 2026). با استناد به اطلاعات اداره هواشناسی افغانستان، بارندگی متوسط سالانه منطقه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد (Jacobs et al., 2015). آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل کود در سه سطح (شامل شاهد: ۰، اسید هیومیک: ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود گاوی: ۴۰ تن در هکتار) و عامل توده در دو سطح (شامل توده بومی افغانستان و توده ازبکستان) اعمال شدند. توده بومی افغانستان توده رایج در منطقه سمنگان بوده و دارای عادت رشد ایستاده و طول ساقه اصلی بین ۸۰ تا ۹۵ سانتی‌متر می‌باشد. رنگ ساقه بنفش، گل‌ها به رنگ زرد و دارای غلاف‌های کرک‌دار که در زمان رسیدگی به رنگ قهوه‌ای یا سیاه می‌باشند. توده ماش ازبکستان دارای عادت رشد ایستاده و طول ساقه اصلی بین ۶۵ تا ۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. رنگ ساقه بنفش و رنگ گل زرد بوده دارای غلاف‌های با طول متوسط ۱۲ سانتی‌متر است که هنگام رسیدگی به رنگ سیاه یا قهوه‌ای می‌باشند. پیش از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه به‌صورت زیگزگی و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید و پس از تهیه نمونه مرکب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین

شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در اجرای این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. جهت پیاده کردن نقشه طرح در مزرعه، ابتدا بلوک‌بندی عمود بر جهت شیب مزرعه انجام و هر بلوک به شش واحد آزمایشی تقسیم و تیمارها براساس نقشه طرح به‌صورت تصادفی در واحدهای آزمایشی قرار گرفتند.

کود گاوی مورد استفاده از نوع کاملاً پوسیده، یکنواخت و عاری از بقایای درشت گیاهی و بذر علف‌های هرز بود که از دامداری‌های محلی ولایت سمنگان تهیه شد. مشخصات کود دامی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

کود گاوی به‌میزان ۴۰ تن در هکتار، یک ماه قبل از کاشت به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش و با استفاده از بیل تا عمق تقریبی ۲۵ سانتی‌متری خاک مخلوط گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی چهار مترمربع (2×2 متر) و فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها به‌ترتیب نیم و یک متر در نظر گرفته شد. بذرهاى ماش در چهارم ماه فروردین ۱۴۰۴ کشت گردید. مقدار بذر مورد نیاز هر کرت براساس تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (معادل حدود ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار) محاسبه و برای هر کرت براساس تراکم بوته و وزن هزار دانه به‌طور جداگانه توزین شد. سپس بذرها به‌صورت یکنواخت و دست‌پاش در سطح هر کرت توزیع و با لایه‌ای از خاک در عمق تقریبی سه تا چهار سانتی‌متری پوشانده شدند. برداشت محصول پس از رسیدگی کامل گیاه، در اواخر ماه خرداد سال ۱۴۰۴ انجام گرفت. کود اسید هیومیک مورد استفاده از نوع پودری با نام تجاری Plant's Choice بود که از بازار نهاده‌های کشاورزی تهیه شد. مشخصات اسید هیومیک مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش

Table 1- Soil characteristics of the experimental site

مس	منگنز	آهن	پتاسیم	فسفر	ماده آلی	نیتروژن	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت
Cu	Mn	Fe	K	P	Organic matter	N	EC	pH	Texture
					(درصد)		(دسی زیمنس بر متر)		
					(%)		(dS.m ⁻¹)		
1.3	3.1	2.5	328	8.24	0.8	0.08	0.7	6.3	لومی‌رسی

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Physicochemical properties of the cattle manure applied in the experiment

پتاسیم	فسفر	نیتروژن	اسیدیته	کربن آلی	هدایت الکتریکی
K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	pH	Organic carbon (%)	Ec (dS.m ⁻¹)
3252.4	695.3	2.56	7.2	19.5	2.9

جدول ۳- خصوصیات اسید هیومیک مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of the humic acid used in the experiment

اسید هیومیک Humic acid (%)	پتاسیم محلول Soluble potassium (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسید فولیک Folic acid (%)	نیتروژن N (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mn (%)	آهن محلول Soluble iron (%)
60	12	36	5	1	1	0.15	0.05

بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، وزن تر برگ‌ها به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها در آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم قرار داده شدند تا به وزن اشباع برسند (Heidari et al., 2015; Farsari et al., 2019). پس از این مدت، نمونه‌ها به‌سرعت و با دقت با دستمال کاغذی خشک و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، برگ‌ها در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و سپس وزن خشک (Dry weight) به‌وسیله ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری و ثبت گردیدند. در نهایت، محتوای نسبی آب برگ‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه شد (Ferrat & Lova, 1999).

$$\text{RWC}\% = (\text{FW} - \text{DW} / \text{TW} - \text{DW}) \times 100 \quad (۱)$$

که در آن، FW: وزن تر، DW: وزن خشک و TW: وزن آماس برگ می‌باشد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف بررسی و سپس داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (شرکت IBM، منتشرشده در سال ۲۰۱۱، IBM SPSS Statistics Windows، نسخه ۲۵.۰، Armonk، نیویورک: شرکت IBM) تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ی دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار Excel 2013 ترسیم گردید.

نتایج

مراحل فنولوژیکی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر توده تنها بر صفت روز تا سه برگی در سطح پنج درصد و اثر کود بر صفات روز تا سه برگی و روز تا رسیدگی محصول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل توده و کود بر همه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

اسید هیومیک به‌میزان پنج گرم در مترمربع و به‌صورت یک‌بارمصرف پس از استقرار گیاهچه‌ها (مرحله دو تا سه برگی) در سطح خاک اطراف بوته‌ها اعمال و سپس مزرعه آبیاری گردید تا کود به ناحیه توسعه ریشه منتقل شود. مهار علف‌های هرز در دو نوبت و در محدوده زمانی ۲۰ و ۴۰ روز پس از کاشت و به‌صورت دستی انجام شد. آبیاری کرت‌های آزمایشی به‌روش غرقابی و براساس نیاز آبی گیاه انجام شد؛ به‌طوری که فواصل آبیاری با توجه به شرایط آب‌وهوایی و رطوبت خاک، به‌طور متوسط هر هفت روز یک‌بار تنظیم گردید. صفات زراعی مورد بررسی در این تحقیق شامل تعداد روز تا سه برگی، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی محصول، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول و عرض برگ، تعداد شاخه‌های جانبی در بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد بذر در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در مترمربع، عملکرد زیستی در مترمربع، شاخص برداشت، عملکرد ماده خشک گیاه در هکتار و آماس نسبی برگ بودند. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در هنگام برداشت از هر واحد آزمایشی پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد، سپس ارتفاع بوته از سطح زمین تا انتهای بوته برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شده و میانگین آن ثبت گردید. پس از برداشت یک مترمربع از قسمت مرکزی هر کرت، اندام هوایی گیاهان تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و وزن خشک کل به‌عنوان عملکرد ماده خشک ثبت و برحسب کیلوگرم در هکتار بیان گردید. برای تعیین وزن هزار دانه، چهار نمونه ۱۰۰۰ عددی از هر تیمار با رطوبت ۱۴ درصد توزین و میانگین آن‌ها به‌عنوان وزن هزار دانه ثبت شد. برای تعیین عملکرد دانه، یک مترمربع از قسمت مرکزی هر کرت پس از حذف اثر حاشیه برداشت شد. پس از قهوه‌ای شدن غلاف‌ها، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌ترتیب با اندازه‌گیری وزن دانه و وزن خشک کل اندام هوایی محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز برحسب درصد و به‌صورت نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد زیستی محاسبه شد. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (آماس نسبی برگ) به‌طور تصادفی در ساعت ۱۰ صبح از آخرین برگ کاملاً توسعه‌یافته سالم و میانی گیاهان انجام گردید.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر کود و توده بر صفات فنولوژیکی گیاه ماش

Table 4- Analysis of variance of the effect of fertilizer and landrace on phenological traits of mung bean plant

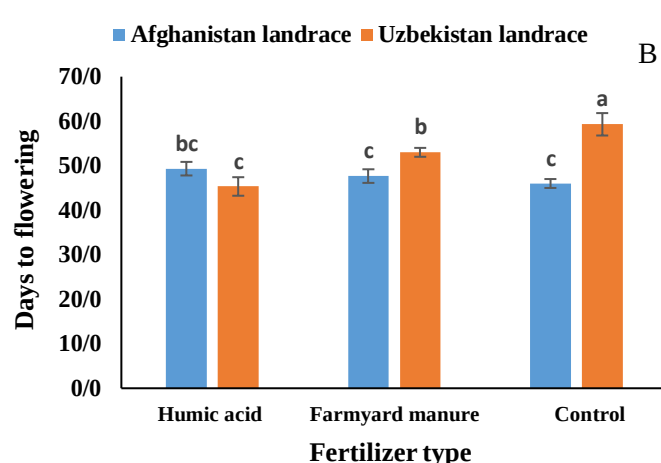
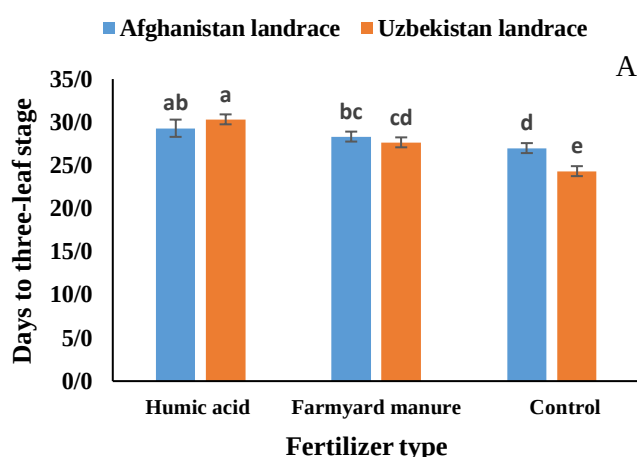
منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات Mean of squares		
		روز تا سه برگی Days to three-leaf stage	روز تا گل‌دهی Days to flowering stage	روز تا رسیدگی محصول Days to maturity
بلوک Block	2	0.667	2.056	2.889
توده Landrace (L)	1	2.72*	0.06 ^{ns}	0.89 ^{ns}
کود Fertilizer (F)	2	26.17**	8.72 ^{ns}	29.39**
توده × کود L × F	2	5.06**	220.39**	35.39**
خطا Error	10	0.44	2.89	2
ضریب تبیین R ²		0.92	0.93	0.86

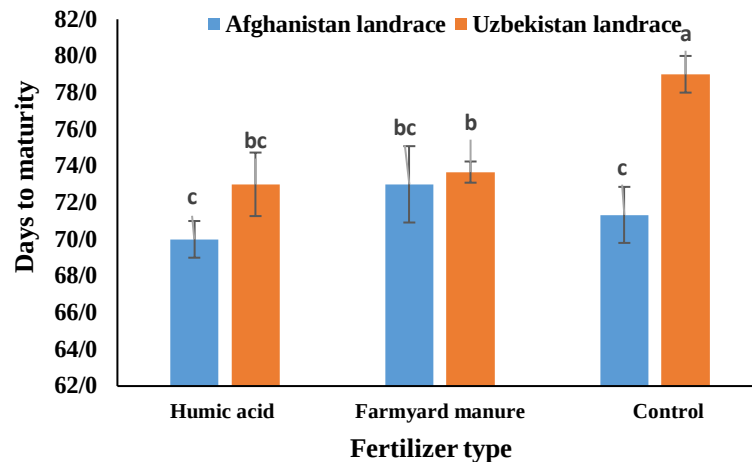
ns, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: indicate non-significant, significant at $P \leq 0.05$, and significant at $P \leq 0.01$, respectively

روز) در ماش توده ازبکستان تحت تیمار اسید هیومیک و بیشترین فاصله روز تا سه برگی (۲۴/۳ روز) در ماش توده ازبکستان تحت تیمار شاهد (بدون کود) در همین توده دیده شد (شکل ۱ B). در مورد فاصله روز تا رسیدگی محصول، کمترین مقدار (۷۰ روز) در توده ماش افغانستان تحت تیمار اسید هیومیک مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین مقدار (۷۹ روز) در توده ازبکستان تحت تیمار شاهد (بدون کود) به دست آمد (شکل ۱ C).

نتایج بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کمترین فاصله روز تا سه برگی (۲۴/۳ روز) در ماش توده ازبکستان تحت تیمار شاهد (بدون کود) به دست آمد، درحالی‌که بیشترین مقدار این صفت در همین توده تحت تیمار اسید هیومیک (۳۰/۳ روز) به دست آمد. تفاوت بین توده‌ها تنها در شاهد مشاهده شد که در آن توده افغانستان، طول روز تا سه‌برگی کمتری نسبت به توده ازبکستان داشت (شکل ۱ A). همچنین نتایج نشان داد که کمترین فاصله روز تا گل‌دهی (۴۵





شکل ۱- تأثیر متقابل توده و کود دامی بر روز تا سه برگی (A)، روز تا گل‌دهی (B) و روز تا رسیدگی ماش (C)

Figure 1- Interaction effect of landrace and fertilizer on days to three leaves (A), days to flowering (B) and days to mung bean maturity (C)

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with at least one letter in common are not significantly different at the 0.05 level of Duncan's test.

صفات رشدی و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده توده و کود بر کلیه صفات رشدی و اجزای عملکرد مورد مطالعه به‌استثنای صفت تعداد دانه در غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل توده و کود بر صفات تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف در سطح احتمال یک درصد و بر صفات طول ساقه، طول و عرض برگ و تعداد دانه در غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۹۲/۶ سانتی‌متر) در توده ماش افغانستان تحت تیمار اسید هیومیک و کمترین ارتفاع بوته (۶۶/۶ سانتی‌متر) تحت تیمار شاهد (بدون کود) در توده ماش ازبکستان مشاهده شد (شکل ۲ A). بیشترین تعداد برگ (۲۷/۳ برگ) تحت تیمار اسید هیومیک در توده ماش افغانستان و کمترین تعداد برگ (۱۴/۷ برگ) تحت تیمار شاهد (بدون کود) توده ازبکستان به دست آمد (شکل ۲ B). هر دو کود آلی مورد استفاده در این تحقیق، طول و عرض برگ ماش را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند، به‌طوری که بیشترین طول و عرض برگ (به‌ترتیب ۱۴/۷ و ۱۱/۳ سانتی‌متر) با کاربرد اسید هیومیک در توده ازبکستان و کمترین این صفات (۸/۳ و ۵/۷ سانتی‌متر) در شاهد (بدون کود) توده ماش افغانستان ظاهر گردید (شکل ۲ C-D). بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۲ شاخه در بوته) در توده ازبکستان تحت تیمار اسید

هیومیک و کمترین تعداد شاخه جانبی تحت تیمار شاهد (بدون کود) در توده افغانستان (۶/۳ شاخه در بوته) به دست آمد (شکل ۲ E). بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۵/۳ و ۲۴/۳) در توده ازبکستان و به‌ترتیب تحت تیمار اسید هیومیک و کود آلی به دست آمد، درحالی که کمترین تعداد غلاف (۸/۳ غلاف در بوته) تحت تیمار شاهد (بدون کود) در توده ماش افغانستان به دست آمد (شکل ۲ F). همچنین بیشترین طول غلاف (۱۱/۷ سانتی‌متر) در توده ازبکستان تحت تیمار کود آلی و کمترین طول غلاف (هفت سانتی‌متر) تحت تیمار شاهد (بدون کود) در توده افغانستان به دست آمد (شکل ۲ G). بیشترین تعداد دلنه در غلاف (۱۴/۳ دلنه) تحت تیمار اسید هیومیک در توده ماش ازبکستان و کمترین تعداد دانه در غلاف (۸/۷ دانه) تحت تیمار شاهد (بدون کود) در همین توده مشاهده گردید که با توده افغانستان تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲ H).

صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل توده و کود بر صفات وزن هزار دانه و عملکرد گیاه در سطح پنج درصد ($P < 0.05$) و بر صفات عملکرد زیستی، شاخص برداشت، عملکرد ماده خشک و محتوی نسبی آب برگ در سطح یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۶).

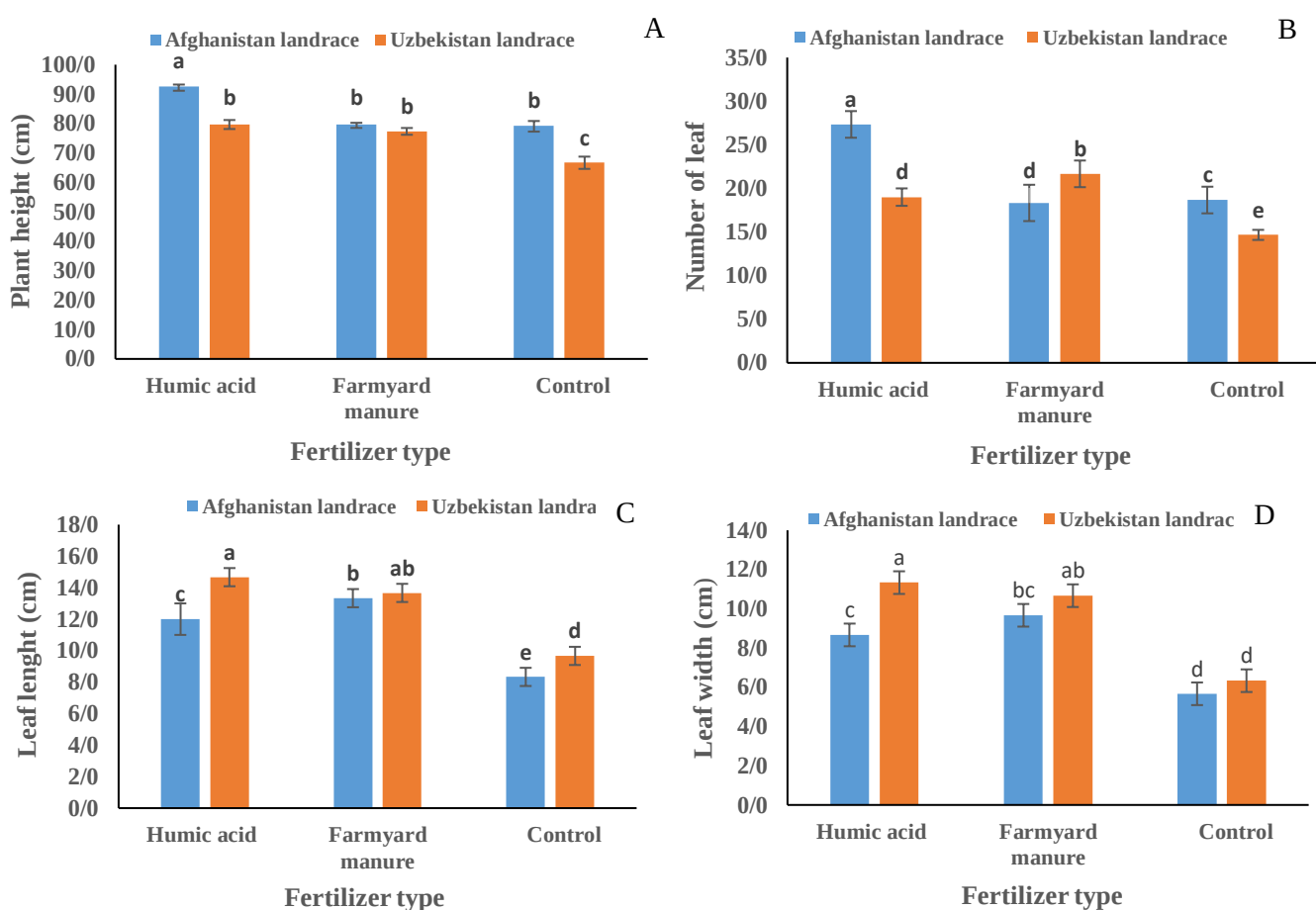
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر توده و کود بر صفات رشدی و اجزای عملکرد ماش

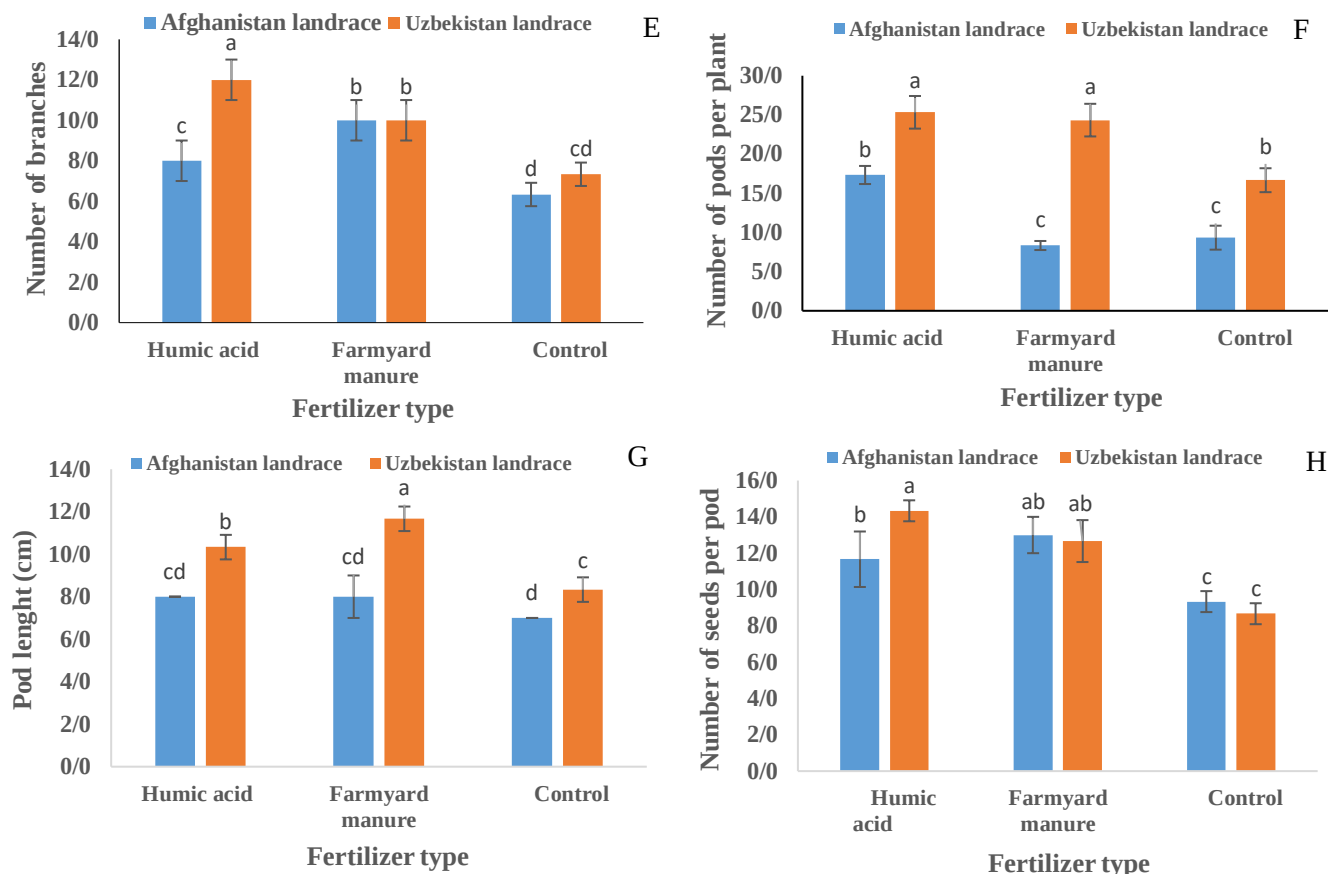
Table 5- Analysis of variance of the effect of landrace and fertilizer on growth traits and yield components of mung bean

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات Mean of squares							
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaf	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width	تعداد شاخه جانبی Number of branches	تعداد غلاف در گیاه Number of pod in plant	طول غلاف Pod length	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod
بلوک Block	2	2.722	0.389	0.222	0.056	0.389	0.722	0.056	2.056
توده Landrace (L)	1	392**	40.5**	9.39**	9.39**	12.5**	490.89**	26.89**	1.39 ^{ns}
کود Fertilizer (F)	2	262.38**	63.39**	39.06**	33.39**	20.06**	105.56**	7.39**	30.72**
توده × کود L × F	2	55.17*	52.17**	2.06*	1.72*	6.5**	34.89**	2.06**	5.06*
خطا Error	10	1.83	2.11	0.44	0.33	0.78	2.5	0.33	0.94
ضریب تبیین R ²		0.97	0.91	0.95	0.95	0.88	0.96	0.92	0.87

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

* and **: indicate significant at $P \leq 0.05$, and significant at $P \leq 0.01$, respectively





شکل ۲- تأثیر متقابل توده و کود دامی بر ارتفاع بوته (A)، تعداد برگ (B)، طول برگ (C)، عرض برگ (D)، تعداد شاخچه (E)، تعداد غلاف در گیاه (F)، طول غلاف (G) و تعداد دانه در غلاف ماش (H)

Figure 2- Interaction effect of landrace and fertilizer on plant height (A), leaf number (B), leaf length (C), leaf width (D), number of branches (E), number of pods per plant (F), pod length (G), and number of seeds per mung bean pod (H)

میانگین‌هایی با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with at least one common letter are not significantly different at the 0.05 level of Duncan's range test.

(شکل ۳ C). همچنین بیشترین مقدار شاخص برداشت در توده ازبکستان تحت تیمار اسید هیومیک (۱۴/۵ درصد) و کمترین مقدار شاخص برداشت تحت تیمار شاهد (بدون کود) در همین توده (۷/۹ درصد) به دست آمد که با توده افغانستان اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳ D). در خصوص عملکرد ماده خشک، اسید هیومیک توانست در توده ازبکستان بیشترین عملکرد (۱۶۴۶۷ کیلوگرم در هکتار) را منجر شود و کمترین عملکرد ماده خشک (۴۰۶۶ کیلوگرم در هکتار) در شاهد (بدون کود) و توده افغانستان دیده شد (شکل ۳ E). در نهایت، استفاده از تیمار اسید هیومیک منجر به افزایش محتوی نسبی آب برگ در هر دو توده ماش گردید، به‌طوری که بیشترین آماس نسبی برگ (۸۶/۳۳ درصد) تحت همین تیمار در توده ازبکستان و کمترین آماس نسبی برگ (۶۹/۶ درصد) تحت تیمار کود گاوی در توده ازبکستان دیده شد (شکل ۳ F).

نتایج بررسی مقایسه میانگین داده‌ها در خصوص وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه در توده ازبکستان تحت تیمار اسید هیومیک (۵۴ گرم) به دست آمد که با تیمار کود گاوی در همین توده (۵۳/۲ گرم) تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین وزن هزار دانه تحت تیمار شاهد (بدون کود) در توده افغانستان (۳۶/۳ گرم) مشاهده گردید (شکل ۳ A). بیشترین عملکرد دانه در توده ازبکستان تحت تیمار اسید هیومیک (۱۵۴۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در شاهد (بدون کود) در توده افغانستان (۴۴۷/۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۳ B). نتایج نشان داد که اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد زیستی گیاه گردید، به‌طوری که بیشترین مقدار این صفت (۱۸۰۱۶/۵ کیلوگرم در هکتار) تحت تیمار هیومیک در توده ازبکستان و کمترین عملکرد زیستی (۴۵۱۳/۳ کیلوگرم در هکتار) تحت تیمار شاهد (بدون کود) و توده افغانستان مشاهده گردید.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر توده و کود بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی ماش

Table 6- Analysis of variance of the effect of landrace and fertilizer on morphophysiological and yield-related traits of mung bean.

منابع تغییرات S.O.V	df	میانگین مربعات Mean of squares					محتوی نسبی آب برگ Leaf relative water content
		وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	
بلوک Block	2	0.170	486.8	223632.4	0.511	1625.6	2.191
توده Landrace (L)	1	890.28**	1531366.67**	194749585.1**	4.24 ^{na}	10452506.4**	2.95 ^{ns}
کود Fertilizer (F)	2	28.67**	410827.42**	73526157.94**	6.10*	4694317.82**	147.1**
کود × توده L × F	2	3.45*	220584.78*	2462193.27**	49.6**	93321.02**	96.98**
خطا Error	10	0.7	1832.46	283468.68	1.26	5547.88	7.28
ضریب تبیین R ²		0.99	0.99	0.99	0.88	0.99	0.85

ns, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: indicate non-significant, significant at $P \leq 0.05$, and significant at $P \leq 0.01$, respectively

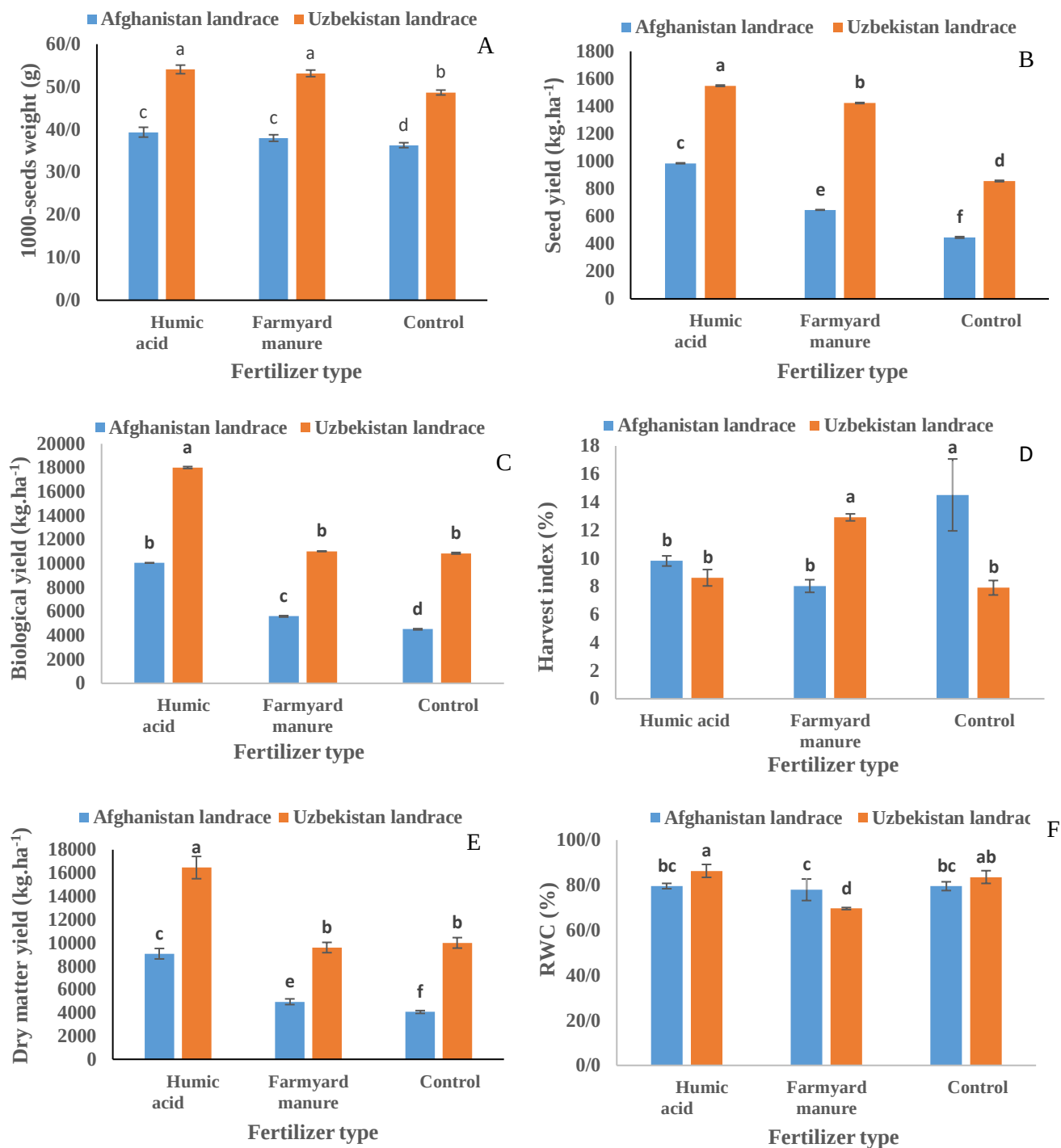
بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری موجب کاهش دوره گل‌دهی و رسیدگی در هر دو توده ماش گردید، درحالی‌که اثر معنی‌داری بر تعداد روز تا سه‌برگی نداشت. این مشاهده را می‌توان به ماهیت وابستگی مراحل اولیه رشد به ذخایر غذایی بذر نسبت داد؛ چراکه گیاهچه در دوره پیش از استقرار کامل، مصرف مواد مغذی خاکی ناچیزی دارد (Woubshet et al., 2017). در مقابل، از مرحله رشد رویشی به بعد، نیاز گیاه به عناصر غذایی به‌شدت افزایش می‌یابد. اسید هیومیک با بهبود جذب عناصر، توسعه سیستم ریشه و افزایش کارایی فتوسنتز، زمینه تسریع فرایندهای رویشی و زایشی را فراهم کرده و در نتیجه، دوره رشد گیاه را کوتاه‌تر نموده است (Ahmad & Khan, 2019). این یافته با گزارش‌های کامکار و همکاران (Karmakar et al., 2023) روی گیاه آهار (*Zinnia elegans*) و نیز یافته‌های آلتای و همکاران (Altai et al., 2020) روی ماش هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که اسید هیومیک با گسترش حجم ریشه و افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی می‌تواند به‌عنوان یک عامل زودرس‌کننده مؤثر در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک عمل نماید.

براساس نتایج، اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول و عرض برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد غلاف و طول غلاف داشت. این افزایش‌ها را می‌توان به نقش چندگانه اسید هیومیک در بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش نفوذپذیری غشاء سلولی، و القای فعالیت شبه‌هورمونی (به‌ویژه افزایش اکسین) نسبت

داد (Nardi et al., 2002; Atiyeh et al., 2002; Hosseinzadeh et al., 2016).

همچنین اسید هیومیک با افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود شرایط ریشه‌زایی منجر به توسعه بهتر اندام‌های هوایی می‌گردد (Altai et al., 2020). از طرف دیگر، پلیمرهای اسید هیومیک توانایی به هم چسباندن ذرات معدنی خاک را داشته و ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسب برای موجودات میکروسکوپی و ماکروسکوپی، نفوذ بیشتر هوا، آب و ریشه را فراهم می‌کند. بنابراین، این پلیمرها عامل کلیدی در اصلاح ساختار خاک و بهبود رشد گیاه هستند (Gorgini Shabankareh et al., 2017). هم‌سو با این نتایج، احمدی نورالدین وند (Ahmadi Nouraldin et al., 2019) گزارش کردند که اسید هیومیک باعث افزایش تعداد برگ و ارتفاع در گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) شد. همچنین کریمی شاه‌ملکی (Kamari Shahmaleki et al., 2010)، افزایش تعداد و سطح برگ در کاهو (*Lactuca sativa*) را ناشی از اثرات هورمونی اسید هیومیک دانستند. در این مطالعه، کود اسید هیومیک باعث توسعه شاخه‌های جانبی در گیاه ماش شد. این افزایش احتمالاً ناشی از بهبود رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و تنظیم فعالیت هورمون‌های رشد بوده است که در نهایت، رشد جوانه‌های جانبی و تشکیل شاخه را تقویت کرده است. اسید هیومیک همچنین تعداد غلاف در گیاه ماش را افزایش داد. به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک شرایط بهتری را برای فتوسنتز فراهم کرده و انتقال بهتر مواد غذایی به غلاف را موجب شده و به این ترتیب تعداد غلاف در گیاه افزایش یافته است.



شکل ۳- تأثیر متقابل توده و کود دامی بر وزن هزار دانه (A)، عملکرد دانه (B)، عملکرد زیستی (C)، شاخص برداشت (D)، عملکرد ماده خشک (E) و محتوای نسبی آب برگ ماش (F)

Figure 3- Interaction effect of landrace and fertilizer on 1000-seed weight (A), plant yield (B), biological yield (C), harvest index (D), dry matter yield (E) and leaf relative water content of mung bean (F)

میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح ۰/۰۵ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with at least one letter in common are not significantly different at the 0.05 level of Duncan's test.

باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده که افزایش عملکرد گیاه را به دنبال دارند (Gorgini Shabankareh et al., 2017). در تأیید این نتایج، افزایش عملکرد زیستی اسفناج (*Spinacia oleracea*) (Ayas & Gulser, 2005) و نیز افزایش ۲۵ درصدی عملکرد زیستی گشنیز (*Coriandrum astivum*) (Rezakhani & Haji Seyed Hadi, 2017) با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است که بیانگر آن است اسید هیومیک به عنوان یک محرک زیستی کارآمد، می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی پایدار محسوب شود.

شاخص برداشت و عملکرد ماده خشک گیاه تحت تأثیر اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این افزایش نشان‌دهنده کارایی بالاتر انتقال ماده خشک به اندام‌های زایشی است. اسید هیومیک با بهبود رشد ریشه و افزایش دسترسی به نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی شده است (De Moura et al., 2023; Shahab et al., 2026). همچنین مرادی توچایی (Moraditochaee, 2012)، افزایش شاخص برداشت در بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) را با محلول‌پاشی اسید هیومیک گزارش کرد که با یافته‌های پژوهش حاضر همسو می‌باشد. افزایش وزن خشک می‌تواند نشان‌دهنده افزایش ذخایر کربوهیدراتی در گیاه باشد که به‌نوبه خود منجر به افزایش ماده خشک تولیدی توسط گیاه می‌شود (Song et al., 2020).

نتایج این مطالعه نشان داد که آماس نسبی برگ با مصرف اسید هیومیک افزایش یافت. این افزایش احتمالاً ناشی از بهبود ساختمان خاک و افزایش رشد ریشه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و بهبود وضعیت فیزیولوژیکی گیاه است. در نتیجه، گیاه توانسته است آب بیشتری در بافت‌های خود حفظ و آماس نسبی برگ را افزایش دهد (Ru et al., 2022). همسو با نتایج این پژوهش، پاتان کار و همکاران (Patankar et al., 2024) نیز گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک با بهبود هدایت روزنه‌ای موجب افزایش آماس نسبی برگ و بهبود فعالیت‌های متابولیکی در ارقام ماش شد.

براساس یافته‌های این تحقیق، توده ازبکستان در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به توده بومی افغانستان برتری داشت. این تفاوت را می‌توان به پتانسیل ژنتیکی بالاتر توده ازبکستان در جذب عناصر و واکنش بهتر به محرک‌های زیستی نسبت داد. با این حال، توده بومی افغانستان نیز در صفاتی نظیر ارتفاع بوته و تعداد برگ، پاسخ خوبی به اسید هیومیک نشان داد که حاکی از قابلیت بهبود این توده با مدیریت تغذیه‌ای مناسب می‌باشد.

کود گاوی نیز با تأمین نیتروژن و بهبود ساختار فیزیکی خاک توانست طول غلاف و تعداد غلاف را افزایش دهد. بدیهی است زمانی که عناصر غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به دنبال آن فتوسنتز به خوبی انجام می‌شود (Sodaeizadeh et al., 2026) و تجمع آسیمیلات‌ها به میزان کافی صورت خواهد گرفت و این امر منجر به افزایش طول و تعداد غلاف می‌گردد (Song et al., 2022). همسو با نتایج این تحقیق، حبیب زاده و همکاران (Habibzadeh et al., 2006) گزارش کردند که استفاده از کود آلی سبب افزایش طول غلاف در ماش گردید. به‌طور کلی، اسید هیومیک نسبت به کود دامی در بهبود صفات رویشی عملکرد بهتری داشت که احتمالاً به دلیل سرعت بیشتر جذب و تأثیر مستقیم آن بر متابولیسم سلولی است.

تیمار اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه را افزایش داد. از آنجاکه وزن هزار دانه تا حد زیادی تحت تأثیر میزان انتقال آسیمیلات‌ها به دانه در دوره پر شدن دانه قرار دارد (Shahab & Zaree, 2024)، به نظر می‌رسد که اسید هیومیک با افزایش تولید کربوهیدرات در برگ‌ها (Abead et al., 2018)، انتقال آن‌ها به غلاف‌ها و کاهش نسبت گلچه‌های عقیم، شرایط بهینه‌ای برای تشکیل و پر شدن دانه فراهم می‌کند (Sadaqat & Emam, 2016). از سوی دیگر، کود دامی نیز با تأمین تدریجی عناصر غذایی، اثر مثبتی بر وزن هزار دانه نشان داد که با گزارش‌های الزبیدی و الشمری (Al-Zubaidi & Al-Shammari, 2023) مبنی بر افزایش وزن هزار دانه ماش با کاربرد ترکیبی اسید هیومیک و کود آلی، هماهنگی دارد. همچنین اولکان (Ulukan, 2008) افزایش تعداد دانه در سنبله گندم (*Triticum aestivum*) و بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2017) افزایش تعداد دانه و وزن دانه در لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) را تحت تأثیر اسید هیومیک گزارش کرده‌اند که نشان‌دهنده اثر عمومی این ماده بر بهبود اجزای عملکرد در گیاهان مختلف می‌باشد.

نتایج نشان داد که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه و عملکرد زیستی را در هر دو توده به‌ویژه در توده ازبکستان افزایش داد. این افزایش را می‌توان به اثرات تجمعی اسید هیومیک بر صفات مؤثر بر عملکرد، شامل تعداد غلاف، تعداد دانه، وزن هزار دانه و سطح برگ نسبت داد (Al-Ezzi & Al-Obeidi, 2019). همچنین اسید هیومیک با افزایش کلروفیل، ماندگاری برگ‌ها و بهبود فتوسنتز، تثبیت کربن بیشتری را به همراه داشته و زیست‌توده تولیدی را افزایش داده است (Nardi et al., 2002; Malik et al., 2014). مطالعات نشان می‌دهد که اسید هیومیک باعث افزایش رشد، متابولیسم و افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود. مواد هیومیکی به‌صورت غیرمستقیم نیز با بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری بستر به آب‌وهوا، افزایش تبادل کاتیونی و توانایی بافر کردن اسیدیته بستر،

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاربرد کود آلی و اسید هیومیک توانست به‌طور مؤثر سبب افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه ماش گردید. از بین تیمارهای مورد بررسی، اسید هیومیک در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به کود آلی کارایی بهتری داشت؛ به‌طوری که در توده افغانستان بیشترین ارتفاع بوته و تعداد برگ، و در توده ازبکستان بیشترین طول و عرض برگ، بیشترین تعداد شاخه فرعی، بیشترین تعداد غلاف و دانه در غلاف در این تیمار مشاهده شد. همچنین اسید هیومیک باعث کاهش معنی‌دار روز تا

گل‌دهی و روز تا رسیدگی محصول گردید. توده ماش ازبکستان در اکثر صفات مورد مطالعه واکنش بهتری نسبت به توده افغانستان نشان داد، به‌طوری که بیشترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، عملکرد ماده خشک و محتوی نسبی آب برگ تحت تیمار اسید هیومیک در این توده دیده شد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که که کاربرد اسید هیومیک به‌میزان پنج گرم در مترمربع توانست رشد و عملکرد ارقام ماش را در شرایط اقلیمی افغانستان افزایش دهد و می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در بهبود تولید این محصول در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Abead, H. M., Hammadi, H. J., & Salama, M. A. (2018). Effect of humic acid foliar in the growth, yield and quality of several genotypes four of *Vicia faba* L. *Anbar Journal of Agricultural Sciences*, 16, 52-61.
- Ahmad, J., & Khan, F. A. (2019). Effects of diverse levels of humic acid on dry matter partitioning and phenological traits of maize. *Journal of Agricultural Research Advances*, 1(4), 13-16.
- Ahmadi, F., Moraditelavat, M. R. & Siadat, S. (2017). The effect of manure on the yield, nutrient uptake and accumulation of hexose sugars in crops intercropping oat (*Avena sativa* L.) and clover (*Trifolium alexandrinum* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 1(8), 103-112. (In Persian).
- Ahmadi Nouraldin, F., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Moshatati, A. (2019). The reaction of vegetative and reproductive growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) to humic acid application with irrigation water in different planting densities. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10(2), 104-118. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397>. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397>
- Al-Ezzi, A. G., & Al-Obeidi, K. S. A. (2019). Effect of humic acid and phosphorus on the growth, yield and quality of two cultivars of broad bean, *Vicia faba* L. Third International Conference on Agricultural Sciences. Kirkuk University. Faculty of Agriculture, Kirkuk, Iraq.
- Altai, D. S., Alhasany, A. R., & Al Tameemi, K. A. (2020). Role of humic acid and amino acids in increasing growth and productivity of mungbean varieties grown under newly reclaimed soil. *Indian Journal of Ecology*, 47(10), 11-16.
- Al-Zubaidi, N. A. J., & Al-Shammari, A. F. A. (2023). The effect of biofertilization and organic fertilization and the interaction between them on the yield characteristics and components of the mung bean plant *Vigna radiata* L. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 11(3), 397-402. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/11.1099>
- Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00017-2)
- Ayas, H., & Gulser, F. (2005). The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, 5(6), 801-804. <https://doi.org/10.3923/jbs.2005.801.804>
- Batubara, S. F. (2022). Growth and yield respons of mungbean to different level of organic and inorganic fertilizer in North Sumatera. *Agrotech Journal*, 7(1), 43-52. <https://doi.org/10.31327/atj.v7i1.1771>
- Beheshti, S., Tadayyon, A., & Fallah, S. (2017). 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). <https://doi.org/10.22067/IJPR.V7I2.46533>
- De Moura, O. V. T., Berbara, R. L. L., De Oliveira Torchia, D. F., Da Silva, H. F. O., De Castro, T. A. V. T., Tavares, O. C. H., & García, A. C. (2023). Humic foliar application as sustainable technology for improving the growth, yield, and abiotic stress protection of agricultural crops. A review. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(8), 493-513. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.05.001>
- Farsari, S., Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., & Ebrahimi, H. (2019). Effect of foliar application of putrescine on biomass, water relative content and mineral elements of sweet basil (*Ocimum basilicum* L. cv. Genove) under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(33), 399-412. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.33.14.4>
- Feng, Q., Niu, Z., Zhang, S., Wang, L., Qun, S., Yan, Z., Hou, D., & Zhou, S. (2024). Mung bean protein as an emerging source of plant protein: A review on production methods, functional properties, modifications

- and its potential applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(5), 2561-2573. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13107>
- Ferrat, I. L., & Lova, C. J. (1999). Relation between relative water content, nitrogen pools and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius*, A. gray during water deficit. *Crop Science*, 39, 467-474. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X0039000200028x>
- Ghanbari Odivi, A., Fallah, S., Karimi, M., & Lorigooini, Z. (2021). Effect of animal manure on growth, yield and essential oil of Sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 181-196. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43886.2603>
- Gorgini shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., & Fakheri, B. (2017). Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 1(2), 166-176. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.04>
- Habibzadeh, Y., Kashani, M. R., & Masgarbashi, M. (2006). The effect of plant density on yield, some vegetative and reproductive traits of 3 of mung bean (*Vigna radiata* L.) in Ahvaz region. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(2), 327-335. (In Persian).
- Heidari, N., Pouryouse, M., & Tavakoli, A. (2015). Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research*, 27(5), 829-839. (In Persian). <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
- Hosseinzadeh S. R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54(1), 87-92. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0162-x>
- Jabar, A. F. (2021). An overview on impacts of agriculture–horticulture sub sector in afghanistan’s economy. *Academic Research in Educational Sciences*, 2(5), 230-237.
- Jacobs, M., Schloeder, C. A., & Tanimoto, P. D. (2015). Dryland agriculture and rangeland restoration priorities in Afghanistan. *Journal of Arid Land*, 7, 391-402. <https://doi.org/10.1007/s40333-015-0002-7>
- Jiang, Y., Li, K., Chen, S., Fu, X., Feng, S., & Zhuang, Z. (2022). A sustainable agricultural supply chain considering substituting organic manure for chemical fertilizer. *Sustainable Production and Consumption*, 29, 432-446. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.025>
- Kamari Shahmaleki, S., Peyvast, Q., & Olfati, J. (2010). Effects of humic acid on growth characteristics and absorption of nutrient elements of lettuce in thin layer of solution. *Journal of Horticultural Sciences*, 24(2), 149-153. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i2.7988>
- Karmakar, S., Sahu, J. K., Sharma, V., Das, D., & Tirki, K. (2023). Effects of varying doses and timing of humic acid application on growth and flowering of *Zinnia elegans*. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(9), 632-638. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i92281>
- Khasawneh, A. R., & Othman, Y. A. (2020). Organic farming and conservation tillage influenced soil health component. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29, 895-902.
- Malik, M. M. R., Akhtar, M. J., Ahmad, I., & Khalid, M. (2014). Synergistic use of rhizobium, compost and nitrogen to improve growth and yield of mungbean (*Vigna radiata*). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 51(1), 383-388.
- Mohammadzadeh, V., Rezaei-Chiyaneh, E., Mahdavia, H., Rahimi, A., Gheshlaghi, M., Battaglia, M. L., & Harrison, M. T. (2022). Effect of intercropping and bio-fertilizer application on the nutrient uptake and productivity of mung bean and marjoram. *Land*, 11(10), 1825. <https://doi.org/10.3390/land11101825>
- Moraditochae, M. (2012). Effects of humic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management on yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Iran. *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(4), 289-29.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology*, 34, 1527-1536. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8)
- Patankar, A. V., Nigam, B., & Chaudhary, I. J. (2024). Effect of salinity and humic acid on growth, biomass, and yield of mung bean (*Vigna Radiata* L.) cultivars. *Insights of Herbal Medicine*, 3(2), 1-14.
- Priyadarshini, A. S., Singh, V., Tiwari, D., Karthik, B., & Mahesh, K. (2021). Influence of spacing and organic manures on growth, yield and economics of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Biological Forum-An International Journal*, 13(1), 617-621.
- Rahmani, F., Sodaieizadeh, H., Yazdani-Bioui, R., Hakimzadeh-Ardakani, M. A., & Kamali Aliabadi, K. (2024). Effect of bio-priming on morphological, physiological and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under salinity stress. *South African Journal of Botany*, 167, 630-642. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.02.054>

- Rezakhani, A., & Haj Seyed Hadi, M. R. (2017). Effect of manure and foliar application of amino acids on growth characteristic, seed yield and essential oil coriander (*Coriandrum astivum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(3), 777-786. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.210745.654144>
- Ru, C., Hu, X., Chen, D., Wang, W., & Sonand, T. (2022). Heat and drought priming induce tolerance to subsequent heat and drought stress by regulating leaf photosynthesis, root morphology, and antioxidant defense in maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 202, 105010. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105010>
- Sadaqat, M. E., & Emam, Y. (2016). Effect of three growth regulators on grain yield of wheat cultivars under different moisture regimes. *Journal of Production and Processing*, 6(21), 15-33. (In Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.21.15>
- Saha, L., & Bauddh, K. (2020). Sustainable agricultural approaches for enhanced crop productivity, better soil health, and improved ecosystem services. *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture*, 1-23. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_1
- Salehi, M., Karimian, A., & Sodaieizadeh, H. (2022). The effect of chicken and pigeon manure on some morphological and biochemical characteristics of (*Mentha piperita* L.). *Iranian Medicinal Plants and Technology*, 5(2), 77-89. (In Persian).
- Shahab, J., & Zaree, W. (2024). Effect of different planting densities on growth and yield of wheat in climatic conditions of Samangan. *Samangan Academic & Research Journal*, 2(02), 43-56. <https://doi.org/10.64226/sarj.v2i02.65>
- Shahab, J., Sodaieizadeh, H., Seifati, S. E., Kamali, K., & Hakim Zadeh, M. A. (2026). Investigation of the effects of mulch and windbreak on sorghum growth and weed control under drought stress. *Desert Ecosystem Engineering*, 15(50), 85-100. <https://doi.org/10.22052/deej.2026.258322.1138>
- Singh, T. B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., & Dantu, P. K. (2020). Role of organic fertilizers in improving soil fertility. *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts and Management*, 61-77. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41552-5_3
- Sodaieizadeh, H., Karimian, A. A., Hossein Jafari, S., & Mosleh Arani, A. (2024). A preliminary study on heavy metal monitoring in soil and guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) biomass amended with sewage sludge. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12337-3>
- Sodaieizadeh, H., Hokmollahi, F., Ghasemi, S., Sadeghian, M., & Tarrah, S. (2025). Cyanobacteria inoculation mitigates salinity stress by regulating plant growth, photosynthetic performance, elemental concentrations and yield in wheat. *South African Journal of Botany*, 180, 857-869. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.04.006>
- Sodaieizadeh, H., Mosleh Arani, A., Nejadranjbar, A., Gholi Kilaneh, A., Shahab, J., & Sharifi, Z. (2026). Investigating the effect of zargarin organic fertilizer on reducing the effects of irrigation water salinity on morphological and biochemical characteristics of greenhouse cucumber. *Water Management in Agriculture*, 12(2), 91-110. (In Persian).
- Song, X., Chen, M., Chen, W., Jiang, H., & Yue, X. (2020). Foliar application of humic acid decreased hazard of cadmium toxicity on the growth of Hybrid Pennisetum. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03118-9>
- Song, X., Guo, W., Xu, L., & Shi, L. (2022). Beneficial effect of humic acid urea on improving physiological characteristics and yield of maize (*Zea mays* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(7), 72. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03401-x>
- Thomason, W. E., Evanylo, G. K., Zhang, X., Strickland, M. S., Chim, B. K., & Diatta, A. A. (2020). The synergistic effects of humic substances and biofertilizers on plant development and microbial activity: A review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 32(7), 56-75. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2020/v32i730306>
- Ulukan, H. (2008). Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat hybrids. *International Journal of Botany*, 4(2), 164-175. <https://doi.org/10.3923/ijb.2008.164.175>
- Woubshet, D., Selamyihun, K., & Cherukuri, V. (2017). Productivity and economics of faba bean (*Vicia faba* L.) in relation to integrated use of lime, blended fertilizer, bio fertilizer, and compost on acid soils of high lands in west showa zone of Ethiopia. *International Journal of Current Research*, 9(04), 49067-49076.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98894.1137>

Relative Yield, Sustainability Index and Comparative Advantage of Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivation in Iran

Amir Hooshang Jalali^{1*}, Foroud Salehi¹

Received: 23 May 2026
Revised: 18 June 2026
Accepted: 11 July 2026
Available Online: 11 July 2026

Cite this article:

Jalali, A. H., & Salehi, F. (2026). Relative yield, sustainability index and comparative advantage of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation in Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 151-162. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98894.1137>

Introduction

The concept of sustainability is mainly used as a measure of the temporal or spatial invariance of specific characteristics. Therefore, sustainability can be expressed as the stability of agricultural outputs, especially yield, over long periods of time or in different spatial environments. The idea of applying sustainability analysis methods to cropping systems is not new, however, it does not seem to have been addressed as it deserves. Yield sustainability analyses have gained more importance in recent years, as the increase in climate variability caused by climate change is also associated with a decrease in crop yield sustainability. For example, among the eight crops studied, beans (*Phaseolus vulgaris* L.) have shown the greatest sensitivity to temperature increase scenarios caused by climate change. Some studies have shown that yield instability in legumes is 30% higher than in spring and autumn cereals. There are two dominant approaches to the comparative advantage index. The first approach is based on the costs and benefits of products, and the second approach is based on the performance and production of products. The first approach often includes economic and monetary aspects, and the second approach includes technical aspects of production. For example, in a study evaluating crop production, watermelon, cucumber, potato, onion, tomato, and rainfed wheat were found to be efficient in terms of production performance and to have a comparative advantage. In contrast, irrigated wheat, irrigated barley, grain corn, long-grain rice, and short-grain rice did not demonstrate a comparative advantage in production compared with the national level.

Materials and Methods

Official statistics from the Ministry of Agricultural Jihad were used to obtain bean yields from (2010-2011) to (2020-2021) and were the source of information necessary for this research. Yield, relative yield, yield sustainability index, and cumulative comparative advantage were among the items measured in this study. Provincial data were tested using a randomized complete block design with 10 replications (years) and compared means using Duncan's range test. Although changes in genotypes, crop management, economic factors, and weed and pest control vary from year to year, the principle of yield stability calculations does not distort the results, but to reduce these effects, the number of base years was only 10 years. The minimum number of years to measure yield stability indices is 4 years. Usually, there are two opinions on dealing with outliers in yield stability studies: one is that these data should be eliminated, and some believe that these data should be retained because they reflect biotic and abiotic stresses in the studies. In the present study, there were no outliers due to the limited number of years of evaluation, and therefore all data were retained for the provinces.

Results and Discussion

Yield, relative yield, sustainability index, and comparative advantage were the factors evaluated in this study. The yield range of bean seeds fluctuated from 940 kg ha⁻¹ in South Khorasan to 2816 kg.ha⁻¹ in Zanjan. 58 percent of the 31 bean-producing provinces had a yield of less than 2 tons ha⁻¹. In terms of relative bean yield index, the provinces of the country are divided into three groups, with only 48.4 percent of the provinces having a relative yield of more than 100. Provinces such as Fars, Zanjan, Chaharmahal and Bakhtiari, Isfahan, and Markazi had bean yields of more than 2 t.ha⁻¹, and at the same time, the yield sustainability index in them was more than 0.7. In terms of relative advantage in area, only 5 provinces had a comparative advantage, and in these provinces a significant level of cultivation was devoted to

1- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

* Corresponding Author: ah.jalali@areeo.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

bean crops. The relative yield advantage was more than 1 in 9 provinces and more than 2 in 3 provinces. The cumulative comparative advantage of bean cultivation in the country showed that the provinces of East Azerbaijan, Chaharmahal and Bakhtiari, Zanjan, Fars, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Lorestan and Markazi have cumulative comparative advantage for bean cultivation. According to the results obtained, it is suggested that policies for bean production in the country be made according to similar indicators of this research.

Conclusions

Ensuring a promising future for crop production depends on an accurate analysis of past production trends. Monitoring yield, relative yield, yield stability, and the comparative advantage of production are among the tools used to analyze the historical performance of crops. Over a decade of bean cultivation in the country, bean seed yield across the 31 bean-producing provinces ranged from 940 kg ha⁻¹ in South Khorasan to 2,816 kg ha⁻¹ in Zanjan. However, 58% of the producing provinces still had yields below 2 t ha⁻¹. The relative yield of beans exceeded 100 in 15 provinces. In terms of yield stability, only 16% of the bean-producing provinces both achieved yields above 2 t ha⁻¹ and maintained these yields over time, indicating substantial yield fluctuations in most producing provinces. In terms of relative advantage, only 5 provinces had a comparative advantage, and in these provinces a significant level of cultivation has been devoted to the bean crop. The relative advantage of yield in 9 provinces was more than 1 and in 3 provinces more than 2. If both the level and yield are the basis of the relative advantage (cumulative relative advantage), the provinces of East Azerbaijan, Chaharmahal and Bakhtiari, Zanjan, Fars, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Lorestan and Markazi have such an advantage for bean cultivation. According to the results, the strengths and weaknesses of bean production in each province are specific to that province and can be traced through the indicators presented in this article.

Keywords: Area, Cumulative comparative advantage, Pulses

عملکرد نسبی، شاخص پایداری و مزیت نسبی کشت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایرانامیر هوشنگ جلالی^{۱*}، فرود صالحی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

چکیده

پژوهش حاضر با استفاده از آمار ۱۰ ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۹) تا (۱۴۰۰-۱۳۹۹) تولید لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در استان‌های مختلف کشور انجام شد. عملکرد، عملکرد نسبی، شاخص پایداری و مزیت نسبی مواردی بودند که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفتند. دامنه عملکرد دانه لوبیا از ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار در خراسان جنوبی تا ۲۸۱۶ کیلوگرم در هکتار در زنجان در نوسان بود. ۵۸ درصد از ۳۱ استان تولیدکننده لوبیا، عملکرد کمتر از دو تن در هکتار داشتند. از نظر شاخص عملکرد نسبی لوبیا، استان‌های کشور به سه گروه تقسیم شدند که فقط ۴/۴ درصد از استان‌ها عملکرد نسبی بیش از ۱۰۰ داشتند. استان‌هایی مانند فارس، زنجان، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و مرکزی عملکردهای لوبیایی بیش از دو تن در هکتار داشته و در عین حال شاخص پایداری عملکرد در آن‌ها نیز بیش از ۰/۷ بود. از دید مزیت نسبی سطح، صرفاً پنج استان دارای مزیت نسبی بودند و در این استان‌ها سطح قابل توجهی به کشت لوبیا اختصاص داده شده است. مزیت نسبی عملکرد در نه استان (چهارمحال و بختیاری، زنجان، خراسان شمالی، فارس، قم، کردستان، گلستان، لرستان و مرکزی) بیش از یک و در سه استان (کهگیلویه و بویر احمد، گیلان و مازندران) بیش از دو بود. مزیت نسبی تجمعی کشت لوبیا در کشور نشان داد که استان‌های آذربایجان شرقی، چهارمحال و بختیاری، زنجان، فارس، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و مرکزی دارای مزیت نسبی تجمعی برای کشت لوبیا بودند. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاری‌ها برای تولید لوبیا در کشور با توجه به شاخص‌های مشابه این پژوهش انجام گردد.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، سطح، مزیت نسبی تجمعی

مقدمه

محققان پیش‌بینی می‌کنند که حبوبات در آینده جایگاه فزاینده‌ای در سامانه‌های کشت، چه در مناطق کمتر توسعه‌یافته و چه در مناطق توسعه‌یافته جهان خواهند داشت. دلیل اصلی این پیش‌بینی این است که حبوبات می‌توانند چندین نقش اساسی شامل تولید دانه برای مصرف انسان، فراهم آوردن امکان افزایش حاصلخیزی خاک به‌دلیل بقایای غنی از مواد مغذی آن و عامل کلیدی در خوراک دام ایفا نمایند (Sinclair & Vadez, 2012). براساس آمار سال ۲۰۲۴ میلادی، سطح زیرکشت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران ۸۴/۳ هزار هکتار با میانگین عملکرد ۱/۹ تن در هکتار بوده که در مجموع تولیدی بالغ بر ۱۶۰/۸ هزار تن داشته است. درحالی که در چند سال اخیر، مصرف سرانه لوبیا به‌ازای هر فرد در روز در ایران کمتر از پنج گرم بوده و در کشورهایی مثل ترکیه و آمریکا این عدد بیش از هشت گرم است (FAO, 2026). در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۹-۱۴۰۱، متوسط سطح زیرکشت لوبیا در ایران برابر ۱۰۳/۷ هزار

هکتار با تولید ۲۲۲/۵ هزار تن بوده و در برنامه توسعه هفتم کشور پیش‌بینی‌شده سطح زیرکشت این محصول به ۱۰۵ هزار هکتار و تولید آن از ۲۸۱ هزار تن در سال اول برنامه به ۳۰۸ هزار تن در سال آخر برنامه برسد. معمولاً استان‌های فارس، لرستان و مرکزی بیشترین سطوح کشت لوبیا در کشور را به خود اختصاص می‌دهند (Jalali et al., 2026).

مفهوم پایداری عمدتاً به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری تغییرناپذیری زمانی یا مکانی ویژگی‌های خاص استفاده می‌شود، بنابراین پایداری را می‌توان به‌عنوان ثبات خروجی‌های کشاورزی به‌ویژه عملکرد، در دوره‌های زمانی طولانی یا در محیط‌های مکانی مختلف بیان کرد (Urruty et al., 2016). ایده به‌کارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل پایداری در سامانه‌های کشت، جدید نیست، بااین‌وجود به نظر نمی‌رسد که آن گونه که شایسته است به آن پرداخته شده باشد (Piepho, 1998). تحلیل‌های پایداری عملکرد در سال‌های اخیر اهمیت بیشتری یافته‌اند، زیرا افزایش تغییرپذیری آب‌وهوای ناشی از تغییرات اقلیمی با کاهش پایداری عملکرد محصولات نیز مرتبط است. به‌عنوان مثال، از میان هشت محصول زراعی مطالعه‌شده، لوبیا بیشترین حساسیت را به سناریوهای افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم نشان داده است (Moemeni & Zibaei, 2013). برخی از پژوهش‌ها

۱- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

ah.jalali@areeo.ac.ir

*- نویسنده مسئول:

می‌شوند، بنابراین نوسانات سطح و تولید در این شرایط دور از ذهن نبوده و ارزیابی عملکرد نسبی، پایداری عملکرد و مزیت نسبی تولید در گذر زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر سعی شد که وضعیت تولید محصول لوبیا در کشور به‌طور مقایسه‌ای (عملکرد نسبی)، پایداری عملکرد محصول لوبیا در گذر زمان و مزیت نسبی تولید این محصول در مقایسه با سایر محصولات زراعی برای استان‌های مختلف کشور مورد توجه قرار داده شود.

مواد و روش‌ها

آمارنامه‌های رسمی وزارت جهاد کشاورزی در سال‌های زراعی (۱۳۸۹-۱۳۹۰) تا (۱۳۹۹-۱۴۰۰) برای به دست آوردن عملکرد لوبیا استفاده شد. شاخص عملکرد نسبی با توجه به معادله ۱ و شاخص ثبات عملکرد براساس معادله ۲ محاسبه شدند.

$$YI = (Y/\bar{Y}) \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

$$YSI = (Y - \delta) / Y_{\max} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن‌ها، Y ، $\bar{Y}$ ، δ ، $Y_{\max}$: به ترتیب عملکرد، میانگین عملکرد، انحراف معیار، سال و بیشینه عملکرد طی یک دوره می‌باشد. اعداد عملکرد نسبی، دامنه‌ای از کمتر یا بیش از ۱۰۰ دارد که اعداد بالاتر از ۱۰۰ بیانگر وضعیت مطلوب (بیش از میانگین کل) و اعداد کمتر از ۱۰۰ بیانگر وضعیت نامطلوب است. در معادله شاخص پایداری عملکرد، اعداد به دست آمده هرچه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشند بیانگر وضعیت مطلوب‌تر پایداری عملکرد هستند (Piepho, 1998). شاخص مزیت نسبی تجمعی محصول لوبیا با توجه به معادله ۳ به دست آمد (Saeidifar, 2013):

معادله (۳)

$$RCA = \frac{\text{میزان سطح زیر کشت (یا عملکرد در هکتار) محصول زراعی (یا باغی) در استان ا م}}{\text{میزان سطح زیر کشت (یا عملکرد در هکتار) کل محصولات زراعی (یا باغی) در استان ا م}} \div \frac{\text{میزان سطح زیر کشت (یا عملکرد در هکتار) محصولات زراعی (یا باغی) کشور}}{\text{میزان سطح زیر کشت (یا عملکرد در هکتار) کل محصولات زراعی (یا باغی) کشور}}$$

$$G = \sqrt{RCA_1 * RCA_2} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، RCA_1 : مزیت نسبی سطح زیر کشت لوبیا و RCA_2 : مزیت نسبی عملکرد در هکتار لوبیا هستند در معادله‌های فوق، RCA : مزیت نسبی است که یک بار براساس سطح و یک بار براساس عملکرد به دست می‌آید و G : شاخص مزیت نسبی ترکیبی (سطح و عملکرد) است.

داده‌های استانی با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تکرار (سال‌ها) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن انجام شد. مواردی مانند تغییرات ژنوتیپ‌ها،

نشان داده است که ناپایداری عملکرد در حبوبات ۳۰ درصد بیش از غلات بهاره و پاییزه است (Reckling et al., 2021).

به‌طور معمول برای بیان بلندمدت تغییرات عملکرد، تنها از مواردی مانند میانگین عملکرد و ضریب تغییرات استفاده می‌شود که برای ارزیابی جامع پایداری عملکرد ناکافی هستند، زیرا از یک سو عوامل محیطی مانند بارندگی، دما و تابش خورشیدی در سال‌های مختلف بسیار متفاوت بوده و از سوی دیگر این شاخص‌ها معمولاً قادر به تفکیک نوسانات کوچک مکرر از نوسانات بزرگ و نادر نمی‌باشند (Zhang et al., 2022). شاخص پایداری عملکرد با در نظر گرفتن میانگین عملکرد سال مورد نظر، میانگین کل سال‌ها، میانگین مربعات، انحراف معیار و بیشینه عملکرد در بین سال‌ها، تصویر روشن‌تری از ثبات عملکرد در گذر زمان ارائه می‌دهند (Pal & Sahu, 2008). به عنوان مثال، شاخص پایداری عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) برای ۲۱ کشور در پژوهشی صورت پذیرفت و نتایج نشان داد که کاهش پایداری عملکرد در ۱۴ کشور مشاهده شده است (Calderini & Slafer, 1998). در حالی که شاخص پایداری، عملکرد یک محصول را در گذر زمان در یک منطقه رصد می‌کند، شاخص عملکرد نسبی، عملکرد یک محصول را در مقایسه با عملکرد همان محصول در سایر مناطق جغرافیایی مورد مقایسه قرار می‌دهد. این شاخص در حقیقت مناطق کارآمد کشت (شاخص عملکرد نسبی بیش از ۱۰۰) را از مناطق با کارآمدی کمتر تفکیک می‌نماید (Otung & Akpaeti, 2016). در رابطه با شاخص مزیت نسبی، دو نوع نگرش غالب وجود دارد. نگرش اول مبتنی بر هزینه‌ها و منفعت‌های محصولات و نگرش دیگر مبتنی بر عملکرد و تولید محصولات است. نگرش اول غالباً جنبه‌های اقتصادی و ریالی و نگرش دوم جنبه‌های فنی تولید را در بر می‌گیرد. به عنوان مثال، در پژوهشی مبتنی بر تولید محصولات زراعی هندوانه (*Citrullus vulgaris* L.)، خیار (*Cucumis sativus* L.)، سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، پیاز (*Allium cepa* L.) و گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) و گندم دیم از نظر عملکرد دارای کارایی و از مزیت نسبی در تولید برخوردار بوده‌اند؛ و محصولات گندم آبی، جو آبی (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)، برنج دانه بلند (*Oryza sativa* L.) و برنج دانه کوتاه در مقایسه با کل کشور دارای مزیت نسبی در تولید نبوده‌اند (Rahmani, 2006).

علی‌رغم اهمیت بالای کشت حبوبات، سطح زیر کشت لوبیا در دنیا رو به کاهش است. مشکلات برداشت، عدم ثبات قیمت و جایگزینی آن با سایر محصولات از دلایل این کاهش سطح محسوب

عملکرد نسبی

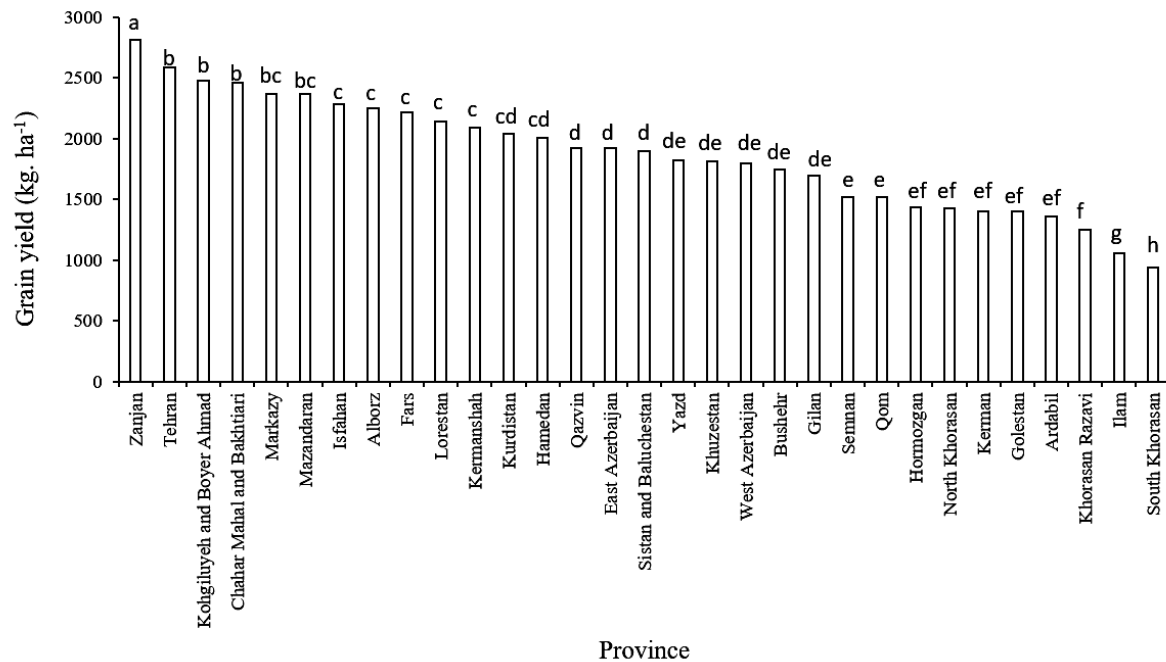
همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، استان های کشور را می توان از نظر شاخص عملکرد نسبی لوبیا به سه گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل استان های زنجان، تهران، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، مرکزی، مازندران، اصفهان، البرز، فارس، لرستان، کرمانشاه، کردستان، همدان، قزوین، آذربایجان شرقی و سیستان و بلوچستان، استان هایی هستند که عملکرد نسبی بیش از ۱۰۰ دارند. استان زنجان با شاخص عملکرد نسبی ۱۵۰/۴۸ در رأس این استان ها قرار داشت. گروه دوم شامل استان های یزد، خوزستان، آذربایجان غربی، بوشهر، گیلان، سمنان و قم بود که شاخص عملکرد نسبی ۱۰۰-۸۰ داشتند. سه استان اول این گروه یعنی استان های یزد، خوزستان و آذربایجان غربی به ترتیب با عملکرد نسبی ۹۷/۲۶، ۹۶/۷۶ و ۹۵/۷۱ این پتانسیل را داشتند که خود را به گروه اول ملحق نمایند. گروه سوم شامل استان های هرمزگان، خراسان شمالی، کرمان، گلستان، اردبیل، خراسان رضوی، ایلام و خراسان جنوبی بودند که شاخص عملکرد نسبی در آن ها دامنه ای از ۵۰/۲۴ تا ۷۶/۷۱ داشت. بررسی شاخص عملکرد نسبی در حقیقت شکاف موجود بین عملکرد هر ناحیه (استان) با میانگین کل کشور را نشان می دهد؛ بنابراین نتایج بیانگر آن است که ۱۵ استان از ۳۱ استانی که کشت لوبیا در آن ها انجام می شود، متوسط عملکردی پایین تر از عملکرد کشوری داشتند. دلیل این مسئله در هر ناحیه ممکن است متفاوت باشد، ولی تغییرات اقلیمی و اثرات خاص آن در برخی از نواحی از دلایل عمومی در این رابطه بوده است (Mostafav et al., 2020). افزایش عملکرد محصول غالباً نتیجه اصلاح نباتات و توسعه شیوه های زراعت جدید است، در حالی که کاهش شکاف عملکرد با پذیرش نوآوری های شناخته شده توسط کشاورزان در ارتباط است (Fischer, 2015). در نظر گرفتن شاخص عملکرد محصولات زراعی به عنوان یک عامل برای سنجش تغییر و تحولات در تولید محصولات زراعی از معروف ترین شیوه های ارزیابی محسوب می شود. این شاخص به ویژه برای تصمیم گیری در سطوح وسیع و سیاست گذاری های کلان ملی از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Taheri et al., 2020). در پژوهش حاضر برای تولید محصول لوبیا، سه گروه اختصاصی تشخیص داده شد. گروه بندی مشابه برای محصولات زراعی کشور انجام و نتایج نشان داد که محصولات زراعی مختلف در کشور در پنج گروه قابل تقسیم بندی هستند و استان های مختلف در این پنج گروه قرار می گیرند (Jamini et al., 2026).

مدیریت زراعی، عوامل اقتصادی و مبارزه با علف های هرز و آفات که در سال های مختلف متفاوتند، اگرچه اصل محاسبات مربوط به پایداری عملکرد را مخدوش نمی کند (Reckling et al., 2021)، ولی برای کاهش این اثرات، تعداد سال های مبنای فقط ۱۰ سال در نظر گرفته شد. حداقل سال ها برای اندازه گیری شاخص های ثبات عملکرد چهار سال است (Piepho, 1998). معمولاً برای برخورد با داده های پرت در آزمایش های بررسی ثبات عملکرد دو عقیده وجود دارد، برخی معتقدند که این داده ها حذف شود و برخی معتقدند که باید این داده ها به دلیل انعکاس تنش های زیستی و غیرزیستی در بررسی ها حفظ شوند. در پژوهش حاضر از آزمون شاپیرو ویلک^۱ جهت برازش توزیع نرمال استفاده شد و براساس نتایج، داده های پرت وجود نداشت و بنابراین تمام داده ها برای استان ها حفظ گردید.

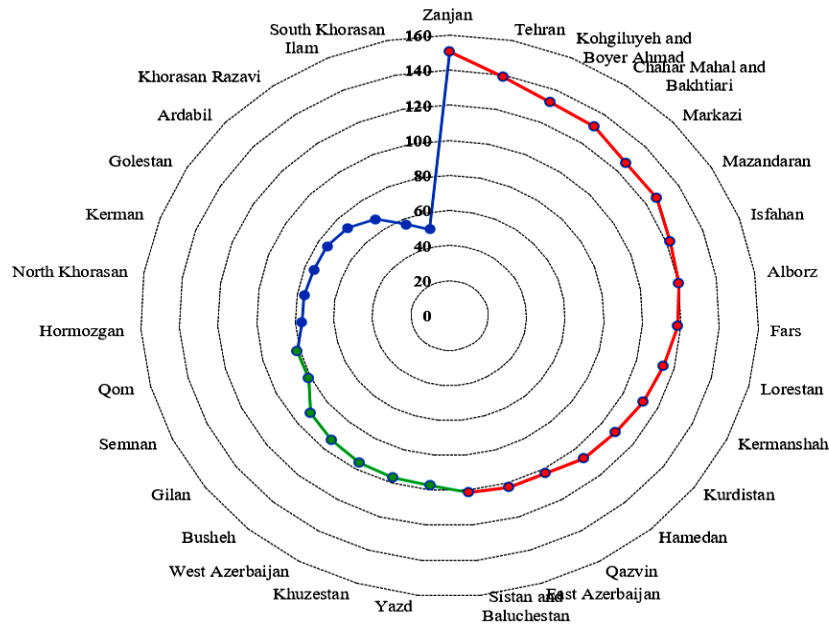
نتایج و بحث

عملکرد دانه

میانگین عملکرد دانه لوبیا در یک دوره ۱۰ ساله در استان های مختلف ایران در شکل ۱ ارائه شده است. دامنه عملکرد دانه لوبیا از ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار در خراسان جنوبی تا ۲۸۱۶ کیلوگرم در هکتار در زنجان در نوسان بوده است. با توجه به اینکه انتظار می رود که استان های زنجان، خوزستان، گیلان، مرکزی، لرستان و فارس از جمله استان هایی باشند که در برنامه توسعه هفتم کشور بیشترین سطوح زیرکشت لوبیا را به خود اختصاص دهند، استان های گیلان و خوزستان دارای عملکردهای کمتر از دو تن در هکتار هستند. باید توجه داشت که عملکرد ژنوتیپ های لوبیا با توجه به محیط کشت متفاوت است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می تواند باعث شود که ژنوتیپ هایی که در یک مکان عملکرد بالایی دارند، در سایر مکان ها به یک شکل عمل نکنند که این امر توصیه ارقام را برای محیط های مختلف محدود می کند (Ligarreto-Moreno & Pimentel, 2022). بنابراین انتظارات عملکرد لوبیا برای هر منطقه باید با توجه به پتانسیل های همان ناحیه تعریف شود. به جز شرایط محیطی، مدیریت های اعمال شده برای کشت نیز از دلایل تفاوت عملکرد در نواحی مختلف است که تا حد زیادی می توان نسبت به اصلاح آن اقدام نمود. مواد آلی خاک، کاربرد کودهای شیمیایی و آب در دسترس از جمله مهم ترین این عوامل مدیریتی محسوب می شوند (Dianatmanesh et al., 2022).



شکل ۱- میانگین عملکرد دانه لوبیا در یک دوره ۱۰ ساله در استان‌های مختلف ایران
Figure 1- Average bean seed yield over a ten-year period in different provinces of Iran



شکل ۲- شاخص عملکرد نسبی لوبیا در استان‌های مختلف ایران
Figure 2- Relative yield index of beans in different provinces of Iran

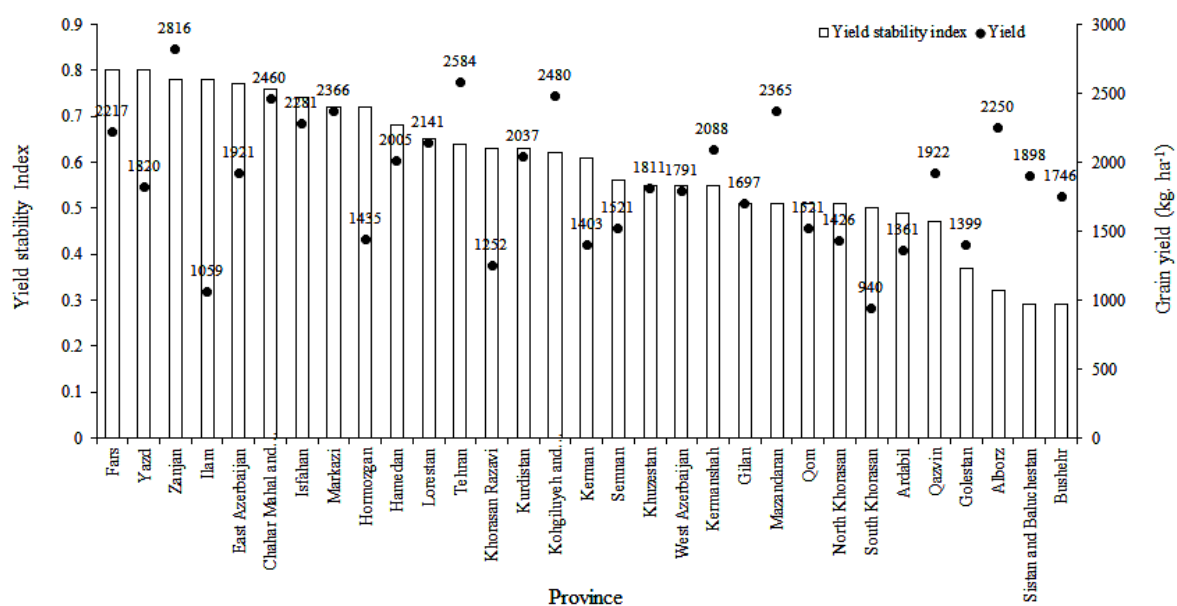
تولید از اهمیت بیشتری برخوردار است. استان‌هایی مثل فارس، زنجان، چهارمحال و بختیاری، اصفهان و مرکزی، عملکردهای لوبیایی بیش از دو تن در هکتار داشته و در عین حال شاخص پایداری

پایداری عملکرد
داشتن عملکرد بالا اگرچه در بسیاری از مواقع یک مزیت محسوب می‌شود، ولی حفظ این عملکرد در گذر زمان و ایجاد یک ثبات در

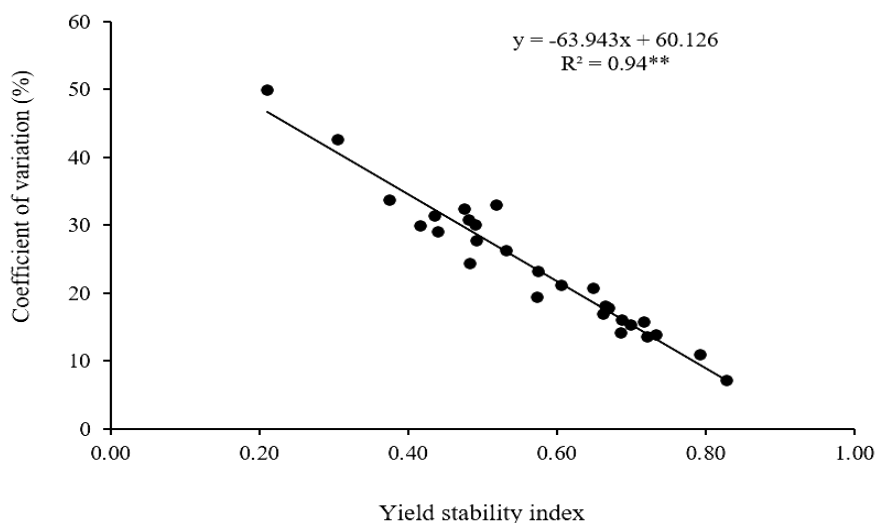
مختلف معرفی کرد. این مفهوم به‌ویژه در رابطه با کشت حبوبات اهمیت دارد، زیرا این محصولات نسبت به سایر محصولات پایداری عملکرد کمتری دارند (Reckling et al., 2021). در پژوهشی در مناطق مختلف هندوستان، شاخص پایداری عملکرد مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که این شاخص در برخی مناطق به‌علت کوددهی نامناسب بسیار پایین (۰/۰۷) و در مناطق دیگر با اجرای تناوب صحیح و مدیریت تغذیه از مقادیر بالایی (۰/۷۲ تا ۰/۹۱) برخوردار بود (Wanjari et al., 2004). باید توجه داشت که پایین بودن شاخص پایداری عملکرد به‌معنی افزایش خطر تولید آن محصول است (Macholdt et al., 2020).

در معادله مربوط به شاخص پایداری عملکرد از میانگین مربعات خطا استفاده شده است، به همین دلیل برخی پژوهشگران معتقدند که اطمینان لازم در رابطه با نتایج به‌دست‌آمده به این صورت وجود دارد (Taylor et al., 1999) با این‌وجود برای اطمینان از نتایج به‌دست‌آمده در رابطه با شاخص پایداری عملکرد، ارتباط این شاخص با ضریب تغییرات بررسی شد (شکل ۴). رابطه منفی معنی‌دار بین شاخص پایداری عملکرد و ضریب تغییرات مشاهده شد ($0/94^{**}$)، بنابراین استان‌هایی که شاخص پایداری عملکرد بالاتری داشتند، کمترین ضریب تغییرات را نیز تجربه کرده‌اند. در واقع، شاخص پایداری عملکرد مستقل از میانگین‌ها بوده است.

عملکرد در آن‌ها نیز بیش از ۰/۷ بود (شکل ۳). به تولید لوبیا در این استان‌ها در گذر زمان می‌توان اطمینان داشت. استان‌های همدان، لرستان، تهران، کردستان و کهگیلویه و بویراحمد با وجود عملکرد بیش از دو تن در هکتار با افت شاخص پایداری عملکرد به کمتر از ۰/۷ مواجه بودند. شاخص پایداری عملکرد در این استان‌ها دامنه‌ای از ۰/۶۲ تا ۰/۶۸ داشت و به نظر می‌رسد که با کمی اعمال مدیریت می‌توانند از پایداری عملکرد مناسبی نیز برخوردار باشند. عملکرد لوبیا در استان‌هایی مثل یزد، ایلام، آذربایجان شرقی و هرمزگان ۲-۱/۵ تن در هکتار بود، ولی پایداری عملکرد در آن‌ها هنوز بیش از ۰/۷ بود. این مطلب بیانگر آن است که سطح متوسطی از عملکرد با پایداری نسبتاً بالا در گذر زمان حفظ شده است. این استان‌ها باید اقدامات اساسی‌تری برای افزایش عملکرد نسبت به گروه قبل انجام دهند. مابقی استان‌های کشور با داشتن عملکرد بیش از ۱/۵ تن در هکتار (سمنان، خوزستان، آذربایجان غربی، گیلان و قم) و یا کمتر از ۱/۵ تن در هکتار شاخص پایداری عملکرد کمتر از ۰/۶ داشتند که ریشه‌یابی عدم پایداری نیاز به بررسی همه‌جانبه (اقلیمی و مدیریتی) دارد. در حقیقت، شاخص پایداری عملکرد، عملکرد سالانه‌ای را که به‌طور معقولی به روند عملکرد در یک دوره زمانی معین نزدیک است، کمی‌سازی می‌کند (Bacsi & Hollósy, 2019). این کمیت به تعیین راهکارهای مدیریتی برای بهبود تولید کمک می‌کند. به این صورت، پایداری را می‌توان به‌عنوان ثبات خروجی‌های کشاورزی به‌ویژه عملکرد، در دوره‌های زمانی طولانی یا در محیط‌های مکانی



شکل ۳- شاخص پایداری عملکرد لوبیا در استان‌های مختلف ایران
Figure 3- Yield stability index of beans in different provinces of Iran



شکل ۴- رابطه بین شاخص پایداری عملکرد و ضریب تغییرات

Figure 4- Relationship between yield stability index and coefficient of variation

کپکلیویه و بویراحمد، گیلان و مازندران عددی بیش از دو و در مابقی استان‌ها کمتر از یک بود (جدول ۱). این مطلب بیانگر آن است که در بسیاری از استان‌های کشور، اقدامات انجام‌شده در زمینه افزایش عملکرد لوبیا هنوز نتوانسته است که جایگاه واقعی خود را کسب نماید. در بسیاری از کشورها، اطلاعات مربوط به شاخص مزیت نسبی کارآیی در یک دوره زمانی به‌عنوان مبنای علمی برای سیاست‌گذاری‌های تولید در نظر گرفته‌شده و منابع موجود، سطح علمی و فناوری و سرمایه‌گذاری منطقه، شیوه سازمان‌دهی محلی تولید و کیفیت کارکنان از عوامل تأثیرگذار بر این شاخص محسوب می‌شوند (Ferrero et al., 2018). البته گاهی سیاست‌های کلان یک کشور می‌توانند اثرات ژرف بر شاخص‌های مزیت نسبی داشته باشند. به‌عنوان مثال، اجرای سیاست‌های درهای باز^۳ در چین موجب تغییرات مثبت اساسی در شاخص‌های مزیت نسبی در استان‌های این کشور شد (Wang et al., 2020). پژوهشی در خراسان نشان داد که از نظر مزیت نسبی گندم دیم، جو آبی، برنج، گندم آبی، عدس دیم (*Lens culinaris Medik*) و نخود دیم در رتبه‌های اول تا ششم قرار گرفته‌اند. در این پژوهش، لوبیا قرمز آبی (*Phaseolus vulgaris* L.) فاقد مزیت نسبی برای تولید بود. پایین بودن عملکرد و هزینه‌های زیاد دلایلی بود که باعث عدم مزیت نسبی این محصول شده بود (Shahnoushi Froshani et al., 2007). به این نکته نیز باید توجه داشت که مزیت نسبی تولید محصولات زراعی با معادله‌های متعددی مورد سنجش قرار می‌گیرد و ممکن است نتایج متفاوتی نیز به دست آید.

مزیت نسبی (سطح، عملکرد و تجمعی)

از میان استان‌های کشور، استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، کپکلیویه و بویراحمد، لرستان و مرکزی به‌ترتیب با شاخص مزیت نسبی سطح ۶/۶۷، ۲/۴۹، ۱/۱، ۶/۸۵ و ۴/۷۳ بالاترین اعداد را به خود اختصاص دادند و در مابقی استان‌ها این عدد پایین‌تر از یک بود (جدول ۱). این مطلب بیانگر آن است که در تعداد محدودی از استان‌های کشور، لوبیا سهم قابل توجهی از سطح محصولات زراعی منطقه خود را به خود اختصاص دادند. در پژوهشی در تگزاس، شاخص مزیت نسبی سطح محصول پنبه عدد ۶/۷۸ را به خود اختصاص داد، درحالی‌که این عدد برای ذرت کمتر از ۰/۳۵ بود. گاهی این شاخص به‌عنوان شاخص مزیت نسبی مقیاس^۱ نیز نامیده می‌شود (Yang et al., 2019). در پژوهش دیگری در چین مشخص شد که علاوه‌بر مناطق سنتی تولیدکننده سویا که مزیت نسبی سطح کمتری داشتند، برخی از مناطق تولیدی که در ابتدا دارای مزیت نسبی بودند، پس از سال ۲۰۰۰ میلادی به مکان‌های نامطلوب سقوط کرده‌اند. در مناطق تولید دارای مزیت نسبی، سطح کشت به‌صورت نسبتاً متمرکز توزیع شده، درحالی‌که مناطق تولیدی دارای کمترین مزیت نسبی نسبتاً پراکنده بودند (Wang et al., 2020).

شاخص مزیت نسبی عملکرد که گاهی از آن به‌عنوان شاخص مزیت نسبی کارآیی^۲ نیز یاد می‌شود در استان‌های چهارمحال و بختیاری، زنجان، خراسان شمالی، فارس، قم، کردستان، گلستان، لرستان و مرکزی کمی بیش از عدد یک است و در سه استان

1-Scale Advantage Index

2- Efficiency Advantage Index

جدول ۱- مزیت نسبی سطح، مزیت نسبی عملکرد و مزیت نسبی تجمعی لوبیا در استان‌های مختلف ایران
 Table 1- Area comparative advantage, yield comparative advantage, and cumulative comparative advantage of beans in different provinces of Iran

نام استان Province name	مزیت نسبی سطح Comparative advantage of surface	مزیت نسبی عملکرد Comparative advantage of yield	مزیت نسبی تجمعی Cumulative comparative advantage
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	0.881	1.3	1.05
آذربایجان غربی West Azerbaijan	0.199	0.796	0.386
اردبیل Ardabil	0.637	0.803	0.697
اصفهان Isfahan	0.873	0.816	0.829
البرز Alborz	0.158	0.474	0.248
ایلام Ilam	0.093	0.82	0.267
بوشهر Bushehr	0.004	0.191	0.023
تهران Tehran	0.021	0.661	0.101
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	0.046	1.23	2.16
خراسان جنوبی South Khorasan	0.084	0.66	0.162
خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.89	0.67	0.236
خراسان شمالی North Khorasan	0.791	1.13	0.974
خوزستان Khuzestan	6.67	0.647	0.689
زنجان Zanjan	0.245	1.18	2.76
سمنان Semnan	0.015	0.75	0.4
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	2.49	0.736	0.102
فارس Fars	0.289	1.01	1.58
قزوین Ghazvin	0.053	0.65	0.418
قم Ghom	0.046	1.08	0.225
کردستان Kurdistan	0.335	1.024	0.575
کرمان Kerman	0.286	0.548	0.369
کرمانشاه Kermanshah	0.083	0.943	0.238

نام استان Province name	مزیت نسبی سطح Comparative advantage of surface	مزیت نسبی عملکرد Comparative advantage of yield	مزیت نسبی تجمعی Cumulative comparative advantage
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	1.1	2.36	1.55
گلستان Golestan	0.125	1.13	0.364
گیلان Gilan	0.218	2.09	0.595
لرستان Lorestan	6.85	1.07	2.7
مازندران Mazandaran	0.173	2.02	0.557
مرکزی Markazi	4.73	1.51	2.65
هرمزگان Hormozgan	0.046	0.088	0.06
همدان Hamedan	0.302	0.843	0.478
یزد Yazd	0.15	0.608	0.282

نسبی به‌عنوان شاخصی برای تخصیص منابع و استفاده بهینه از آن‌ها پیشنهاد شد (Zhong et al., 2001).

نتیجه‌گیری

داشتن آینده‌ای منطقی برای تولید محصولات زراعی منوط به داشتن تحلیل صحیح از گذشته این محصولات است. رصد عملکرد، عملکرد نسبی، پایداری عملکرد و مزیت نسبی تولید از جمله ابزار تحلیل گذشته محصولات است. در طول یک دهه کشت لوبیا در کشور از میان ۳۱ استان تولیدکننده لوبیا، دامنه عملکرد دانه لوبیا از ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار در خراسان جنوبی تا ۲۸۱۶ کیلوگرم در هکتار در زنجان در نوسان بوده است، با این وجود، هنوز ۵۸ درصد از استان‌های تولیدکننده عملکرد کمتر از دو تن در هکتار دارند. عملکرد نسبی لوبیا در ۱۵ استان کشور بیش از ۱۰۰ بوده است. از دید پایداری عملکرد فقط ۱۶ درصد از استان‌های تولیدکننده لوبیا هم عملکرد بیش از دو تن در هکتار داشته‌اند و هم این عملکرد را در گذر زمان به‌صورت پایدار نگه‌داشته‌اند، بنابراین نوسانات عملکرد در اکثر استان‌های تولیدکننده بالا بوده است. از دید مزیت نسبی سطح صرفاً پنج استان دارای مزیت نسبی بودند و در این استان‌ها سطح قابل توجهی از کشت به محصول لوبیا اختصاص داده شده است. مزیت نسبی عملکرد در نه استان بیش از یک و در سه استان بیش از دو بوده است. اگر سطح و عملکرد هر دو مبنای مزیت نسبی قرار گیرند (مزیت نسبی تجمعی)، استان‌های آذربایجان شرقی، چهارمحال و

مزیت نسبی تجمعی کشت لوبیا در کشور نشان داد که استان‌های آذربایجان شرقی، چهارمحال و بختیاری، زنجان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و مرکزی دارای مزیت نسبی تجمعی برای کشت لوبیا بودند (جدول ۱). البته باید به این نکته توجه نمود که آمار لوبیا در کشور به‌صورت مجموع بوده و تفکیکی برای انواع لوبیا (قرمز، سفید و چیتی) ارائه نمی‌شود. چه بسا در برخی از استان‌ها بعضی از انواع لوبیا دارای مزیت نسبی کشت باشند. پژوهشی در استان مرکزی نشان داد که کشت انواع لوبیا در این استان دارای مزیت نسبی تجمعی بوده، ولی درآمد خالص کشت لوبیاچیتی نسبت به انواع لوبیا قرمز و لوبیا سفید بیشتر بوده است (Einolahi & Kalaei, 2011). در پژوهش دیگری در استان لرستان، کشت لوبیا قرمز و چیتی دارای مزیت نسبی تجمعی بالایی بود. در این پژوهش اشاره شده است که تحقق مزیت نسبی در گرو الزامات فناورانه، بوم‌شناختی، انسانی، مدیریتی و سیاسی است و کشورها در جهت حفظ مزیت نسبی محصولات کشاورزی خود باید به پیشرفت فناوری توجه ویژه داشته باشند (Rahmati et al., 2019). پژوهشی در چین در رابطه با ۱۴ استان این کشور برای اندازه‌گیری مزیت نسبی سطح، مزیت نسبی عملکرد و مزیت نسبی تجمعی انجام شد و نتایج نشان داد که از نظر مزیت نسبی سطح شش استان، از نظر مزیت نسبی عملکرد ۱۰ استان و از نظر مزیت نسبی تجمعی نه استان دارای مزیت نسبی بودند. مزیت‌های نسبی گزارش شده برای سایر محصولات زراعی کاملاً متفاوت بود. در این بررسی، داشتن مزیت

وارد می شود. امید است که با تولید آمار تفکیک شده تصویر روشن تری از تولید انواع لوبیا در کشور حاصل گردد.

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می دانند که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان برای همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

بختیاری، زنجان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و مرکزی دارای چنین مزیتی برای کشت لوبیا هستند. با توجه به نتایج به دست آمده، نقاط ضعف و قوت تولید لوبیا در هر استان ویژه همان استان بوده و از طریق شاخص های مطرح شده در این مقاله قابل ردیابی است. لازم به ذکر است که متاسفانه در کشور ایران آمار تفکیک شده ای از عملکرد و سطوح زیر کشت انواع لوبیا (قرمز، سفید، چیتی) وجود ندارد و حتی آمار لوبیا چشم بلبلی در بخش سایر حبوبات

References

- Bacsi, Z., & Hollósy, Z. (2019). The yield stability index reloaded—the assessment of the stability of crop production technology. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(4), 319-331. <https://hrcak.srce.hr/228921>
- Calderini, D. F., & Slafer, G. A. (1998). Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research*, 57(3), 335-347. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00080-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00080-X)
- Dianatmanesh, M., Kazemeini, S. A., Bahrani, M. J., Shakeri, E., Alinia, M., Amjad, S. F., Mansoor, N., Pocza, P., Lalarukh, I., Abbas, M. H., & Abdelhafez, A. A. (2022). Yield and yield components of common bean as influenced by wheat residue and nitrogen rates under water deficit conditions. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102549. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102549>
- Einolahi, M., & Kalaei, A. (2011). Studying the comparative advantage of bean production in Markazi Province. *Journal of Agricultural Research*, 92, 63-72. (In Persian).
- FAO. (2026). FAOSTAT, Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Ferrero, R., Lima, M., & Gonzalez-Andujar, J. L. (2018). Crop production structure and stability under climate change in South America. *Annals of Applied Biology*, 172(1), 65-73. <https://doi.org/10.1111/aab.12402>
- Fischer, R. A. (2015). Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Field Crops Research*, 182, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.006>
- Jalali, A. H., Daneshian, J., Hassanpanah, D., Darabi, A., & Salehi, F. (2026). The potentials and challenges of producing potatoes, onions, tomatoes, and irrigated pulses in the national's cropping pattern program. Seed and Plant Improvement Research Institute (SPII). Final Research Report, 152 pp. (In Persian).
- Jamini, D., Vafaie, F., & Dehghani, A. (2026). Identifying the poles of production of high consumption strategic agricultural products in Iran. *Consumer Behavior Studies Journal*, 12(3), 1-22. (In Persian).
- Ligarreto-Moreno, G., & Pimentel-Ladino, C. (2022). Grain yield and genotype x environment interaction in bean cultivars with different growth habits. *Plant Production Science*, 25(2), 232-241. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2021.1981141>
- Macholdt, J., Styczen, M. E., Macdonald, A., Piepho, H. P., & Honermeier, B. (2020). Long-term analysis from a cropping system perspective: yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley. *European Journal of Agronomy*, 117, 126056. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126056>
- Moemeni, S., & Zibaei, M. (2013). Potential impacts of climate change on agriculture in Fars province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 27, 169-179. <https://doi.org/10.22067/jead2.v0i0.29418>
- Mostafavi, M. J., Hooshmand, M., & Nassiri Mahallati, M. (2020). Evaluation of the long-term trend and yield stability of pulse crops in Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 11, 196-214. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.77599>
- Otun, I. A., & Akpaeti, A. J. (2016). Identification of efficient cropping zones for cassava production in Nigeria. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 8(2), 1-7. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2016/26821>
- Pal, S., & Sahu, P. K. (2008). On assessment of sustainability of crops and cropping system—some new measures. *Journal of sustainable agriculture*, 31(3), 43-54. https://doi.org/10.1300/J064v31n03_05
- Piepho, H. P. (1998). Methods for comparing the yield stability of cropping systems. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 180(4), 193-213. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1998.tb00526.x>
- Rahmani, R. (2006). Studying the comparative advantage of agricultural products in Khuzestan province. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 2, 141-150. (In Persian).

- Rahmati, M., Pahlevani, R., & Rashno, Z. (2019). Evaluation and determination of the comparative advantage of legumes in Lorestan province. *Dryland Legumes Extension Journal*, 2(1), 41-51. (In Persian).
- Reckling, M., Ahrends, H., Chen, T. W., Eugster, W., Hadasch, S., Knapp, S., Laidig, F., Linstädter, A., Macholdt, J., Piepho, H. P., & Schiffrers, K. (2021) Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00681-4>
- Saeidifar, A. (2013). Determining the comparative advantage of agricultural and horticultural products in the country's provinces. *Economic Journal*, 13, 47-64.
- Shahnoushi Froshani, N., Ghrbani, M., Dehghanian, S., & Azarinfar, Y. (2007). Comparative advantage analysis of cereals and legumes in Khorasan province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 4, 19-1. (In Persian).
- Sinclair, T. R., & Vadez, V. (2012). The future of grain legumes in cropping systems. *Crop & Pasture Science*, 63(6), 501-512. <https://doi.org/10.1071/CP12128>
- Taheri, M., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., Abbasi, F., & Baghani, J. (2020). Spatial analysis of water productivity index at major wheat production centers of Iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(2), 217-227. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122259>
- Taylor, S. L., Payton, M. E., & Raun, W. R. (1999). Relationship between mean yield, coefficient of variation, mean square error, and plot size in wheat field experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(9-10), 1439-1447. <https://doi.org/10.1080/00103629909370298>
- Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D., & Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability, and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 15. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>
- Wang, Y., Xu, S., Li, G., & Wang, S. (2020). August. Study on comparison of the advantages of different soybean producing areas in China from a temporal and spatial perspective. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1592(1), 012073. IOP Publishing.
- Wanjari, R. H., Singh, M. V., & Ghosh, P. K. (2004). Sustainable yield index: An approach to evaluate the sustainability of long-term intensive cropping systems in India. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(4), 39-56. https://doi.org/10.1300/J064v24n04_05
- Yang, Z., Yu, M., & Lovell, A. (2019). Economics of comparative advantage: Evidence from upland cotton production in Texas in 1997-2016. *Texas Journal of Agriculture and Natural Resources*, 32, 1-11.
- Zhang, L., Yuan, J., Zhang, M., Zhang, Y., Wang, L., & Li, J. (2022). Long term effects of crop rotation and fertilization on crop yield stability in southeast China. *Scientific Reports*, 12(1), 14234. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17675-1>
- Zhong, F., Xu, Z., & Fu, L. (2001). Regional Comparative Advantage in China's Main Grain Crops. Australian National University. 19 pp. <https://openresearch-repository.anu.edu.au/items/767346dc-6c50-4a0e-8445-881f6168dfa6>



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.99333.1138>

Effect of Humic Acid Application on Morphological Traits, Yield Components, and Seed Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Cultivars

Sajjad Rahimi¹, Khosro Azizi^{1*}, Sajjad Rahimi-Moghadam¹

Received: 16 June 2026

Revised: 18 August 2026

Accepted: 23 August 2026

Available Online: 23 August 2026

Cite this article:

Rahimi, S., Azizi, K., & Rahimi-Moghadam, S. (2026). Effect of humic acid application on morphological traits, yield components, and seed yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 163-176. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.99333.1138>

Introduction

Mung bean (*Vigna radiata* L.) is a valuable legume crop whose seeds contain approximately 22-25% protein, 51% carbohydrates, 10% moisture, 4% minerals (including magnesium, potassium, manganese, copper, and zinc), 3% vitamins (particularly B-complex vitamins) as well as dietary fiber and antioxidants. As a member of the Fabaceae (legume) family, mung bean serves as an important source of plant-based protein in the human diet. It is also one of the legume crops well adapted to the climatic conditions of Iran. Humic acid is recognized as an environmentally friendly organic fertilizer enhancing plant growth and improving soil fertility. Evaluating the quantitative and morphological traits of local mung bean populations facilitates the identification of genetically diverse cultivars with superior agronomic performance, thereby supporting crop improvement and sustainable agricultural production. Therefore, the current research was conducted to investigate the effects of foliar application of different concentrations of humic acid on the quantitative and morphological characteristics of mung bean cultivars.

Materials and Methods

The experiment was carried out at the research farm of Lorestan University, Khorramabad, Iran, using a factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental factors consisted of three mung bean cultivars: Arteshi (primary landrace; C₁), Malek (secondary landrace; C₂), and Omrani (breeding cultivar; C₃), as well as three levels of humic acid: 0 mg.L⁻¹ (control, distilled water only; F₁), 50 mg.L⁻¹; F₂), and 100 mg.L⁻¹; F₃). Sowing was carried out during the summer growing season on July 11. All crop management practices, including weeding and other field operations, were performed manually. Humic acid treatments were applied as foliar sprays at two growth stages: branching and flowering. Leaf nitrogen content was determined using the Kjeldahl method. Statistical analyses were performed using SAS software (version 9.4), and treatment means were compared using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level. Furthermore, the relationships among the traits were evaluated using simple Pearson's correlation coefficients, and path analysis based on the correlation coefficients was performed to determine the direct and indirect effects of the traits associated with seed yield.

Results and Discussion

The analysis of variance indicated that cultivar had a significant effect ($P < 0.01$) on most of the evaluated traits, including the number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, pod length, plant height, height of the first branch above the soil surface, and biological yield. Furthermore, the interaction between cultivar and humic acid treatment was significant ($p < 0.01$) for some of the studied traits such as pod dry weight, biological yield, seed yield, and harvest index. The highest biological yield (3.2 t.ha⁻¹) was recorded in the Malek cultivar (secondary landrace) treated with 50 mg.L⁻¹ humic acid. In contrast, the highest seed yield (2.4 t.ha⁻¹) was obtained from the Omrani cultivar (breeding cultivar) treated with 100 mg.L⁻¹ humic acid. Analysis of the main effects also indicated that the Omrani cultivar outperformed the other cultivars in terms of yield components. In addition, foliar application of 100 mg.L⁻¹ humic acid increased leaf nitrogen content, 1000-seed weight, and the number of branches per plant. Overall, humic acid application exerted different effects on the evaluated mung bean cultivars, particularly with respect to the number of branches per plant, 1000-seed weight, and other traits probably through improving soil structure and its chelating properties, thereby enhancing nitrogen and phosphorus uptake.

1- Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

* Corresponding Author: azizi.kh@lu.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Conclusions

The results demonstrated that genetic differences among mung bean cultivars significantly influenced growth, yield, and most of the measured traits. The response to humic acid was also cultivar-dependent, with significant improvements observed in several quantitative traits. Among the evaluated cultivars, the breeding cultivar (Omrani) showed superior performance in seed yield, 1000-seed weight, and plant height. Overall, the combined use of an appropriate cultivar and the optimum humic acid concentration enhanced plant growth and productivity. Therefore, foliar application of 100 mg.L⁻¹ humic acid is recommended for the Omrani cultivar to maximize yield, whereas 50 mg.L⁻¹ is more suitable for the local landraces.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to Lorestan University for its financial support and provision of laboratory facilities for conducting this research as part of the requirements for the completion of the Master's thesis.

Keywords: Landrace, Leaf nitrogen percentage, Organic fertilizers, Plant nutrition



اثر کاربرد اسید هیومیک بر صفات ریخت‌شناختی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام ماش (*Vigna radiata* L.)

سجاد رحیمی^۱، خسرو عزیزی^{۱*}، سجاد رحیمی مقدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۱

چکیده

ماش (*Vigna radiata* L.) با ارزش غذایی بالا و توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، گیاه زراعی مهمی محسوب می‌شود. به نظر می‌رسد که ارقام مختلف ماش در پاسخ به سطوح متفاوت اسید هیومیک، واکنش متفاوتی نشان دهند. بر این اساس، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در شهرستان خرم آباد برای بررسی واکنش ارقام ماش به کاربرد اسید هیومیک انجام شد. تیمارها شامل ارقام مختلف ماش: توده بومی اولیه ارتشی (C_1)، توده بومی ثانویه ملک (C_2) و عمرانی (C_3) و سطوح اسید هیومیک شاهد صفر (آب خالص) (F_1)، ۵۰ (F_2) و ۱۰۰ (F_3) میلی گرم در لیتر بودند. مقادیر مصرف اسید هیومیک در دو مرحله شاخه‌دهی و گل‌دهی استفاده شدند. نتایج نشان داد که اثر متقابل ارقام و اسید هیومیک بر صفات عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن خشک غلاف در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد زیستی معادل ۳/۲ تن در هکتار از توده بومی ثانویه ملک با ۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد. ولی از نظر عملکرد دانه رقم عمرانی همراه با کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک بیشترین عملکرد دانه (۲/۴ تن در هکتار) را داشت. احتمالاً کاربرد اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک و خاصیت کلات‌کنندگی، جذب نیتروژن و فسفر را توسط ریشه‌ها به حداکثر می‌رساند و باعث بهبود رشد و عملکرد ماش می‌شود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که رقم عمرانی از نظر رشد و عملکرد برتری داشت و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک نیز موجب بهبود برخی صفات عملکردی آن شد. بنابراین، انتخاب رقم مناسب همراه با مصرف بهینه اسید هیومیک می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش عملکرد ماش باشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه گیاه، توده بومی، درصد نیتروژن برگ، کودهای آلی

مقدمه

ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفات زراعی و عملکردی فراهم کند. بنابراین، شناسایی و ارزیابی توده‌های محلی از نظر صفات کمی و کیفی، علاوه بر شناخت ظرفیت ژنتیکی موجود، می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های مناسب برای برنامه‌های اصلاحی و به‌زراعی ماش مؤثر باشد.

با وجود اهمیت تغذیه‌ای و زراعی ماش، دستیابی به عملکرد مطلوب این گیاه به تأمین مناسب عناصر غذایی و فراهم بودن شرایط مناسب رشد وابسته است. در این زمینه، استفاده از منابع آلی و زیستی به‌عنوان بخشی از راهکارهای کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. کودهای آلی می‌توانند با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش نگهداری آب و فراهمی عناصر غذایی، شرایط رشد گیاه را بهبود دهند. همچنین گزارش شده است که استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌تواند عملکرد کمی و کیفی ماش را به‌ویژه در شرایط تنش خشکی افزایش دهد (Sadeghi Kochsafhani et al., 2024). ازاین‌رو، این نهاده‌ها می‌توانند علاوه بر تأمین بخشی از نیاز غذایی

حبوبات از جمله مهم‌ترین گروه‌های گیاهان زراعی هستند که به‌دلیل دارا بودن پروتئین، کربوهیدرات، مواد معدنی و فیبر غذایی، نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی انسان ایفا می‌کنند. در بین حبوبات، ماش سبز (*Vigna radiata* L.) به‌دلیل دوره رشد نسبتاً کوتاه، سازگاری با شرایط اقلیمی گرم و خشک، قابلیت استفاده در تناوب‌های زراعی و ارزش تغذیه‌ای مطلوب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دانه ماش از نظر پروتئین غنی است و پروتئین آن عمده‌تاً از گلوبولین تشکیل شده است. ازاین‌رو، این گیاه می‌تواند یکی از منابع مهم پروتئین گیاهی در رژیم غذایی انسان باشد (Rezapourian Ghahfarkhi et al., 2020; Huang et al., 2024). مرورهای جدید نیز ظرفیت بالای پروتئین ماش را برای استفاده به‌عنوان جایگزین پروتئین حیوانی و توسعه محصولات غذایی پایدار تأیید کرده‌اند (Huang et al., 2024). از سوی دیگر، وجود تنوع ژنتیکی در توده‌ها و ارقام ماش می‌تواند زمینه مناسبی برای شناسایی

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

(*- نویسنده مسئول: azizi.kh@lu.ac.ir)

گیاه، به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی در جهت افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Fatemi Devin et al., 2021).

در بین نهاده‌های آلی، اسید هیومیک به‌عنوان یکی از اجزای مهم مواد هیومیکی و یک محرک رشد گیاهی، مورد توجه قرار گرفته است. اثر اسید هیومیک صرفاً به تأمین عناصر غذایی محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند از طریق افزایش جذب و انتقال عناصر، تحریک فعالیت‌های متابولیکی، اثر بر رشد ریشه و بهبود برخی فرآیندهای فیزیولوژیک، رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. گزارش شده است که اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشاء و تسهیل جذب برخی عناصر غذایی از جمله پتاسیم، و نیز از طریق اثر بر فعالیت‌های سلولی و فتوسنتزی، می‌تواند رشد و توسعه گیاه را تحریک کند (Suhag, 2016). بنابراین، انتظار می‌رود که اثر اسید هیومیک تابعی از مقدار مصرف، زمان و روش کاربرد، شرایط محیطی و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه باشد، موضوعی که بررسی پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف را ضروری می‌سازد.

شواهد پژوهشی نیز از اثرگذاری اسید هیومیک بر صفات رشد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی ماش حمایت می‌کنند. گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک همراه با نانوکلات پتاسیم بر تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، شاخص کلروفیل و درصد پروتئین دانه ماش اثر معنی‌دار داشت و اثر متقابل این دو نهاده نیز بر وزن ۱۰۰ دانه، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه و عملکرد زیستی معنی‌دار بود (Hosseini Nik et al., 2022). در لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) نیز افزایش مقدار اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، درصد پروتئین و میزان برخی عناصر غذایی از جمله پتاسیم و منگنز شد (Kahraman, 2017). همچنین گزارش شده است که کودهای آلی و زیستی می‌توانند به‌عنوان مکمل کودهای شیمیایی، رشد و فرآیندهای فیزیولوژیک ماش را بهبود دهند (Rezapourian Ghahfarkhi et al., 2020). افزایش کلروفیل *a* و وزن هزار دانه ماش در اثر کاربرد اسید هیومیک، به‌ویژه در شرایط آبیاری کامل گزارش شده است (Haghshenas et al., 2025). در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که اسید هیومیک ظرفیت بهبود رشد و تولید ماش را دارد، اما مقدار پاسخ می‌تواند تحت تأثیر شرایط آزمایش و زمینه ژنتیکی گیاه قرار گیرد.

اهمیت تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ به اسید هیومیک در مطالعات جدید نیز مورد تأکید قرار گرفته است. در دو آزمایش مزرعه‌ای روی پنج ژنوتیپ ماش در شرایط خاک‌های تازه احیا شده مصر نشان داده شده که کاربرد برگی اسید هیومیک در سطوح ۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌لیتر در لیتر موجب بهبود صفات رشد، اجزای عملکرد و کیفیت غذایی شد و پاسخ ژنوتیپ‌ها به تیمارها یکسان نبود (Sabra

et al., 2026). این یافته نشان می‌دهد که توصیه یک سطح ثابت از اسید هیومیک برای همه ژنوتیپ‌های ماش ممکن است بهینه نباشد و شناسایی پاسخ ژنوتیپ‌های بومی در شرایط هدف می‌تواند اهمیت کاربردی داشته باشد.

با وجود این شواهد، هنوز نمی‌توان نتایج حاصل از ژنوتیپ‌ها و شرایط محیطی متفاوت را به‌طور مستقیم به توده‌های بومی ماش در شرایط لرستان تعمیم داد. اطلاعات درباره واکنش توده‌های بومی مورد استفاده در این منطقه به سطوح مختلف اسید هیومیک، به‌ویژه از نظر برهم‌کنش ژنوتیپ و سطح مصرف، محدود است. این خلأ از آن جهت اهمیت دارد که اگر توده‌ها پاسخ متفاوتی به اسید هیومیک نشان دهند، تعیین یک سطح مصرف واحد بدون در نظر گرفتن زمینه ژنتیکی می‌تواند موجب مصرف غیرکارآمد نهاده شود. از این‌رو، بررسی هم‌زمان توده‌های مختلف ماش و سطوح متفاوت اسید هیومیک می‌تواند به شناسایی ترکیب مناسب ژنوتیپ و سطح مصرف و در نتیجه افزایش کارایی مصرف این نهاده کمک کند. افزون‌بر این، افزایش عملکرد زیست‌توده در اثر کاربرد اسید هیومیک به تحریک رشد گیاه، افزایش فعالیت آنزیم‌ها، بهبود جذب عناصر غذایی و تغییر در نفوذپذیری غشاء و سنتز پروتئین‌ها نسبت داده شده است (Naeemi et al., 2025).

بنابراین، با توجه به اهمیت تغذیه‌ای و زراعی ماش، وجود تنوع ژنتیکی در توده‌های این گیاه و ضرورت استفاده کارآمد از نهاده‌های آلی، پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش سه توده ماش شامل توده بومی اولیه ارتشی، توده بومی ثانویه ملک و عمرانی به سطوح مختلف اسید هیومیک و تعیین اثرات اصلی و متقابل توده و اسید هیومیک بر صفات رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و برخی صفات کیفی ماش در شرایط شهرستان خرم‌آباد انجام شد. فرض بر این بود که توده‌های مختلف ماش در پاسخ به سطوح متفاوت اسید هیومیک واکنش یکسانی نداشته باشند و کاربرد اسید هیومیک، متناسب با زمینه ژنتیکی توده بتواند موجب بهبود صفات رشد، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ماش شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی تابستان سال ۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد (کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد- اندیمشک خوزستان) با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۲۵ متر از سطح دریا انجام شد. به‌منظور توصیف شرایط اقلیمی محل آزمایش، داده‌های هواشناسی شامل متوسط دمای کمینه و بیشینه، بارندگی تجمعی، تبخیر تجمعی، متوسط رطوبت

نسبی و بیشینه سرعت باد طی دوره اجرای آزمایش از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل آزمایش استخراج و در **جدول ۱** ارائه شد. با توجه به هدف پژوهش مبنی بر بررسی اثر مستقل توده ماش و سطوح اسید هیومیک و همچنین بررسی احتمال وجود برهم‌کنش بین این دو عامل، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل ارقام مختلف ماش: توده بومی اولیه ارتشی (C₁)، توده بومی ثانویه ملک (C₂) و رقم عمرانی (C₃) و سطوح مختلف اسید هیومیک شاهد صفر به‌صورت آب خالص (F₁)، ۵۰ (F₂) و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بودند. مقادیر مصرف اسید هیومیک در دو مرحله شاخه‌دهی و گل‌دهی استفاده شدند. سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک با توجه به دامنه غلظت‌های مورد استفاده در مطالعات پیشین محلول‌پاشی اسید هیومیک و با هدف بررسی پاسخ وابسته به غلظت و ارقام انتخاب شدند (Daneshvar Hakimi Maibodi et al., 2015; Sabra et al., 2026). رقم عمرانی از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و توده بومی ثانویه ملک و توده بومی اولیه ارتشی از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان خرم‌آباد تهیه گردید. پیش از کشت، قوه نامیه و خلوص بذور مورد بررسی قرار گرفت و از سلامت بذور اطمینان حاصل شد. تعداد کل کرت‌های آزمایش ۲۷ عدد بود. ابعاد هر کرت ۳×۴ متر شامل شش ردیف کاشت بود. کشت در تاریخ ۲۰ تیر ماه انجام شد. عملیات داشت به‌صورت دستی انجام گرفت. فاصله ردیف‌های کاشت ۵۰ سانتی‌متر، فاصله بین بوته‌ها روی ردیف کاشت ۱۰ سانتی‌متر، فاصله بین کرت‌ها یک متر و نیم و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. اسید هیومیک مورد استفاده با نام تجاری Magic Humic (مجیک) از شرکت سبز

گل سبزوآران تهیه گردید. براساس آنالیز درج‌شده در مشخصات فنی محصول، این کود حاوی ۴۲ درصد اسید هیومیک، شش درصد اسید فولویک، ۱۲ درصد پتاسیم محلول در آب، ۵۰ درصد ماده آلی و ۳۶ درصد کربن آلی بود.

محلول‌پاشی در زمان شاخه‌دهی و گل‌دهی و با استفاده از سم‌پاش پستی انجام شد. به‌منظور جلوگیری از پاشش و انتقال محلول اسید هیومیک به کرت‌های مجاور و در نتیجه جلوگیری از تداخل تیمارها، در زمان محلول‌پاشی، خط‌های کاشت مجاور با استفاده از پوشش سفره یک‌بارمصرف پوشانده شدند. مراحل رشدی گیاه براساس مقیاس BBCH^۱ مربوط به ماش تعیین و ثبت گردید. در هر مرحله، یک لیتر محلول نهایی برای هر کرت مصرف شد. تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر براساس مقدار کود تجاری Magic Humic در یک لیتر آب تهیه گردید؛ با توجه به دارا بودن ۴۲ درصد اسید هیومیک در این محصول، غلظت واقعی اسید هیومیک در محلول‌های مذکور به‌ترتیب ۲۱ و ۴۲ میلی‌گرم در لیتر بود. تیمار شاهد نیز با یک لیتر آب خالص در هر کرت اعمال شد.

طی فصل رشد، مواردی از آفات و بیماری مشاهده نشد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی طی فصل رشد انجام گردید. قبل از اجرای آزمایش، یک نمونه مرکب از چندین نقطه مرکز و چهار طرف زمین به‌طور تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی تعیین گردید (**جدول ۲**). براساس **جدول ۲**، تجزیه شیمیایی خاک به‌عنوان کود پایه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه (اوره) به‌عنوان کود پایه به کار برده شد.

جدول ۱- مشخصات هواشناسی محل آزمایش طی دوره اجرای آزمایش

Table 1- Meteorological characteristics of the experimental site during the experimental period

ماه Month	بارش تجمعی (میلی‌متر) Cumulative rainfall (mm)	متوسط دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Mean maximum temperature (°C)	متوسط دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Mean minimum temperature (°C)	تبخیر تجمعی (میلی‌متر) Cumulative evaporation (mm)	متوسط رطوبت نسبی (درصد) Mean relative humidity (%)	بیشینه سرعت باد (متر بر ثانیه) Maximum wind speed (m.s ⁻¹)
تیر July	0	36.6	17.35	342.2	8	10
مرداد August	0	40.4	18.94	350.5	8	9
شهریور September	0	37.0	14.42	299.7	8	11
مهر October	2.6	31.0	10.25	190.6	12	10

جدول ۲- مشخصات خاک محل آزمایش
Table 2- Soil characteristics of experiment site

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	رسی (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (قسمت در میلیون) K (ppm)	آهک (درصد) CaO (%)	ظرفیت آب خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (درصد حجمی) Soil water content at field capacity (%)	ظرفیت آب خاک در نقطه پژمردگی (درصد حجمی) Soil water content at wilting point (%)
0-30	لومی-رسی Silty clay	32	45	23	7.5	0.95	0.39	0.48	7	245	15	25.3	14.5

نتایج و بحث

تعداد شاخه جانبی در بوته

اثر ساده اسید هیومیک بر تعداد شاخه جانبی در بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. درحالی‌که اثر رقم و اثرات متقابل ارقام ماش و سطوح مختلف اسید هیومیک بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). در مقایسه میانگین تیمارها، بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته معادل ۴/۱ در اسید هیومیک با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. کمترین تعداد شاخه جانبی در بوته برابر ۳/۳ در اسید هیومیک با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۴). تعداد شاخه در بوته یکی از مهم‌ترین صفت مؤثر بر تشکیل عملکرد و اجزای آن تحت سطوح مختلف مصرف اسید هیومیک محسوب می‌شود. افزایش کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش تعداد شاخه فرعی گردید، این امر می‌تواند به دلیل اثرات هورمونی باشد که باعث بهبود جذب مواد غذایی و افزایش زیست‌توده ریشه و شاخساره می‌گردد، به‌طوری‌که در یک مطالعه مشخص شد که بیشترین تعداد شاخه فرعی با کاربرد شش کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک مشاهده گردید که افزایش ۳۴ درصدی صفت مذکور نسبت به شاهد (عدم کاربرد اسید هیومیک) را به همراه داشت (Haghshenas et al., 2025). اسید هیومیک حاوی ترکیباتی است که عملکردی شبیه به هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین‌ها و سیتوکینین‌ها دارند. این ترکیبات به‌طور مستقیم باعث تحریک سلول‌ها، فعال شدن جوانه‌های جانبی و تولید شاخه‌های جدید در گیاه می‌شوند. اسید هیومیک باعث گسترش حجم و طول ریشه‌ها می‌شود. ریشه قوی‌تر و وسیع‌تر، توانایی گیاه را برای جذب آب و مواد مغذی بالا می‌برد که این امر انرژی و مواد اولیه لازم برای تولید شاخه‌های جانبی را فراهم می‌کند (Abdollahi et al., 2024). نتایج این مطالعه با پژوهش‌های الزبیدی و همکاران (Al-Zubaidi et al.,

اندازه‌گیری درصد نیتروژن برگ با استفاده از روش کج‌دال انجام شد. در این روش، نمونه ابتدا هضم شده و سپس نیتروژن آن به آمونیاک تبدیل می‌شود و در نهایت با تیتراسیون، مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماش، پس از رسیدگی کامل محصول، برداشت از چهار ردیف میانی هر کرت با استفاده از کوادرات یک مترمربعی انجام شد. برای تعیین عملکرد زیستی، نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت توزین و عملکرد ماده خشک محاسبه گردید. عملکرد دانه نیز پس از جداسازی غلاف‌ها و توزین دانه‌ها در رطوبت ۱۰ درصد برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، وزن هزار دانه و سایر صفات اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت انتخاب و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. ارتفاع بوته و ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، در مرحله رسیدگی کامل با استفاده از خط‌کش مدرج و برحسب سانتی‌متر (میانگین ۱۰ بوته) اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی محاسبه گردید. داده‌های به‌دست‌آمده ابتدا در نرم‌افزار اکسل ثبت شد و سپس برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SAS ۹/۴ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی عامل‌های مختلف، تجزیه واریانس (ANOVA) انجام گردید و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل دامنه معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد استفاده شد. همچنین روابط بین صفات با استفاده از ضریب همبستگی ساده پیرسون بررسی گردید و به‌منظور تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم صفات مرتبط با عملکرد دانه، تحلیل مسیر (Path analysis) براساس ضرایب همبستگی انجام گرفت.

(2023) که نشان دادند کاربرد اسید هیومیک، تعداد شاخه جانبی در بوته، عملکرد و کیفیت ماش را به‌طور قابل توجهی افزایش داد، مطابقت دارد.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده رقم بر تعداد غلاف در بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد، درحالی‌که اثرات ساده تیمارهای اسید هیومیک و همچنین اثر متقابل رقم و اسید هیومیک بر این صفت معنی‌دار نشدند (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته معادل ۱۱/۷ از توده بومی اولیه ارتشی و کمترین تعداد غلاف در بوته معادل هفت غلاف در بوته از توده بومی ثانویه ملک به دست آمد (جدول ۵). اثر اسید هیومیک بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار نبود، درحالی‌که این تیمار برخی صفات دیگر از جمله تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و درصد نیتروژن برگ را تحت تأثیر قرار داد، بنابراین این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ صفات مختلف گیاه به کاربرد اسید هیومیک یکسان نیست. به نظر می‌رسد که در شرایط این آزمایش، تشکیل غلاف بیشتر تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی بین توده‌های مورد بررسی قرار گرفته و کاربرد اسید هیومیک توانسته است تغییر معنی‌داری در این جزء عملکرد ایجاد کند. از سوی دیگر، معنی‌دار شدن وزن هزار دانه و برخی صفات رشد (جدول ۴) نشان می‌دهد که پاسخ ماش به اسید هیومیک در این آزمایش بیشتر در صفات مرتبط با رشد رویشی و پُر شدن دانه بروز کرده است تا در تعداد غلاف در بوته. بنابراین، نمی‌توان اثر اسید هیومیک بر افزایش عملکرد را صرفاً به افزایش تعداد غلاف نسبت داد و برای تفسیر تغییرات عملکرد دانه باید سهم سایر اجزای عملکرد، به‌ویژه تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه نیز مورد توجه قرار گیرد.

وزن هزار دانه

اثرات ساده ارقام ماش و سطوح مختلف اسید هیومیک بر وزن هزار دانه به‌ترتیب در سطح یک درصد و پنج معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات ساده این دو عامل بر وزن هزار دانه نشان داد که رقم عمرانی با وزن هزار دانه معادل ۶۹/۷ گرم نسبت به سایر توده‌های بومی مورد آزمایش برتری داشت (جدول ۵) و در بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک نشان داده شد که بیشترین وزن هزار دانه برابر ۵۶/۷ گرم مربوط به مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود

(جدول ۴). احتمالاً کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ‌ها و به تعویق انداختن پیری آن‌ها شده و گیاه مدت زمان بیشتری فتوسنتز کرده و کربوهیدرات بیشتری را به سمت مخزن‌ها (غلاف و دانه‌ها) هدایت می‌کند. بنابراین افزایش تولید کربوهیدرات در برگ‌ها و سپس انتقال آن به مخزن موجب افزایش وزن دانه‌ها می‌شود (Abead et al., 2018). در مطالعه‌ای، کاربرد اسید هیومیک در غلظت نه گرم در لیتر با داشتن بالاترین میانگین وزن هزار دانه ۳۶/۲۰ گرم در مقایسه با عدم کوددهی که برابر ۳۱/۷۴ گرم بود، افزایش ۱۴/۰۵ درصدی نشان داد (Al-Zubaidi et al., 2023). کاربرد برگی اسیدهای آمینه و کاربرد خاکی اسید هیومیک بر صفات کمی ماش سبز مؤثر بود. بر این اساس، بیشترین ارتفاع بوته و سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن دانه با کاربرد هم‌زمان اسید آمینه و اسید هیومیک در شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد (Azimbakloo et al., 2026). برای داشتن بیشترین وزن هزار دانه در ماش، مصرف اسید هیومیک در مراحل حساس رشد زایشی مانند قبل از گل‌دهی و زمان گل‌دهی بسیار مؤثر است و گیاه در بهترین شرایط فیزیولوژیکی برای انتقال مواد غذایی به دانه قرار دارد (Haghshenas et al., 2025). در این تحقیق نیز اسید هیومیک در دو مرحله شاخه‌دهی و گل‌دهی استفاده شد که با نتایج حق شناس و همکاران (Haghshenas et al., 2025) مطابقت دارد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط اثر اصلی رقم بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین اثرات ساده رقم بر این صفت مشخص گردید که بیشترین ارتفاع برابر ۳۹/۹ سانتی‌متر در رقم عمرانی و کمترین آن معادل ۳۱/۱ سانتی‌متر در توده بومی اولیه ارتشی به دست آمد (جدول ۵). ارتفاع بیشتر رقم عمرانی احتمالاً ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام مورد بررسی و ویژگی‌های رشدی متفاوت آن‌ها است که با نتایج سایر مطالعات نیز هم‌خوانی دارد (Fazeli et al., 2022). با توجه به اینکه در پژوهش حاضر صفاتی مانند فتوسنتز، کلروفیل و جذب عناصر غذایی اندازه‌گیری نشدند، نمی‌توان افزایش ارتفاع بوته را به‌طور مستقیم به بهبود این فرآیندهای فیزیولوژیک نسبت داد. با این حال، گزارش شده است که پاسخ صفات رشدی ماش می‌تواند تحت تأثیر تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام قرار گیرد (Fazeli et al., 2022).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در گیاه ماش

Table 3- Variance analysis of evaluated traits in mung bean plant													
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000- seed weight	طول غلاف Pod length	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک First branch height from soil level	وزن خشک غلاف Pod dry weight	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد نیتروژن برگ Leaf nitrogen percentage
تکرار Replication	2	0.18 ^{ns}	0.22 ^{ns}	5.4 ^{ns}	74.4 ^{ns}	0.46 ^{ns}	13.5 ^{ns}	5.1 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.001 ^{ns}	7.09 ^{ns}	0.0008 ^{ns}
رقم Cultivar	2	1.09 ^{ns}	54 ^{**}	11.4 [*]	3141.2 ^{**}	6.9 [*]	187.9 [*]	36.4 ^{**}	0.005 ^{ns}	0.54 ^{**}	0.01 ^{ns}	45.2 ^{ns}	0.03 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid	2	1.93 [*]	1.8 ^{ns}	5.4 ^{ns}	145.6 [*]	0.42 ^{ns}	37.4 ^{ns}	29.1 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.5 ^{**}	0.07 ^{**}	2.1 ^{ns}	0.08 [*]
رقم × اسید هیومیک Cultivar × humic acid	4	0.67 ^{ns}	1.5 ^{ns}	3.1 ^{ns}	25.1 ^{ns}	3.2 ^{ns}	54.2 ^{ns}	11.6 ^{ns}	0.014 [*]	0.4 ^{**}	0.15 ^{**}	68.3 ^{**}	0.007 ^{ns}
خطا Error	16	0.38	1.28	1.2	33.8	1.6	32.8	8.2	0.003	0.05	0.007	12.9	0.012
ضرب تغییرات (درصد) C.V (%)		17.2	12.4	16.6	11	16.4	16.4	17.9	17.1	8.6	8.7	9.7	6.6

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی اسید هیومیک بر بعضی از صفات زراعی گیاه ماش و درصد نیتروژن برگ
Table 4- Mean comparison of the main effect of humic acid on some agronomic traits of mung bean plant and leaf nitrogen percentage

اسید هیومیک Humic acid	تعداد شاخه چاقی در بوته Number of branches per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	درصد نیتروژن برگ Leaf nitrogen percentage
شاهد (محلول پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	3.38 ^{b*}	48.6 ^b	1.6 ^b
۵۰ میلی گرم بر لیتر 50 mg L ⁻¹	4.1 ^a	53.2 ^{ab}	1.69 ^{ab}
۱۰۰ میلی گرم بر لیتر 100 mg L ⁻¹	3.3 ^b	56.7 ^a	1.79 ^a

* اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، بر اساس LSD اختلاف معنی دار ندارند.
* Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی رقم بر بعضی از صفات زراعی گیاه ماش

Table 5- Mean comparison of the main effect of cultivar on some agronomic traits of mung bean plant

رقم Cultivar	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	طول غلاف (سانتی‌متر) Pod length (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک (سانتی‌متر) First branch height from soil level (cm)
توده بومی اولیه ارتشی Primary Landrace Arteshi	11.7 ^{a*}	7.6 ^b	32.7 ^c	6.8 ^b	31.1 ^b	14.07 ^b
توده بومی ثانویه ملک Secondary Landrace Malek	7 ^c	9.8 ^a	56.1 ^b	7.7 ^{ab}	33.4 ^b	15.7 ^{ab}
رقم عمرانی Cultivar Omrani	8.4 ^b	9.8 ^{ab}	69.7 ^a	8.5 ^a	39.9 ^a	18.07 ^a

* اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

* Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

طول غلاف

نتایج تجزیه واریانس پاسخ ارقام ماش به سطوح مختلف اسید هیومیک نشان داد که اثر ساده رقم بر طول غلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار شد، ولی اثرات ساده اسید هیومیک و اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک بر طول غلاف معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین طول غلاف برابر ۸/۵ سانتی‌متر در رقم عمرانی و کمترین آن معادل ۶/۸ سانتی‌متر در توده بومی اولیه ارتشی حاصل شد (جدول ۵). طول غلاف در حبوبات یک صفت با توارث‌پذیری بالا است. این توارث‌پذیری بالا یعنی پتانسیل حداکثری اندازه طول غلاف، پیش از هر چیز توسط ژنتیک گیاه تعیین می‌شود (Vavilapalli et al., 2013) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عدم تأثیر اسید هیومیک بر عملکرد گیاه و بر طول غلاف می‌تواند متأثر از ژنتیکی بودن این صفت باشد. طول غلاف در رقم عمرانی که یک رقم اصلاح‌شده است، بیشتر از دو توده بومی دیگر بود که بیانگر ژنتیکی بودن این صفت می‌باشد. تحقیقات نشان داد که طول غلاف دارای کمترین مقدار شاخص حساسیت در برابر عوامل محیطی و زراعی است (Skandarnejad et al., 2017).

اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد که واکنش ارقام ماش به کاربرد اسید هیومیک به ویژگی‌های ژنتیکی هر رقم و میزان تعادل مواد غذایی موجود در محیط بستگی دارد. به‌طور خاص، توده بومی ثانویه ملک ممکن است به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی برتر یا توانایی بهتر در جذب و استفاده از عناصر غذایی موجود در محیط، پاسخ مثبتی به سطوح پایین‌تر اسید هیومیک نشان داده باشد. از سوی دیگر، در توده بومی اولیه ارتشی، احتمالاً سطوح بالاتر اسید هیومیک باعث ایجاد تنش اسمزی یا اختلال در تعادل جذب عناصر غذایی شده است. به‌طور کلی، استفاده از اسید هیومیک می‌تواند به بهبود رشد گیاه و جذب مواد مغذی کمک کند، اما سطوح بهینه آن بسته به نوع گیاه و شرایط محیطی متفاوت است. مطالعات هم‌راستا نشان می‌دهند که واکنش گیاهان به اسید هیومیک به ویژگی‌های رقم و شرایط محیطی وابسته است. به‌عنوان مثال، تحقیقات نشان داد که سطوح معتدل اسید هیومیک می‌تواند به بهبود جذب مواد غذایی و افزایش وزن خشک در حبوبات کمک کند، اما سطوح بالاتر ممکن است به‌دلیل تغییر در ساختار خاک و عدم تعادل در فراهمی عناصر غذایی، اثرات منفی داشته باشد (Huzien et al., 2022).

ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک

اثر ساده رقم بر ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر ساده اسید هیومیک و اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک برابر ۱۸/۰۷ سانتی‌متر در رقم عمرانی به دست آمد و کمترین آن در توده بومی اولیه ارتشی مشاهده شد (جدول ۵). ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک تحت تأثیر نوع رقم ماش قرار دارد. اولین ارتفاع شاخه‌های فرعی از سطح خاک می‌تواند یک صفت مهم برای امکان برداشت مکانیزه ماش در نظر

وزن خشک غلاف

تجزیه واریانس واکنش ارقام ماش به سطوح مختلف اسید هیومیک نشان داد که اثرات ساده رقم و اسید هیومیک بر وزن خشک غلاف معنی‌دار نشد، درحالی‌که اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک بر وزن خشک غلاف نشان داد که بیشترین وزن خشک غلاف برابر ۰/۴۵ تن در هکتار در توده بومی ثانویه ملک و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک و کمترین آن معادل ۰/۲۵ تن در هکتار در توده بومی ارتشی و ۱۰۰ میلی‌لیتر

محرك‌های رشد تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع اولین شاخه فرعی و ارتفاع اولین غلاف دارند. به‌طوری که مصرف نیتروژن با افزایش ارتفاع گیاه باعث شد که اولین شاخه فرعی در ارتفاع بالاتری تشکیل شود. ولی در نهایت تأکید می‌گردد که این امر بستگی بالایی به خصوصیات ژنتیکی رقم مورد استفاده دارد (Amerian et al., 2021).

گرفته شود. غلاف‌هایی که روی شاخه‌های پایینی نزدیک سطح خاک تشکیل شوند، امکان برداشت مکانیزه را کاهش می‌دهند، این تفاوت می‌تواند به اصلاحات ژنتیکی و بهبود صفات رشد در ارقام اصلاح‌شده مرتبط باشد. ارقام اصلاح‌شده معمولاً به‌دلیل بهبود در کارایی فتوسنتز و توزیع بهتر مواد مغذی، رشد بهتری دارند (Dabalo et al., 2024). اگرچه در برخی تحقیقات نشان داده شد که مدیریت تغذیه و

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک بر بعضی از صفات زراعی گیاه ماش

Table 6- Mean comparison of cultivar and humic interaction acid on some agronomic traits of mung bean plant

رقم Cultivar	اسید هیومیک Humic acid	وزن خشک غلاف (تن در هکتار) Pod dry weight (t.ha ⁻¹)	عملکرد زیستی (تن در هکتار) Biological yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد دانه (تن در هکتار) Seed yield (t.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
توده بومی اولیه ارثشی Primary Landrace Arteshi	شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	0.36 ^{a*}	2.5 ^a	1.05 ^a	41.9 ^a
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	0.3 ^{ab}	2.49 ^a	1 ^a	40.4 ^a
	۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	0.25 ^b	2.04 ^b	0.7 ^b	34.3 ^b
توده بومی ثانویه ملک Secondary Landrace Malek	شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	0.27 ^b	2.27 ^b	0.87 ^b	38.3 ^{ab}
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	0.45 ^a	3.2 ^a	1.15 ^a	36.2 ^{ab}
	۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	0.33 ^{ab}	2.56 ^b	0.93 ^b	36 ^{ab}
رقم عمرانی Cultivar Omrani	شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) Control (spraying with distilled water)	0.3 ^a	2.42 ^b	0.69 ^b	28.6 ^b
	۵۰ میلی‌گرم بر لیتر 50 mg.L ⁻¹	0.37 ^a	2.9 ^b	1.01 ^b	35.3 ^{ab}
	۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر 100 mg.L ⁻¹	0.38 ^a	3.15 ^a	1.23 ^a	39.2 ^a

* اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون LSD اختلاف معنی‌دار ندارند.

* Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

عملکرد زیستی

تجزیه واریانس داده‌ها مشخص نمود که اثر متقابل تیمار رقم و اسید هیومیک بر عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد زیستی معادل ۳/۲ تن در هکتار در توده بومی ثانویه ملک و مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد. هرچند با رقم عمرانی و مصرف ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). این امر نشان می‌دهد که این توده بیشترین سازگاری را با این سطح از اسید هیومیک داشته و توانسته است از مزایای آن در افزایش زیست‌توده بهره‌مند شود. احتمالاً این سطح از هیومیک اسید باعث بهینه‌سازی شرایط رشد و

افزایش کارایی فتوسنتزی در این رقم شده است. کمترین عملکرد زیستی برابر ۲/۰۴ تن در هکتار در توده بومی اولیه ارثشی و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۶). این تفاوت می‌تواند ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی این ارقام باشد. معمولاً توده‌های بومی ثانویه نسبت به توده‌های اولیه، سازگاری بیشتری به شرایط محیطی دارند و کارایی بهتری در استفاده از منابع خاک و آب نشان می‌دهند. تحقیقات نشان داد که محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های رشد، اجزای عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای را در مقایسه با گیاهان تیمار نشده (شاهد) بهبود بخشید. اثرات متقابل بین رقم و مقادیر مصرف اسید هیومیک به‌طور قابل توجهی بر صفات

عملکرد تأثیر داشت. محلول‌پاشی برگی اسید هیومیک ممکن است یک رویکرد زراعی امیدوارکننده برای بهبود بهره‌وری ماش و کیفیت تغذیه‌ای بذر در خاک باشد (Sabra et al., 2026).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه برابر ۱/۲۳ تن در هکتار در رقم عمرانی و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک به دست آمد که با توده بومی ثانویه ملک و مصرف ۵۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک با عملکرد دانه‌ای معادل ۱/۱۵ تن در هکتار در یک گروه قرار داشت. کمترین عملکرد دانه در رقم عمرانی و عدم کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد (جدول ۶). این نتایج بیانگر این مهم است که توده بومی ثانویه ملک نسبت به رقم عمرانی و توده بومی اولیه ارتشی دارای ویژگی‌های ژنتیکی مثبتی در صفاتی نظیر عملکرد دانه و عملکرد زیستی در واکنش به مصرف اسید هیومیک دارد. به نظر می‌رسد که اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی طبیعی و سازگار با محیط زیست، اثر مثبتی بر جذب مواد غذایی توسط گیاهان زراعی دارد و برای انتقال در دسترس بودن عناصر ریزمغذی در گیاه بسیار مهم است. در این راستا گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک و خاصیت کلات‌کنندگی، جذب نیتروژن و فسفر را توسط ریشه‌ها به حداکثر می‌رساند که ماده اصلی برای رشد و عملکرد گیاه است (Abdollahi et al., 2024).

مقایسه اجزای عملکرد نشان داد که افزایش عملکرد در رقم عمرانی عمدتاً با افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در غلاف همراه بود؛ به‌طوری که وزن هزار دانه در رقم عمرانی با میانگین ۶۹/۷ گرم به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو توده بومی بود (جدول ۵) و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک نیز وزن هزار دانه را از ۴۸/۶ گرم در شاهد به ۵۶/۷ گرم افزایش داد (جدول ۴). همچنین در رقم عمرانی، تعداد دانه در غلاف در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به شاهد افزایش نشان داد. در مقابل، تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر سطوح اسید هیومیک قرار نگرفت (جدول ۳)، بنابراین افزایش عملکرد دانه را نمی‌توان به افزایش تعداد غلاف نسبت داد.

این الگو با نتایج همبستگی نیز تا حدودی پشتیبانی می‌شود؛ به‌طوری که وزن هزار دانه با تعداد غلاف در بوته ($r=61^*$) و تعداد دانه در غلاف ($r=41^*$) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، درحالی که همبستگی عملکرد دانه با این اجزاء در داده‌های حاضر معنی‌دار نبود (جدول ۷). بنابراین، اگرچه افزایش وزن هزار دانه و تغییر در تعداد دانه در غلاف در تیمارهای برتر مشاهده شد، براساس تحلیل همبستگی نمی‌توان رابطه علت و معلولی میان این صفات و عملکرد دانه را اثبات

کرد. به نظر می‌رسد که پاسخ عملکرد دانه به اسید هیومیک در ارقام مختلف ماش متفاوت بوده و احتمالاً برهم‌کنش ویژگی‌های ژنتیکی رقم با سطح مصرف اسید هیومیک در تعیین عملکرد نهایی نقش داشته است. نتایج حاضر همچنین نشان می‌دهد که اثر مثبت اسید هیومیک بر عملکرد دانه در رقم عمرانی در سطح ۱۰۰ میلی گرم در لیتر، بیشتر از آنکه ناشی از افزایش تعداد غلاف باشد، با تغییر در برخی اجزای مرتبط با تشکیل و پُر شدن دانه همراه بوده است.

شاخص برداشت

شاخص برداشت در واکنش به اثرات متقابل رقم و اسید هیومیک در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت برابر ۴۱/۹ و ۴۰/۴ درصد به‌ترتیب در توده بومی اولیه ارتشی و کاربرد ۵۰ میلی گرم در لیتر و عدم کاربرد اسید هیومیک و کمترین آن معادل ۲۸/۶ درصد در رقم عمرانی و عدم کاربرد اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۶). نتایج پژوهشی نشان داده شد که ترکیب کودهای آلی از جمله اسید هیومیک، تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های رشد و عملکرد داشت و شاخص برداشت را ۳۶ درصد افزایش داد که با نتایج حاصل از این پژوهش هم‌راستا است (Kumari et al., 2023). البته همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که واکنش شاخص برداشت در ارقام مختلف ماش به کاربرد و عدم کاربرد اسید هیومیک متفاوت می‌باشد. به‌نحوی که شاخص برداشت در توده بومی اولیه ارتشی در تیمار عدم مصرف اسید هیومیک بیشترین بود، درحالی که این صفت در رقم عمرانی و کاربرد ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک نیز بالا (۳۹/۲ درصد) بود. محققان نشان دادند که همه اجزای عملکرد به‌جز شاخص برداشت به مصرف اسید هیومیک واکنش مثبت نشان دادند (Sabra et al., 2026).

درصد نیتروژن برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر درصد نیتروژن برگ معنی‌دار نبود، درحالی که اثر اسید هیومیک بر این صفت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن برگ (۱/۷۹ درصد) در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک مشاهده شد که با تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر (۱/۶۹ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت، اما نسبت به شاهد (۱/۶ درصد) افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). تیمار ۵۰ میلی گرم در لیتر نیز از نظر آماری با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین براساس نتایج این پژوهش، افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن برگ در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده شد و نمی‌توان غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر را براساس این صفت به‌عنوان تیمار برتر توصیه کرد. افزایش درصد نیتروژن برگ در تیمار ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می‌تواند

نشان‌دهنده بهبود وضعیت تغذیه نیتروژنه گیاه در اثر کاربرد اسید هیومیک باشد، با این حال از آنجا که جذب واقعی نیتروژن یا کارایی مصرف نیتروژن در این آزمایش اندازه‌گیری نشده است، تفسیر این افزایش باید به همین صفت محدود شود.

تحلیل همبستگی و تحلیل مسیر اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که بین برخی از اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارتباط قابل توجهی وجود داشت. عملکرد دانه با وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت ($r=0.50$, $P<0.05$)، در حالی که همبستگی آن با تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار نبود (جدول ۷). همچنین بین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ($r=-0.58$) و بین تعداد غلاف در بوته و وزن هزار دانه ($r=-0.61$) همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد که می‌تواند بیانگر وجود نوعی رابطه جبرانی بین این اجزای عملکرد باشد. بر این اساس، همبستگی ساده به‌تنهایی

نمی‌تواند بیانگر اثر مستقیم یا رابطه علت و معلولی بین صفات باشد. بنابراین برای تعیین سهم مستقیم و غیرمستقیم اجزای اصلی عملکرد در تغییرات عملکرد دانه، تحلیل مسیر انجام شد.

به‌منظور تفکیک اثرات مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه، تحلیل مسیر انجام شد. نتایج نشان داد که وزن هزار دانه با ضریب مسیر مستقیم 0.71 ، بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه داشت (جدول ۸). تعداد شاخه جانبی نیز دارای اثر مستقیم مثبت نسبتاً بالا (0.4) بود، اما اثر غیرمستقیم منفی آن از طریق وزن هزار دانه موجب شد که همبستگی ساده آن با عملکرد دانه پایین و غیرمعنی‌دار باشد. تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نیز به‌ترتیب دارای اثر مستقیم 0.02 و 0.13 بودند، اما اثرات غیرمستقیم آن‌ها، به‌ویژه از طریق وزن هزار دانه موجب کاهش اثر نهایی آن‌ها بر عملکرد شد. در مجموع، مدل تحلیل مسیر حدود $43/4$ درصد از تغییرات عملکرد دانه را از طریق چهار جزء عملکرد مورد بررسی تبیین کرد. بنابراین در شرایط این آزمایش، وزن هزار دانه مهم‌ترین صفت برای تبیین عملکرد دانه و احتمالاً مناسب‌ترین معیار انتخاب در میان اجزای عملکرد مورد بررسی بود.

جدول ۷- همبستگی ساده بین صفات زراعی مورد بررسی در گیاه ماش

Table 7- Simple correlation among the agronomic traits evaluated in mung bean plant

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12
Y1	1											
Y2	0.18	1										
Y3	0.05	-0.58*	1									
Y4	-0.35	0.61*	0.41*	1								
Y5	-0.02	-0.34	0.20	0.52*	1							
Y6	0.10	-0.22	0.22	0.52*	0.84*	1						
Y7	-0.65*	-0.36	-0.08	0.39*	0.33	0.23	1					
Y8	0.26	0.01	0.19	0.34	0.54*	0.59*	-0.09	1				
Y9	0.20	-0.23	0.33	0.50*	0.62*	0.66*	-0.05	0.75*	1			
Y10	0.38*	-0.10	0.29	0.26	0.63*	0.61*	-0.23	0.68*	0.76*	1		
Y11	0.33	0.12	0.06	-0.25	0.21	0.13	-0.27	0.14	-0.05	0.60*	1	
Y12	-0.32	-0.02	0.07	0.41*	0.12	0.17	-0.12	-0.03	0.18	0.09	-0.10	1

Y1: تعداد شاخه جانبی در بوته، Y2: تعداد غلاف در بوته، Y3: تعداد دانه در غلاف، Y4: وزن هزار دانه، Y5: طول غلاف، Y6: ارتفاع بوته، Y7: ارتفاع اولین شاخه فرعی از سطح خاک، Y8: وزن خشک غلاف، Y9: عملکرد زیستی، Y10: عملکرد دانه، Y11: شاخص برداشت، Y12: درصد نیتروژن برگ.

* نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Y1: number of branches per plant; Y2: number of pods per plant; Y3: number of seeds per pod; Y4: 1000-seed weight; Y5: pod length; Y6: plant height; Y7: first branch height from soil level; Y8: pod dry weight; Y9: biological yield; Y10: seed yield; Y11: HI; Y12: leaf nitrogen percentage.

* Indicates a significant correlation at 5% probability level.

جدول ۸- ضرایب مسیر مستقیم و غیرمستقیم اجزای عملکرد بر عملکرد دانه ماش

Table 8- Direct and indirect path coefficients of yield components on seed yield of mung bean

صفت Trait	اثر مستقیم Direct effect	غیرمستقیم از Y1 Indirect via Y1	غیرمستقیم از Y2 Indirect via Y2	غیرمستقیم از Y3 Indirect via Y3	غیرمستقیم از Y4 Indirect via Y4	مجموع اثرات Total effect	همبستگی با عملکرد Correlation with seed yield
تعداد شاخه جانبی Number of branches per plant (Y1)	0.42	-	0.038	0.006	-0.245	0.201	0.201
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant (Y2)	0.204	0.075	-	-0.077	-0.434	-0.232	-0.232
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod (Y3)	0.132	0.020	-0.119	-	0.295	0.328	0.328
وزن هزار دانه 1000-seed weight (Y4)	0.710	-0.139	-0.124	0.055	-	0.502	0.502*

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که زمینه ژنتیکی، عامل مهم‌تری در تعیین ظرفیت رشد و عملکرد ماش در شرایط آزمایش بود و پاسخ به اسید هیومیک در همه صفات و ژنوتیپ‌ها یکسان نبود. بنابراین، افزایش عملکرد را نمی‌توان صرفاً به کاربرد اسید هیومیک نسبت داد و توصیه مصرف آن باید براساس پاسخ واقعی ژنوتیپ و شرایط محیطی صورت گیرد. در بین مواد ژنتیکی مورد بررسی، عمرانی از ظرفیت عملکردی مطلوب‌تری برخوردار بود و از این نظر می‌تواند در شرایط مشابه مورد توجه قرار گیرد. از جنبه کاربردی، یافته مهم پژوهش این است که انتخاب ژنوتیپ مناسب باید در اولویت راهکارهای افزایش عملکرد قرار گیرد و استفاده از اسید هیومیک به‌عنوان یک نهاده مکمل، بدون توجه به زمینه ژنتیکی گیاه، نمی‌تواند به‌عنوان راهکار عمومی افزایش عملکرد توصیه شود. این موضوع اهمیت بررسی هم‌زمان ژنوتیپ و مدیریت نهاده را در برنامه‌های به‌زراعی ماش نشان می‌دهد.

همچنین بررسی روابط بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با برخی اجزای عملکرد و صفات مرتبط با تولید ماده خشک ارتباط دارد.

استفاده از تحلیل مسیر در کنار همبستگی ساده، امکان تفکیک روابط مستقیم و غیرمستقیم صفات با عملکرد دانه را فراهم کرد و از این نظر، چارچوب مناسب‌تری برای شناسایی صفات قابل استفاده در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب نسبت به اتکا به همبستگی ساده ارائه می‌دهد. در نهایت، با توجه به اینکه در این پژوهش صفاتی مانند فتوسنتز، جذب عناصر غذایی و سایر شاخص‌های فیزیولوژیک به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشدند، تغییرات مشاهده‌شده را نمی‌توان به‌طور قطعی به این سازوکارها نسبت داد. از این‌رو، مطالعات آینده باید با بررسی سطوح و روش‌های مختلف کاربرد اسید هیومیک، در کنار اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیولوژیک و تغذیه‌ای، مشخص کنند که آیا پاسخ مشاهده‌شده ناشی از تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاه است یا خیر.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه لرستان به‌دلیل حمایت مالی و تأمین امکانات آزمایشگاهی برای انجام این تحقیق در قالب رساله کارشناسی ارشد تشکر و قدرانی می‌گردد.

References

- Abdollahi, A., Hamzehei, J., Alivardi, A., & Nemati, A. (2024). Effect of humic acid on crop production and land use efficiency in intercropping of wheat and lentils under rainfed conditions. *Crop Production*, 17(3), 43-64. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2024.22269.2621>
- Abead, H. M., Hammadi, H. J., & Salama, M. A. (2018). Effect of humic acid foliar in the growth, yield and quality of several genotypes four of (*Vicia faba* L.). *Anbar Journal of Agricultural Sciences*. 16, 52-61.
- Al-Zubaidi, N. A. J., & Al-Shammari, A. F. A. (2023). The effect of biofertilization and organic fertilization and the interaction between them on the yield characteristics and components of the mung bean plant (*Vigna radiata* L.). *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 11, 397-402. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/11.1099>
- Amerian, M., Nakh Zari Moghaddam, A., Biabani, A., & Mollashahi, M. (2021). Investigation of morphological traits, yield and yield components of mung bean under nitrogen and megafol fertilizer. *Crop Production*, 14(1), 185-198. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.18776.2397>
- Azimbakloo, N., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Heidarzadeh, A. (2026). Effects of humic acid and amino acid foliar application on biochemical traits, and grain weight of mung bean (*Vigna radiata* L.) under water

- deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*. In Press. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2026.406081.655169>
- Dabalo, B., Afeta, T., Shumi, D., & Neguse, R. (2024). Adaptability study of improved mung bean (*Vigna radiata*) varieties in moisture stress areas of Guji zone, Southern Ethiopia. *Journal of Plant Sciences*, 12(1), 16-20. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20241201.13>
- Daneshvar Hakimi Maibodi, N., Kafi, M., Nikbakht, A., & Rejali, F. (2015). Effect of foliar applications of humic acid on growth, visual quality, nutrients content and root parameters of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 38(2), 224-236. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.939759>
- Skandarnejad, S., Gholipour, M., & Makarian, M. (2017). Study of effect of different water shortage levels on biochemical traits and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 193-201. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.1396.576>
- Fatemi Devin, R., Hosseini, S., Hosain Moghadam, B., & Motesharezadeh, B. (2021). Effect of organic and bio-fertilizers and additive and replacement intercropping systems on corn (*Zea maize* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 133-145. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.286433.654634>
- Fazeli, S. B., Rahnama, A., & Hassibi, P. (2022). Effect of waterlogging stress on yield and yield components and photosynthetic characteristics of two mung bean cultivars in Ahvaz conditions. *Plant Productions*, 45(1), 95-108. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.30538.1805>
- Haghshenas, A., Azizi, K., Bakhtiari, N., & Heidari, S. (2025). Evaluation of photosynthetic pigments, yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) in response to humic acid application and irrigation interruption. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 217-233. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.379755.1310>
- Hosseini Nik, M. H., Shokoehfar, A., & Payandeh, K. (2022). The effect of combining humic acid and potassium nanochelate fertilizer on yield, yield components and protein percentage of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 50-61. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2202-1022>
- Huang, Z., Li, Y., Fan, M., Qian, H., & Wang, L. (2024). Recent advances in mung bean protein: From structure, function to application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273(2), 133210. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133210>
- Huzien, G. A. M., Ibrahim, M. M., Khalifa, Y. A. M., & Mahdy, A. Y. (2022). Response of two soybean (*Glycine max* L.) cultivars to different levels of humic acid and mineral fertilization. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 5(3), 1-12. <https://doi.org/10.21608/aasj.2022.266402>
- Kahraman, A. (2017). Effect of humic acid doses on yield and quality parameters of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars. *Legume Research-An International Journal*, 40(1), 155-159. <https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.3763>
- Kumari, S., Kumar, R., Chouhan, S., & Chaudhary, P. L. (2023). Influence of various organic amendments on growth and yield attributes of mung bean (*Vigna radiata* L.). *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(12), 124-130. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i122975>
- Naeemi, M., Avarseji, Z., & Ahangar, L. (2025). Investigating the effect of organic biostimulants and different levels of chemical fertilizers on the growth, yield components and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 215-226. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.91464.1102>
- Rezapourian Ghahfarkhi, F., Galeshi, S., Zeinali, E., & Torabi, B. (2020). The effect of inoculation with growth-promoting bacteria, mycorrhizae and phosphorus levels on yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 11(1), 134-151. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i1.73888>
- Sabra, D. M., Badr, E. A., Magda, H. M., & Amin, G. A. (2026). Foliar application of humic acid improves growth, yield, and nutritional quality of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under newly reclaimed soil conditions. *Scientific Reports*, 16(1), 12726. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-47151-z>
- Sadeghi Kochsafhani, P., Mirkalaei, S. A. M., Moballegghi, M., Samdeliri, M., & Akbarpour, M. (2024). The effect of biological and organic fertilizers on the quantitative and qualitative production of mung bean under water deficit stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(8), 1345-1358. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.373798.669678>
- Suhag, M. (2016). Potential of biofertilizers to replace chemical fertilizers. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(5), 163-167.
- Vavilapalli, S., Celine, V. A., Duggi, S., Padakipatil, S., & Magadam, S. (2013). Genetic variability and heritability studies in bush cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Legume Genomics and Genetics*, 4(4), 27-31.



<https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.99327.1139>

Responses of Physiological Traits of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) to Paclobutrazol Foliar Application under Drought Stress

Behrooz Omid¹, Nosratollah Abbasi^{1*}, Fereshteh Darabi¹

Received: 14 June 2026

Revised: 27 July 2026

Accepted: 07 August 2026

Available Online: 07 August 2026

Cite this article:

Omid, B., Abbasi, N., & Darabi, F. (2026). Responses of physiological traits of mung bean (*Vigna radiata* L.) to paclobutrazol foliar application under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 17(1), 177-196. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.99327.1139>

Introduction

Drought stress is one of the most important abiotic factors limiting agricultural production in arid and semi-arid regions of the world. Water deficit disrupts physiological and metabolic processes in plants, leading to reduced growth, impaired photosynthesis, and decreased grain yield. Drought stress also increases the production of reactive oxygen species (ROS), damages cellular membranes, decreases photosynthetic pigments, and ultimately reduces plant productivity. Mung bean (*Vigna radiata* L.) is an important legume crop because of its high nutritional value, short growth period, and nitrogen-fixing ability. However, this crop is highly sensitive to drought stress, particularly during flowering and grain filling stages. Therefore, improving drought tolerance in mung bean is essential under water-limited conditions. The application of plant growth regulators such as paclobutrazol has been considered an effective strategy for alleviating drought-induced damage. Paclobutrazol can improve drought tolerance by enhancing plant water status, maintaining membrane stability, promoting osmotic adjustment, and strengthening antioxidant defense systems. Previous studies have also shown that triazole compounds modulate stress-responsive pathways and improve plant performance under water-deficit conditions. However, these responses may vary with cultivar and drought intensity, and the underlying physiological mechanisms remain insufficiently understood. Therefore, the present study aimed to evaluate the physiological and biochemical responses of two mung bean cultivars to paclobutrazol application under drought stress.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2024–2025 crop year at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Ilam, Iran. The experiment was arranged as a split-plot factorial based on a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments consisted of three drought stress levels (40, 80 and 120 mm evaporation from Class A evaporation pan) as the main factor and three levels of paclobutrazol foliar application (0, 30, and 80 mg.L⁻¹) along with two mung bean cultivars (Partow and Gohar) as subplot treatments. Drought stress treatments were imposed after complete seedling establishment based on cumulative evaporation from the Class A evaporation pan. Paclobutrazol was sprayed three times at 72-hour intervals. Physiological and biochemical traits including relative water content, ion leakage, chlorophyll a and b, carotenoids, proline, soluble sugars, catalase activity, and ascorbate peroxidase activity were measured at the flowering stage, while grain yield was determined at maturity. Statistical analyses were performed using SAS software (Ver. 9.1), and mean comparisons were conducted using the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results indicated that increasing drought stress significantly reduced relative water content, chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid content, and grain yield in both mung bean cultivars. In contrast, ion leakage, proline accumulation, soluble sugars, and antioxidant enzyme activities increased under drought stress conditions. Paclobutrazol application improved physiological and biochemical characteristics in both cultivars, and the greatest positive effects were observed at 80 mg.L⁻¹. Foliar application of paclobutrazol increased relative water content, photosynthetic pigments, proline, soluble sugars, and the activities of catalase and ascorbate peroxidase enzymes, while reducing ion leakage under drought stress conditions. The interaction effects of drought stress, paclobutrazol, and cultivar demonstrated that cultivar Gohar showed superior performance under mild and moderate drought stress conditions in terms of most physiological traits and grain

1- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

* Corresponding Author: n.abbasi@ilam.ac.ir



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

yield. In contrast, cultivar Partow exhibited greater tolerance under severe drought stress conditions through better maintenance of physiological characteristics and stronger antioxidant defense responses. Enhanced antioxidant enzyme activities and increased accumulation of osmotic adjustment compounds in paclobutrazol-treated plants played an important role in reducing drought-induced oxidative damage, maintaining membrane stability, and improving drought tolerance.

Conclusions

Overall, drought stress adversely affected physiological traits and grain yield of mung bean plants. However, paclobutrazol application considerably alleviated the negative effects of drought stress. Foliar application of paclobutrazol, particularly at 80 mg L⁻¹, improved plant water status, enhanced antioxidant defense systems, increased osmotic adjustment compounds, and maintained membrane stability, resulting in greater drought tolerance in mung bean plants. In general, cultivar Gohar showed better overall performance in terms of physiological traits and grain yield, whereas cultivar Partow exhibited greater tolerance under severe drought stress conditions.

Acknowledgement

The authors would like to express their sincere gratitude to the University of Ilam and the Agricultural and Natural Resources Research Station of Sarableh for providing the facilities required for conducting this research.

Keywords: Catalase, Grain yield, Photosynthetic pigments, Proline, Soluble sugars



پاسخ صفات فیزیولوژیکی ماش (*Vigna radiata* L.) به محلول پاشی پاکلوبوترازول تحت تأثیر تنش خشکی

بهروز امیدی^۱، نصرت اله عباسی^{۱*}، فرشته دارابی^۱..

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۶

چکیده

به منظور بررسی پاسخ صفات فیزیولوژیکی ماش (*Vigna radiata* L.) به محلول پاشی پاکلوبوترازول تحت تأثیر تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد. تیمارها شامل سه سطح تنش خشکی (۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، سه سطح محلول پاشی پاکلوبوترازول (۰، ۳۰ و ۸۰ میلی‌گرم در لیتر) و دو رقم ماش (پرتو و گوهر) بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو رقم، محلول پاشی پاکلوبوترازول در همه سطوح تنش خشکی سبب بهبود صفات فیزیولوژیکی و تعدیل تنش خشکی در گیاه ماش شد، اما رقم پرتو تحت شرایط تنش شدید خشکی مقاومت بیشتری از خود نشان داد، در حالی که رقم گوهر در شرایط تنش خفیف تا متوسط از نظر اکثر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه برتری داشت. طبق نتایج به دست آمده محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر ۹/۹ درصد و در رقم پرتو ۱۰/۲۳ درصد محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد. در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمارهای ۸۰ و ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، در رقم پرتو، به ترتیب ۶ و ۱۰/۲ درصد و در رقم گوهر، به ترتیب ۵ و ۲۸/۲ درصد میزان کلروفیل b کاهش یافت. کاربرد محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در شرایط ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، میزان کلروفیل a، پرولین، قندهای محلول، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز در رقم پرتو به ترتیب ۲۵/۳، ۱۴/۲۹، ۵/۱۱ و ۳۰/۳ درصد و در رقم گوهر ۳۰/۷۵، ۱۹/۶۱، ۳۰/۷، ۳۰/۳ و ۱۶/۲ درصد افزایش یافت و در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نیز در رقم پرتو به ترتیب ۴/۱، ۵۹/۶، ۱۱/۴۷، ۱۱/۸ و ۳۸/۸ درصد و در رقم گوهر ۱۱/۸، ۵۴/۹، ۱۵/۴۵، ۶۴/۷ و ۴۷/۵ درصد افزایش یافت. بر این اساس، در سطح ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، استفاده از رقم گوهر همراه با محلول پاشی پاکلوبوترازول غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر و در سطح ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، استفاده از رقم پرتو همراه با محلول پاشی پاکلوبوترازول با غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، به عنوان برترین تیمارهای این پژوهش، می‌تواند به عنوان یک گزینه مدیریتی مناسب برای افزایش تحمل گیاه ماش به محدودیت آب مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، رنگبزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، قندهای محلول، کاتالاز

مقدمه

در مناطق دیم که میزان بارندگی کمتر از نیاز آبی گیاه باشد، رشد و تولید آن تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد (Heidari et al., 2019). اگرچه ماش در مقایسه با برخی از محصولات زراعی مقاومت بیشتری به کم‌آبی دارد، اما مراحل گل‌دهی و پُر شدن دانه از حساس‌ترین مراحل رشد آن محسوب می‌شوند و کمبود آب در این دوره‌ها می‌تواند موجب کاهش شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه شود (Babarashi et al., 2021).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در جهان به شمار می‌رود و با تشدید تغییرات اقلیمی، شدت و فراوانی آن به‌طور مداوم در حال افزایش است (Khan et al., 2025). این تنش با کاهش دسترسی گیاه به آب، فرآیندهای فیزیولوژیکی کلیدی را مختل می‌کند و منجر به

ماش (*Vigna radiata* L.) یکی از لگوم‌های دانه‌ریز و حبوبات باارزش محسوب می‌شود که به دلیل دارا بودن ترکیبات تغذیه‌ای مطلوب شامل ۲۲-۲۵ درصد پروتئین، حدود ۵۱ درصد کربوهیدرات، چهار درصد مواد معدنی (منیزیم، پتاسیم، منگنز، مس و روی)، ویتامین‌های گروه B، فیبر و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، از اهمیت ویژه‌ای در تغذیه انسان برخوردار است (Ahmadi et al., 2019). علاوه بر ارزش غذایی، ویژگی‌هایی مانند دوره رشد کوتاه و توانایی تثبیت زیستی نیتروژن موجب شده است که این گیاه به عنوان یکی از محصولات مهم در نظام‌های کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد (Babarashi et al., 2021). ماش به دلیل سازگاری نسبی با شرایط کم‌آبی، تا حدودی توانایی تحمل محدودیت آب را داراست. با این حال،

درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. این افزایش عملکرد می‌تواند به بهبود تعادل بین رشد رویشی و زایشی، افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و کارایی بیشتر انتقال آسمیلات‌ها به دانه‌ها نسبت داده شود (Panda et al., 2023). این پژوهش با هدف بررسی نقش پاکلوبوترازول در بهبود پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاه ماش به تنش خشکی و بررسی اثر آن به‌عنوان یک ترکیب تنظیم‌کننده رشد در افزایش تحمل گیاه به شرایط کم‌آبی انجام شد. شناخت سازوکارهای فیزیولوژیکی مؤثر در افزایش تحمل به خشکی می‌تواند زمینه را برای به‌کارگیری مؤثر این ترکیب در مدیریت تنش و بهبود سازگاری گیاه ماش با شرایط کم‌آبی فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۱۷۴ متر از سطح دریا اجرا شد. میانگین بلندمدت بارندگی و دمای سالانه در منطقه به‌ترتیب ۶۰۰ میلی‌متر و ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح ($D_1: 40$ ، $D_2: 80$ و $D_3: 120$ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در سه سطح ($P_0: 0$ ، $P_1: 30$ و $P_2: 80$ میلی‌گرم در لیتر) (Soumya & Kumar, 2017) و رقم گیاه ماش در دو سطح (پرتو و گوهر) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. پیش از اجرای آزمایش و قبل از کشت، نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک با استفاده از روش نمونه‌برداری مرکب انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های خاک از چندین نقطه به‌صورت تصادفی در سطح مزرعه برداشت و پس از اختلاط کامل، یک نمونه مرکب نهایی برای اندازه‌گیری‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام منتقل گردید (Peterson & Calvin, 1996). نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه شده است (جدول ۱). مشخصات آب‌وهوایی نیز در جدول ۲ نشان داده شده است (جدول ۲).

در این پژوهش براساس نتایج آزمون خاک، میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت به خاک اضافه شد. در تاریخ ۱۹ تیرماه، مطابق نقشه طرح آزمایشی، عملیات کاشت ارقام ماش به‌روش خشکه‌کاری انجام گردید. واحدهای آزمایشی در ابعاد ۳×۳ متر ایجاد شدند و در هر واحد آزمایشی شش ردیف کاشت به‌طول سه متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های مربوط به تیمارهای مختلف آبیاری دو متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. فاصله بذور روی ردیف

کاهش شدید عملکرد محصول و تهدید امنیت غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Seleiman et al., 2021). تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز را تحت تأثیر قرار داده و موجب افزایش تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و قندهای محلول به‌عنوان سازوکارهای دفاعی گیاه می‌شود. این تغییرات در نهایت می‌تواند با اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی، کاهش رشد و عملکرد دانه گیاه را به همراه داشته باشد (Cao et al., 2024). این پاسخ‌ها در گیاهان مختلفی از جمله لوبیا (*Abd (Phaseolus vulgaris L.)*) (El-Gawad et al., 2021)، عدس (*Lens culinaris Medik*) (Eesha et al., 2024) و باقلا (*Abid et al., (Vicia faba. L.)*) (2025) نیز گزارش شده است. تنش خشکی باعث کاهش قابل توجه محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب برگ در ماش شد و ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، سطوح بسیار بالاتری از اسمولیت‌ها از جمله پرولین را تجمع دادند که تنظیم اسمزی و پایداری سلولی را در شرایط کمبود آب افزایش می‌دهد (Alghabari, 2026). برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی راهکاری مؤثر، کم‌هزینه و سریع‌الاث‌ر محسوب می‌شود (Desta & Amare, 2021).

پاکلوبوترازول یک ترکیب شیمیایی از خانواده تریازول‌ها است که به‌عنوان مهارکننده انتخابی و قوی بیوسنتز جیبرلین عمل می‌کند، این ماده با اتصال رقابتی به آنزیم اکسیداز لنت-کائورن، مرحله اکسیداسیون انت-کائورن به انت-کائورنوئیک اسید را مسدود کرده و سطح جیبرلین‌های فعال را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Desta & Amare, 2021). مطالعات متعددی کاربرد خارجی پاکلوبوترازول را در افزایش تحمل به تنش خشکی مؤثر دانسته‌اند. در گیاه ماش، کاربرد محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تحت شرایط تنش کم‌آبی موجب افزایش ۳۹ و ۱۹ درصدی محتوای کلروفیل a و b شد، همچنین با افزایش ۲۰ درصدی پرولین به بهبود تحمل گیاه به تنش خشکی کمک کرد (Babarashi et al., 2021). در گیاه سویا (*Glycine max*)، کاربرد پاکلوبوترازول با غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر تحت شرایط تنش خشکی، با کاهش اثرات منفی تنش و بهبود پاسخ‌های دفاعی گیاه همراه شد؛ به‌طوری که این تیمار موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (۱۴ درصد) و پراکسیداز (۴۲ درصد) و همچنین افزایش ترکیبات اسمزی شامل پرولین (۱۰ درصد) و قندهای محلول (شش درصد) شد. این تغییرات با بهبود تنظیم اسمزی، کاهش آسیب اکسیداتیو و افزایش تحمل گیاه سویا به تنش خشکی همراه بود (Sharifa & Abu-Muriefah, 2015). کاربرد پاکلوبوترازول با غلظت ۳۵ میلی‌لیتر در هکتار در گیاه نخود (*Cicer arietinum. L.*) موجب افزایش حدود ۳۰

تبخیر از تشتک تبخیر با جایگزینی اعداد در معادله ۱، میزان حجم آب مورد نیاز برای آبیاری محاسبه گردید (Bucks et al., 1982). که در آن، VW : حجم آب آبیاری (مترمکعب)، FC : درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه، PWP : درصد وزنی رطوبت خاک در حالت پژمردگی دائم، BD : وزن مخصوص ظاهری خاک مزرعه (گرم بر سانتی مترمکعب)، A : مساحت کرت فرعی آزمایش (مترمربع)، D : عمق ریشه (متر)، MAD : حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (گرم بر سانتی مترمکعب) و Ea : راندمان آب آبیاری است.

جهت تعیین درصد وزنی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه، یک روز قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، خاک کرت‌های آزمایشی تا حد اشباع آبیاری شد. پس از خروج آب ثقی و رسیدن رطوبت خاک به حالت تعادل (حدود ۴۸ تا ۷۲ ساعت پس از آبیاری)، نمونه‌های خاک از عمق توسعه ریشه برداشت شد و نمونه‌ها پس از اندازه‌گیری وزن تر، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. سپس درصد وزنی رطوبت خاک با استفاده از روش وزنی و براساس اختلاف وزن تر و خشک نمونه نسبت به وزن خشک خاک با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Klute, 1986).

$$VW = \frac{(FC - PWP) \times BD \times A \times D \times MAD}{Ea} \quad (۱) \text{ معادله}$$

$$FC = \frac{Wt - Wd}{Wd} \times 100 \quad (۲) \text{ معادله}$$

که در آن، FC : ظرفیت زراعی خاک، Wt : وزن تر خاک و Wd : وزن خشک خاک است.

۱۰ سانتی‌متر و عمق کاشت بذرها سه سانتی‌متر تنظیم گردید. در هر نقطه از ردیف کاشت، تعداد سه بذر کشت شد. پس از سبز شدن و استقرار اولیه گیاهچه‌ها، عملیات تنک کردن انجام گردید تا تراکم مطلوب و یکنواخت بوته‌ها در هر واحد آزمایشی حفظ شود. تراکم کاشت برای هر دو رقم یکسان در نظر گرفته شد تا امکان مقایسه دقیق پاسخ ارقام به تیمارهای آزمایشی و حذف اثر ناشی از تفاوت تراکم اولیه بوته‌ها فراهم گردد. بلافاصله پس از انجام عملیات کاشت، آبیاری انجام شد.

محلول پاشی برگ‌های هورمون پاکلوبوترازول در سه نوبت به فاصله ۷۲ ساعت یک بار و نزدیک به یک هفته پس از آغاز تنش رطوبتی صورت گرفت. همچنین برای جلوگیری از تأثیر نامطلوب نور خورشید، محلول پاشی به هنگام غروب آفتاب انجام گرفت. محلول پاشی با استفاده از سم‌پاش پشتی دستی انجام شد، به گونه‌ای که تمامی بوته‌ها به‌طور یکنواخت به محلول آغشته گردید. آبیاری کرت‌های آزمایشی به‌روش جویچه‌ای انجام شد. ابتدا حجم آب مورد نیاز هر کرت براساس معادله‌های ارائه‌شده در زیر محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری و اعمال دقیق حجم آب، یک کنتور حجمی در مسیر لوله اصلی انتقال آب نصب شد و برای هر کرت یک لوله فرعی مجزا مجهز به نازل مستقل در نظر گرفته شد. مقدار آب مورد نیاز هر کرت از طریق لوله فرعی مربوطه و براساس قرائت کنتور حجمی اعمال گردید. بدین ترتیب، تیمارهای مختلف تنش خشکی به‌صورت مستقل اعمال شدند. برای اعمال تیمارهای آبیاری پس از استقرار گیاهچه‌های ماش با محاسبه ظرفیت زراعی مزرعه و نقطه پژمردگی دائم و میزان

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental area

اسیدیته	شوری	کربن آلی	نیترژن	پتاسیم	فسفر	منیزیم	منگنز	مس	روی	آهن	بافت
pH	E.C	Organic Carbon	Total N	Available K	Available P	Mg	Mn	Cu	Zn	Fe	Texture
	(dS.m ⁻¹)	(%)			(mg.kg ⁻¹)						
7.2	0.35	1.30	0.11	300	5.5	230	14	7.2	1.9	10	لومی رسی Clay loam

جدول ۲- میانگین شاخص‌های آب‌وهوایی در طول دوره رشد گیاه ماش طی سال ۱۴۰۳ در شهرستان ایلام

Table 2- Mean climatic parameters during the 2024 growing season of mung bean in Ilam province

میانگین حداکثر درجه حرارت	میانگین حداقل درجه حرارت	حداکثر رطوبت نسبی	حداقل رطوبت نسبی	میزان بارش	ماه‌های سال
Mean maximum temperature (°C)	Mean minimum temperature (°C)	Maximum relative humidity (%)	Minimum relative humidity (%)	Rainfall	Months
37.1	21.5	30	13	0	تیر July
38.1	21.8	31	13	0	مرداد August
35.6	19.7	35	13	0	شهریور September
29.7	14.4	41	15	0	مهر October

که در آن، ET: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، KP: ضریب تشنگ تبخیر کلاس A، ETP: میزان تبخیر روزانه از تشنگ تبخیر، ETC0: تبخیر و تعرق محصول و KC: ضریب گیاهی ماش است. به‌منظور ارزیابی صفات فیزیولوژیکی، در مرحله آغاز گل‌دهی از هر واحد آزمایشی تعداد هفت بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و سالم آن‌ها نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های برگ‌ی بلافاصله در نیتروژن مایع منجمد و سپس جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در یخچال با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اما برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ و نشی یونی، از نمونه‌های برگ تازه بلافاصله پس از نمونه‌برداری استفاده گردید. در پایان فصل رشد و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ ۱۷ مهرماه زمانی که بخش عمده‌ای از برگ‌ها زرد شده، غلاف‌های ماش تغییر رنگ داده و از سبز به زرد تا قهوه‌ای تیره رسیده بودند، بوته‌های موجود در سطح یک مترمربع از هر واحد آزمایشی برداشت شدند. پس از خشک شدن بوته‌های برداشت‌شده، عملیات خرم‌ن کوبی انجام و دانه‌ها از باقی‌ای گیاهی جدا گردید. وزن دانه‌های حاصل از هر واحد آزمایشی با استفاده از ترازوی دقیق اندازه‌گیری و با توجه به سطح برداشت‌شده، عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver 9.1) و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مورد بررسی قرار گرفت.

محتوای نسبی آب برگ

برای تعیین محتوای نسبی آب برگ از روش دیازپرز (Diaz-Perez, 2006) استفاده شد. ابتدا سه عدد برگ جوان در موقعیت یکسان روی بوته از هر نمونه انتخاب و جدا گردید. بعد از جدا نمودن برگ از گیاه، بلافاصله نمونه‌ها در محیط آزمایشگاهی به‌وسیله ترازو (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شدند (وزن تر) و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر (جهت آب‌گیری کامل) قرار گرفته و پس از خشک شدن آب سطحی توسط دستمال کاغذی مجدداً توزین گردیدند (وزن اشباع). پس از آن، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در داخل آون قرار داده شدند. پس از این مدت، نمونه‌ها توزین تا وزن خشک به دست آید. محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۷ محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{WF - WD}{WT - WD} \times 100 \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن، RWC: محتوای نسبی آب، FW: وزن تر، WD: وزن خشک و WT: وزن اشباع است.

نقطه پژمردگی دائم با استفاده از روش صفحات فشاری تعیین شد. بدین منظور، نمونه‌های خاک پس از اشباع کامل، روی صفحات سرامیکی دستگاه قرار داده شدند و تحت فشار ۱۵۰۰ کیلوپاسکال (۱۵ بار) تا رسیدن به تعادل رطوبتی نگهداری گردید. سپس نمونه‌ها از دستگاه خارج شده، در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و رطوبت باقی‌مانده با این فشار به‌عنوان نقطه پژمردگی دائم محاسبه گردید (Richards, 1948). حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی براساس اختلاف بین رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم و با در نظر گرفتن درصد تخلیه مجاز آب قابل استفاده گیاه محاسبه شد (Allen et al., 1998).

در این پژوهش از استوانه‌های فلزی مخصوص برای تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک استفاده شد. با استفاده از این استوانه‌های فلزی، از خاک مزرعه نمونه‌ای دست‌نخورده تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. حجم استوانه‌های فلزی را با استفاده از سطح مقطع و ارتفاع استوانه به دست آورده، سپس استوانه حاوی نمونه خاک، همراه با درپوش‌ها، به محض ورود به آزمایشگاه توزین شدند. با استفاده از کاردک، مقداری از خاک درون استوانه را برداشته و در تین‌های مخصوص اندازه‌گیری درصد رطوبت ریخته و توزین گردید. تین‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون و تحت حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و دوباره توزین گردید و با استفاده از معادله ۳ وزن مخصوص ظاهری محاسبه شد (Aria, 1997).

$$Pb = ms/V \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، ms: وزن خاک خشک موجود در استوانه (گرم) و Vt: حجم کل خاک معادل حجم استوانه نمونه‌برداری (سانتی‌مترمکعب) است.

همچنین برای تعیین دور آبیاری، میزان تبخیر روزانه از تشنگ تبخیر کلاس A اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان تبخیر و تعرق گیاه براساس معادله‌های ارائه‌شده (۵ و ۶) محاسبه گردید و آبیاری زمانی انجام گرفت که میزان تبخیر تجمعی از تشنگ به‌مقدار مشخص‌شده برای هر تیمار رسید. بدین ترتیب، دور آبیاری براساس میزان تبخیر تجمعی از تشنگ و نیاز آبی گیاه با استفاده از معادله ۴ تعیین گردید (Allen et al., 1998).

$$\text{معادله (۴)}$$

$$\text{دور آبیاری} = \frac{(\theta_{Fc} - \theta_{PWP}) \times D \times MAD \times BD}{ETC0}$$

$$ETC0 = KC \times ET \quad \text{معادله (۵)}$$

$$ET0 = KP \times ETP \quad \text{معادله (۶)}$$

نشت یونی

اندازه‌گیری نشت یونی با استفاده از روش فلاينت (Flinet, 1966) انجام گردید. از هر بوته یک برگ در موقعیت یکسان جدا و سپس توسط پانچر از هر برگ دیسک‌هایی تهیه و بر روی کاغذ صافی واتمن جهت حذف الکترولیت‌هایی که به سطوح آن‌ها چسبیده است، قرار داده شد و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. سپس نمونه‌ها داخل لوله‌های درب دار حاوی پنج میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری گردیدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) محلول در تماس با نمونه‌ها توسط EC متر (مدل Jenway 4010) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در دمای $20^\circ C$ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. جهت پاره شدن سلول‌ها و خروج محتویات آن‌ها به محلول، عمل یخ زدن و ذوب شدن چندین بار تکرار گردید. در نهایت، هدایت الکتریکی نهایی (EC_2) قرائت گردید. میزان نشت یونی با استفاده از معادله ۸ محاسبه گردید.

$$\text{معادله (۸)} \quad \frac{EC_1}{EC_2} \times 100 = \text{نشت یونی}$$

رنگی‌های فتوسنتزی

سنجش محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها به روش لیچنتال و ولبورن (Lichtenthaler & Wellburn, 1983) اندازه‌گیری گردید. ۰/۱ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی حاوی ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد و پس از صاف کردن، جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر (ANALYTIK JENA AG مدل SPECORD-50 ساخت آلمان) در طول موج‌های ۶۴۶/۸، ۶۴۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. جهت تنظیم دستگاه از استون ۸۰ درصد به‌عنوان شاهد استفاده گردید. غلظت رنگی‌های گیاهی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه با استفاده از معادله‌های ۹ تا ۱۱ محاسبه گردید.

$$\text{معادله (۹)} \quad \text{Chl. a} = (12.25A_{663.2} - 2.79A_{646.8})$$

$$\text{معادله (۱۰)} \quad \text{Chl. b} = (21.21A_{646.8} - 5.1A_{663.2})$$

$$\text{معادله (۱۱)}$$

$$\text{Car.} = [(1000A_{470} - 1.8 \text{ Chl. a} - 85.02 \text{ Chl. b})/198]$$

که در آن، Chl. a، Chl. b و Car. به ترتیب غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها می‌باشد.

پرویلین

مقدار پرویلین براساس روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بدین صورت که ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ گیاه جدا و در ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد سائیده و مخلوط یکنواختی آماده گردید. سپس عصاره حاصل

به مدت ۱۰ دقیقه در دور ۱۳۰۰۰ سانتریفیوژ گردید. پس از آن، از محلول رویی حاصل‌شده از هر نمونه برای اندازه‌گیری مقدار پرویلین استفاده شد. دو میلی‌لیتر از مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ عصاره با دو میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط گردید و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از خارج‌سازی نمونه‌ها از حمام بن‌ماری، لوله‌های محتوی مخلوط در حمام آب سرد قرار گرفتند. سپس چهار میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه و لوله‌ها به خوبی ورتکس شدند. سپس لوله‌ها به مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه ثابت نگه داشته شدند تا دو لایه مجزا در آن‌ها تشکیل شود. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرویلین بود برای اندازه‌گیری غلظت پرویلین استفاده شد. جهت قرائت طیف جذب این ماده رنگی از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده و مقدار پرویلین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

کربوهیدرات‌های محلول برگ

برای محاسبه مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ از روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen et al., 1992) استفاده گردید. در این روش، ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه وزن شده و در هاون چینی با پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد پودر شد. بعد از آن، محلول رویی را در فالدون ریخته و باقی‌مانده برگی مجدداً با ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد سائیده شد. مایع حاصل‌شده به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی سردشده توسط سمپلر برداشته و در لوله آزمایش ریخته و سه میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه‌شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) به آن اضافه گردید. لوله‌های آزمایش را به مدت ۱۰ دقیقه در بن‌ماری قرار داده تا ماده رنگی به دست آید. پس از سردشدن نمونه‌ها، میزان جذب آن‌ها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر سنجش شد. غلظت کربوهیدرات‌های محلول برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه‌ی برگ با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید.

کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز براساس روش دهیندسا و همکاران (Dhindsa et al., 1981) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر سنجش گردید. مخلوط واکنش شامل ۳۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH = ۷) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب مقدار تجزیه شدن پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر و با استفاده

از ضریب خاموشی $39/4$ میلی‌مول بر سانتی‌متر در مدت دو دقیقه مورد محاسبه قرار گرفت.

آسکورات پراکسیداز

مخلوط واکنش شامل بافر پتاسیم فسفات 50 میلی‌مولار ($PH=7$)، آسکورات $0/5$ میلی‌مولار، H_2O_2 15 میلی‌مولار، $EDTA$ $0/1$ میلی‌مولار و 100 میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب نوری مخلوط واکنش در دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج 290 نانومتر به مدت دو دقیقه، در برابر بلانک (ترکیب مذکور بدون عصاره آنزیمی) محاسبه شد. ضریب خاموشی برابر $2/6$ میکرومول بر سانتی‌متر برای اکسیداسیون در دو دقیقه گزارش شد (Nakano & Asada, 1987).

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده تنش خشکی در سطح احتمال $p \leq 0/01$ و اثر برهم‌کنش دوگانه پاکلوبوترازول و رقم در سطح احتمال $p \leq 0/01$ تأثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ گیاه ماش داشتند (جدول ۲). تنش خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد، به‌طوری که در تیمار 120 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمارهای 80 و 40 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، به‌ترتیب $15/24$ و $33/5$ درصد محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (شکل ۱). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و رقم نیز بیانگر این بود که در هر دو رقم ماش، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد و این افزایش در غلظت بیشتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (80 میلی‌گرم در لیتر) و رقم گوهر بیشتر بود، به‌طوری که کاربرد غلظت 80 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر $9/9$ درصد و در رقم پرتو، $10/23$ درصد محتوای نسبی آب برگ افزایش یافت (شکل ۲).

در این مطالعه، کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی، همراه با کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی مشاهده شد. به نظر می‌رسد که تخریب رنگیزه‌ها و کاهش ظرفیت فتوسنتزی (کاهش کلروفیل a و b) در اثر تنش، با اختلال در حفظ تعادل آب سلول، به کاهش وضعیت آبی برگ منجر شده است. همچنین محلول‌پاشی پاکلوبوترازول احتمالاً با حفظ بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی و بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ و بهبود تحمل گیاه به تنش خشکی شد.

کاهش محتوای نسبی آب برگ تحت تنش خشکی ناشی از کاهش پتانسیل آب خاک و محدود شدن جذب آب توسط ریشه‌ها

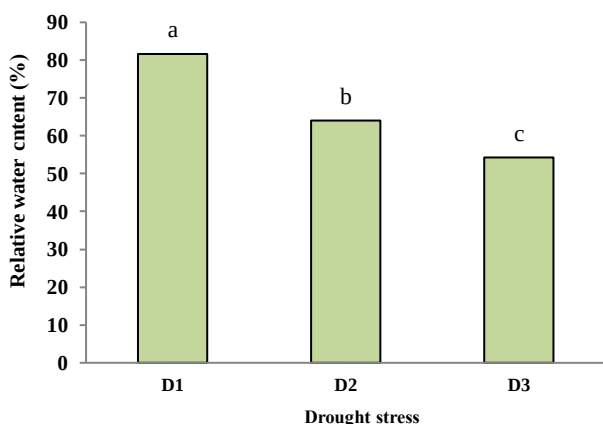
است که در نتیجه آن، تعادل بین جذب و از دست دادن آب در گیاه بر هم خورده و میزان آب موجود در بافت‌های برگ کاهش می‌یابد (Seleiman et al., 2021).

پاکلوبوترازول با افزایش سطح اسید آسبیزیک در برگ و القای بسته شدن روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق را کاهش داده و در نتیجه از کاهش آب بافت برگ جلوگیری می‌کند، همچنین کاهش سطح تعرقی برگ و ایجاد تغییرات ریخت‌شناختی و آناتومیکی در برگ، از جمله تغییر در ویژگی‌های روزنه‌ای، به حفظ آب سلولی و پایداری پتانسیل آب برگ کمک می‌کند، بنابراین گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول توانایی بیشتری در حفظ وضعیت هیدراتاسیون برگ نشان می‌دهند (Bañón et al., 2023). این نتایج در گیاهان زراعی دیگری مانند گندم (*Triticum aestivum* L.) (Dwivedi et al., 2017) نیز گزارش شده است.

نشت یونی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که میزان نشت یونی گیاه ماش تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم در سطح احتمال $P < 0/01$ معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در هر دو رقم ماش، میزان نشت یونی با افزایش سطوح خشکی، افزایش معنی‌دار یافت و با کاربرد محلول‌پاشی پاکلوبوترازول در همه شرایط رطوبتی اعمال‌شده، میزان نشت یونی کاهش یافت و این کاهش در رقم گوهر بیشتر بود به‌نحوی که کاربرد 80 میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم پرتو در شرایط 120 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر $42/9$ درصد و در شرایط 40 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر $23/54$ درصد و در رقم گوهر به‌ترتیب 27 و $13/97$ درصد نشت یونی کاهش یافت (شکل ۳).

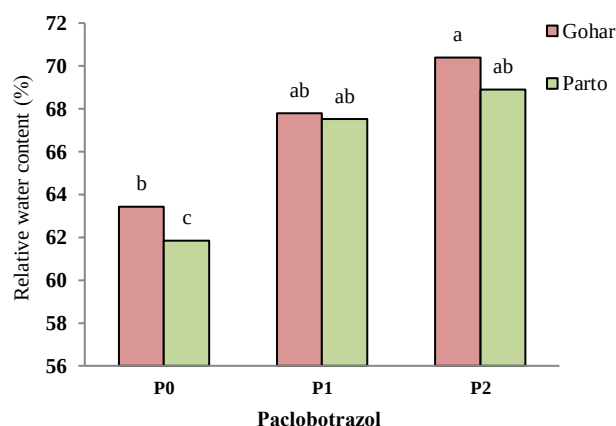
با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاهش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی موجب کاهش پایداری غشای سلولی و در نتیجه افزایش نشت یونی شده است. از سوی دیگر، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با افزایش محتوای نسبی آب برگ و حفظ بهتر وضعیت آبی گیاه، توانسته است یکپارچگی غشاهای سلولی را حفظ کرده و از افزایش نفوذپذیری آن‌ها جلوگیری کند. در نتیجه، میزان نشت یونی در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول کاهش یافت. تنش خشکی با آسیب به غشای سلولی و افزایش پراکسیداسیون لیپیدها، نفوذپذیری غشاء را افزایش داده و موجب نشت یون‌ها و الکترولیت‌ها از سلول می‌شود (Vessal et al., 2020).



شکل ۱- اثر ساده تنش خشکی بر محتوای نسبی آب برگ گیاه ماش
Figure 1- Simple effect of drought stress on leaf relative water content in mung bean

D1: ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر.

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan

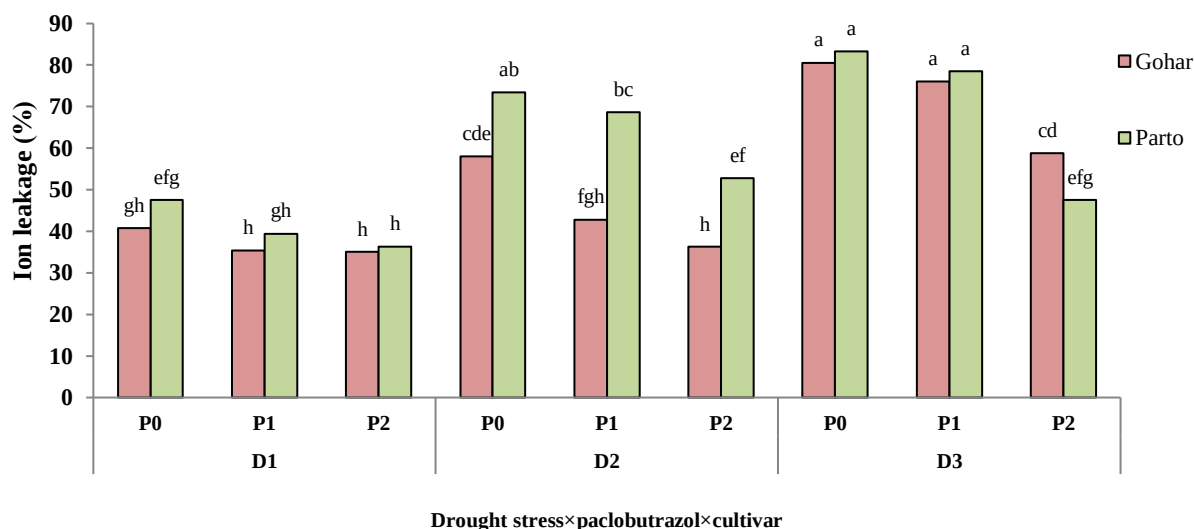


شکل ۲- اثر برهم کنش پاکلوبوترازول و رقم بر محتوای نسبی آب برگ گیاه ماش
Figure 2- Interaction effect of Paclobutrazol and cultivar on leaf relative water content in mung bean

P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی

پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول

P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application



شکل ۳- اثر برهم کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر نشت یونی گیاه ماش

Figure 3- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on leaf relative water content in mung bean

D1: ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف تیمارهای تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه ماش
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of different levels of drought stress and paclobutrazol treatments on physiological traits and grain yield of mung bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	نشت یونی Ion leakage	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	کاتالاز Catalase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	110.86 ^{ns}	137.88 ^{ns}	0.136 ^{ns}	0.506 ^{ns}	0.019 ^{ns}	110.3 ^{ns}	446.54 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0000008 ^{ns}	12810.41 ^{**}
تنش خشکی Drought stress	2	3457.17 ^{**}	3096.97 ^{**}	3.736 ^{**}	5.076 ^{**}	11.87 ^{**}	13671.35 ^{**}	31637.16 ^{**}	0.000074 ^{**}	0.0019 ^{**}	554809.95 ^{**}
خطای a Error a	4	7.21 ^{ns}	92.02 ^{ns}	0.269 ^{ns}	0.068 ^{ns}	0.054 ^{ns}	381.94 [*]	184.68 ^{ns}	0.00000014 ^{ns}	0.000035 ^{ns}	10748.51 ^{**}
پاکلوبوترازول Paclobutrazol	2	24.23 ^{ns}	2862.4 ^{**}	2.162 ^{**}	1.078 ^{ns}	0.074 ^{ns}	6485.23 ^{**}	22.19 ^{ns}	0.0000044 ^{**}	0.000096 ^{ns}	874.39 ^{ns}
رقم cultivar	1	0.033 ^{ns}	2.98 ^{ns}	0.804 ^{ns}	2.35 [*]	0.0019 ^{ns}	979.19 ^{**}	8296.83 ^{**}	0.000022 ^{**}	0.000028 ^{ns}	6755.42 ^{ns}
تنش خشکی × پاکلوبوترازول Drought stress × Paclobutrazol	4	55.74 ^{ns}	1377.95 ^{**}	1.418 [*]	1.394 ^{**}	0.079 ^{ns}	2477.89 ^{**}	10480.48 ^{**}	0.0000031 ^{**}	0.00084 ^{**}	18812.93 ^{**}
تنش خشکی × رقم Drought stress × cultivar	2	24.66 ^{ns}	132.38 ^{ns}	1.378 ^{ns}	2.704 ^{**}	0.095 ^{ns}	5948.1 ^{**}	989.88 ^{ns}	0.0000047 ^{**}	0.0013 ^{**}	12292.87 ^{**}
پاکلوبوترازول × رقم Paclobutrazol × cultivar	2	219.95 [*]	66.26 ^{ns}	4.307 ^{**}	2.78 ^{**}	0.106 ^{ns}	1299.86 ^{**}	6325.96 ^{**}	0.0000035 ^{**}	0.00085 ^{**}	9179.13 ^{**}
تنش خشکی × پاکلوبوترازول × رقم Drought stress × Paclobutrazol × cultivar	4	21.25 ^{ns}	183.07 ^{**}	1.952 ^{**}	1.013 ^{ns}	0.054 ^{ns}	3221.62 ^{**}	17945.11 ^{**}	0.0000022 ^{**}	0.0039 ^{**}	5983.25 [*]
خطای b Error b	30	68.64	43.47	0.483	0.399	0.046	97.87	342.21	0.0000003	0.0000046	1807.74
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	12.43	10.43	8.88	11.47	6.68	15.67	6.27	8.15	18.3	4.25

ns, * و **: به ترتیب عدم معنی داری و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns: non-significant, * and **: significant at 5% and 1% level of probability, respectively

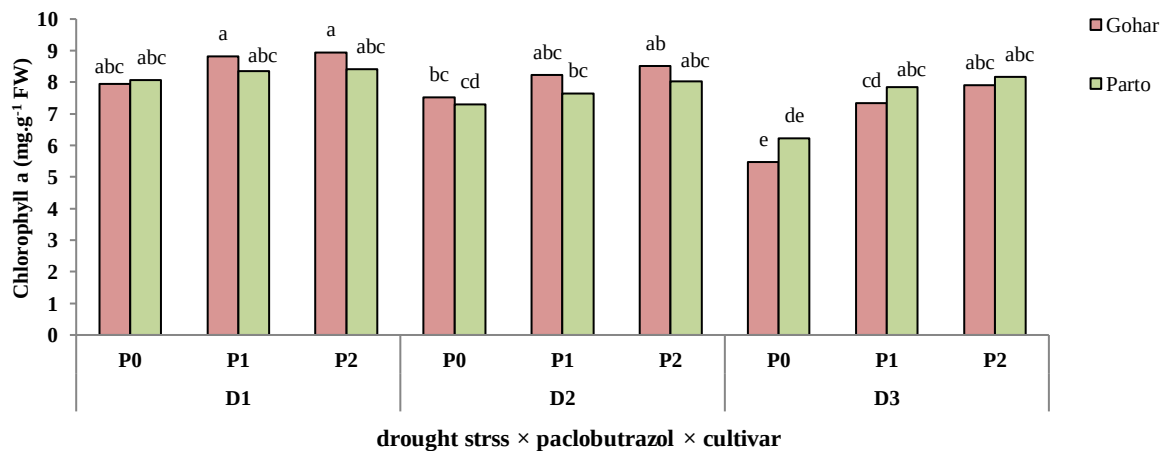
(2016). این اثر به بهبود پایداری غشاء و کاهش آسیب اکسیداتیو مرتبط است و در گیاهان زراعی مختلف نیز گزارش شده است، به طوری که در برنج تحت تنش کم آبی، کاهش نشت الکترولیت و بهبود شاخص پایداری غشاء مشاهده شده است (Maheshwari et al., 2024).

نتایج مشابهی در گیاهانی مانند نخود و ماش نیز گزارش شده است (Jothimani & Arulbalachandran, 2020). محلول پاشی پاکلوبوترازول با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها موجب حفظ یکپارچگی غشای سلولی و در نتیجه کاهش نشت یونی در شرایط تنش خشکی می‌شود (Pal et al., 2024).

کلروفیل a

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر این است که اثر برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم در سطح احتمال $P < 0.01$ بر میزان کلروفیل a در گیاه ماش تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). طبق مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم، در هر دو رقم پرتو و گوهر تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل a شد، اما محلول پاشی پاکلوبوترازول سبب افزایش میزان کلروفیل a گردید (شکل ۴). در شرایط ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر و در شرایط ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم پرتو میزان کلروفیل a بیشتری داشت. در محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر در شرایط ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۳۰/۷۵ درصد و در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۱۱/۱۸ درصد و در رقم پرتو به ترتیب ۲۳/۸۶ و ۴/۱ درصد میزان کلروفیل a افزایش یافت (شکل ۴). نتایج حاضر

نشان داد که کاهش محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل a تحت شرایط تنش خشکی با افزایش نشت یونی همراه بود. به نظر می‌رسد که کاهش وضعیت آبی گیاه موجب آسیب به غشاهای سلولی و افزایش نشت یونی شده و در نتیجه، ساختار کلروپلاست‌ها و رنگیزه‌های فتوسنتزی، به‌ویژه کلروفیل a نیز تحت تأثیر قرار گرفته است. در مقابل، کاربرد پاکلوبوترازول با افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی، به حفظ کلروفیل a و بهبود عملکرد فتوسنتزی گیاه کمک کرد. کاهش کلروفیل a در شرایط تنش خشکی احتمالاً ناشی از فتواکسیداسیون کلروفیل، تخریب ساختار تیلاکوئیدها و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل مانند کلروفیلاز در نتیجه تنش اکسیداتیو است (Shivalal et al., 2024). سوفی و همکاران (Sofy et al., 2020) در گیاه نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) گزارش دادند که محلول پاشی پاکلوبوترازول با کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از تخریب تیلاکوئیدها جلوگیری کرده و محتوای کلروفیل a و b را حفظ می‌کند، در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی گیاه بهبود می‌یابد.



شکل ۴- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان کلروفیل a گیاه ماش

Figure 4- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on chlorophyll a content in mung bean

D1: 40 میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

کلروفیل b

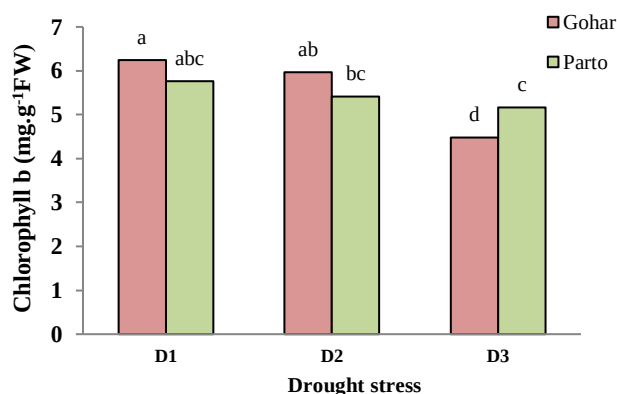
در این پژوهش، اثر برهم‌کنش دوگانه تنش خشکی و رقم در سطح احتمال $P < 0.01$ و اثر برهم‌کنش دوگانه پاکلوبوترازول و رقم در سطح احتمال $P < 0.01$ و برهم‌کنش تنش خشکی و پاکلوبوترازول در سطح احتمال $P < 0.01$ تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل b گیاه ماش داشتند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تنش خشکی

و رقم نشان داد که در هر دو رقم پرتو و گوهر، تنش خشکی سبب کاهش میزان کلروفیل b شد. در شرایط ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر و در شرایط ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم پرتو، میزان کلروفیل b بیشتری داشت. به‌نحوی که در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمارهای ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر در رقم پرتو ۶ و ۱۰/۲ درصد و در

نسبت داده می‌شود که پایداری غشاء و کلروپلاست را در شرایط کم‌آبی تقویت می‌کند (Desta & Amare, 2021).

کاروتنوئید

طبق جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده تنش خشکی در سطح احتمال $P < 0.01$ تأثیر معنی‌داری بر میزان کاروتنوئید گیاه ماش داشت و سایر عوامل آزمایشی تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). تنش خشکی سبب کاهش میزان کاروتنوئید شد، به‌نحوی که در تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر نسبت به تیمارهای ۸۰ و ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۲۱/۳۲ و ۵۱/۳۸ درصد میزان کاروتنوئید کاهش یافت (شکل ۸). نتایج حاضر نشان داد که کاهش کاروتنوئیدها تحت تنش خشکی همسو با کاهش کلروفیل‌های a و b بود. به نظر می‌رسد که تنش خشکی با افزایش آسیب اکسیداتیو و اختلال در عملکرد کلروپلاست‌ها موجب کاهش هم‌زمان رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است و از آنجاکه کاروتنوئیدها نقش مهمی در حفاظت از کلروفیل‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو دارند، کاهش آن‌ها می‌تواند با کاهش کلروفیل‌های a و b تحت شرایط تنش خشکی مرتبط باشد. تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کاروتنوئید مانند فیتوئن سنتاز و لایکوپن سیکلاز، را کاهش داده و منابع متابولیکی گیاه را به سمت سازوکارهای بقاء هدایت می‌کند (Shivalal et al., 2024). در دیگر مطالعات، کاهش محتوای کاروتنوئید تحت تنش خشکی در گیاه ماش نیز گزارش شده است (Jha et al., 2025).



شکل ۵- اثر برهم‌کنش تنش خشکی و رقم بر میزان کلروفیل b گیاه ماش

Figure 5- Interaction effect of drought stress and cultivar on chlorophyll b content in mung bean

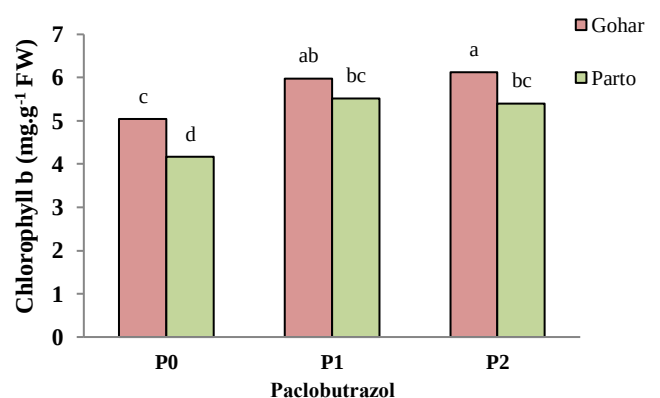
D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan

D1: ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan

رقم گوهر ۵ و ۲۸/۲ درصد میزان کلروفیل b کاهش یافت (شکل ۵). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش پاکلوبوترازول و رقم نیز بیانگر این بود که در هر دو رقم ماش، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول سبب افزایش میزان کلروفیل b شد و این افزایش در رقم گوهر نسبت به رقم پرتو بیشتر بود (شکل ۶). میزان کلروفیل b در محلول‌پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر ۱۷/۷ درصد و در رقم پرتو ۲۲/۷ درصد افزایش یافت (شکل ۶). در همه سطوح تنش خشکی، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول سبب افزایش میزان کلروفیل b شد. به‌طوری که در ۴۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، محلول‌پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌ترتیب ۵/۵، ۴/۸ و ۴/۲۷ درصد کلروفیل b افزایش یافت (شکل ۷).

یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاهش کلروفیل b همسو با کاهش کلروفیل a و محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی بود. به نظر می‌رسد که کاهش وضعیت آبی گیاه و آسیب غشاهای سلولی، پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی را کاهش داده است. در مقابل، کاربرد پاکلوبوترازول با حفظ وضعیت آبی گیاه و کاهش نشت یونی، از تخریب کلروفیل‌های a و b جلوگیری کرد. پاکلوبوترازول با کاهش اثرات مخرب تنش خشکی باعث افزایش یا حفظ محتوای کلروفیل a و به‌ویژه کلروفیل b می‌شود که این امر به بهبود جذب نور در سیستم فتوسنتزی و افزایش کارایی فتوسنتز منجر می‌گردد، این اثر معمولاً به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تغییر در تعادل هورمونی



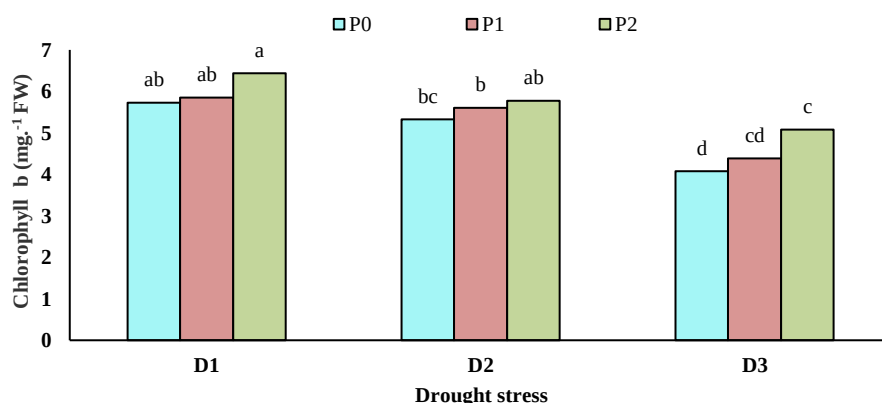
شکل ۶- اثر برهم‌کنش پاکلوبوترازول و رقم بر میزان کلروفیل b گیاه ماش

Figure 6- Interaction effect of paclobutrazol and cultivar on chlorophyll b content in mung bean

P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

P0: عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، P1: ۳۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و P2: ۸۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول

P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

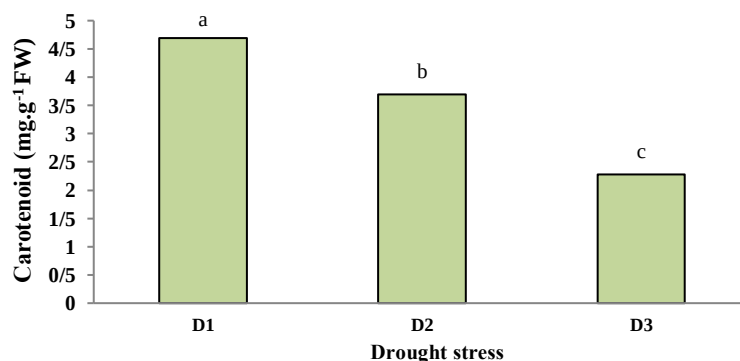


شکل ۷- اثر برهم کنش تنش خشکی و پاکلوبوترازول بر میزان کلروفیل b گیاه ماش

Figure 7- Interaction effect of drought stress and paclobutrazol on chlorophyll b content in mung bean

D1: ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application



شکل ۸- اثر ساده تنش خشکی بر میزان کاروتنوئید گیاه ماش

Figure 8- Simple effect of drought stress on carotenoid content in mung bean

D1: ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan

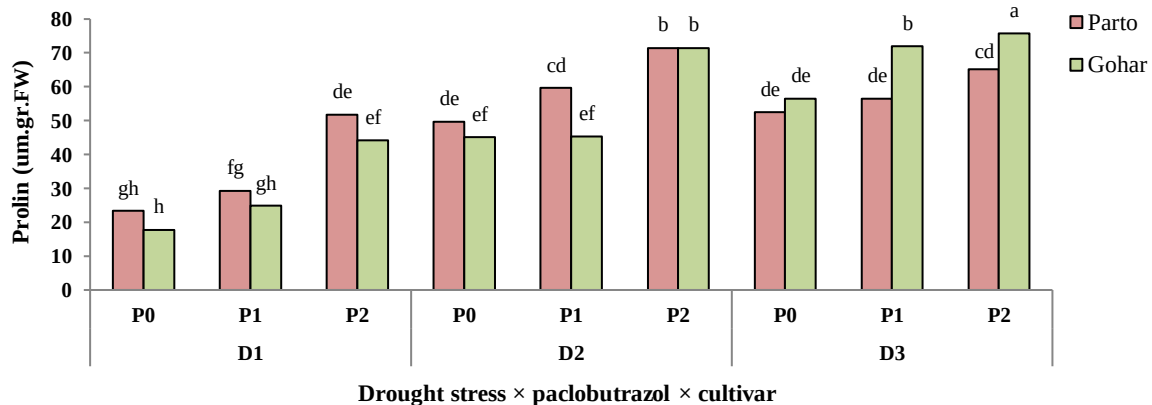
پرویلین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص کرد که میزان پرویلین به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تیمارهای تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم نشان داد که در هر دو رقم پرتو و گوهر، تنش خشکی سبب افزایش میزان پرویلین شد و در همه سطوح تنش خشکی، محلول پاشی پاکلوبوترازول سبب افزایش بیشتر میزان پرویلین گردید (شکل ۸). در شرایط ۴۰ و ۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر و در شرایط ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم پرتو میزان پرویلین بیشتری داشت. محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم

محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر در شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) ۱۹/۶۱ درصد و در شرایط ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر ۵۴/۹ درصد و در رقم پرتو به‌ترتیب ۲۵/۳ و ۵۹/۶ درصد میزان پرویلین افزایش یافت (شکل ۹). در این مطالعه، افزایش پرویلین تحت شرایط تنش خشکی همراه با افزایش قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بود، به نظر می‌رسد که پاکلوبوترازول با بهبود وضعیت آبی گیاه، حفظ پایداری غشاء و کاهش آسیب اکسیداتیو موجب فعال شدن بهتر سازوکارهای دفاعی گیاه و افزایش تجمع پرویلین شده است و افزایش پرویلین و قندهای محلول نیز از طریق تنظیم اسمزی، به حفظ آب سلول‌ها و افزایش تحمل گیاه ماش در برابر تنش خشکی کمک کرده است.

افزایش محتوای پرولین تحت تنش خشکی به‌عنوان یکی از سازوکارهای تنظیم اسمزی و مهم در سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی شناخته می‌شود که با حفاظت از غشاهای سلولی، پروتئین‌ها و آنزیم‌های سیتوپلاسمی، و همچنین کاهش و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد، به افزایش تحمل گیاه کمک می‌کند (Sumitra et al., 2024). باباراشی و همکاران

افزایش محتوای پرولین تحت تنش خشکی به‌عنوان یکی از سازوکارهای تنظیم اسمزی و مهم در سیستم آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی شناخته می‌شود که با حفاظت از غشاهای سلولی، پروتئین‌ها و آنزیم‌های سیتوپلاسمی، و همچنین کاهش و مهار گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزاد، به افزایش تحمل گیاه کمک می‌کند (Sumitra et al., 2024). باباراشی و همکاران



شکل ۹- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان پرولین گیاه ماش

Figure 9- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on proline content in mung bean

D1: ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول
D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

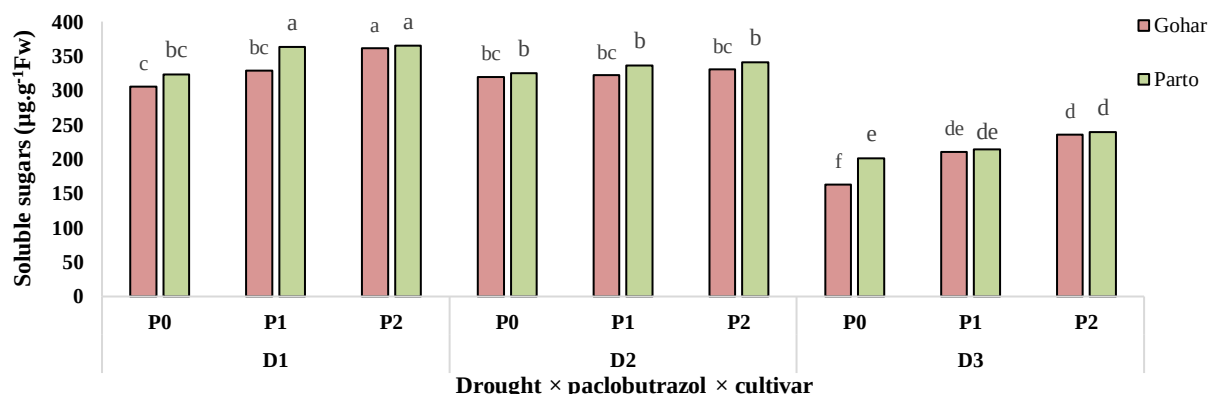
به نظر می‌رسد که افزایش قندهای محلول تحت شرایط تنش، در کنار کاهش محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده نقش قندهای محلول به‌عنوان اسمولیت‌های سازگارکننده در تنظیم اسمزی و کمک به حفظ وضعیت آبی سلول‌ها است. همچنین افزایش قندهای محلول در تیمار پاکلوبوترازول همراه با کاهش نشست یونی و حفظ بیشتر رنگیزه‌های فتوسنتزی بود که نشان می‌دهد پاکلوبوترازول با کاهش اثرات نامطلوب تنش، شرایط مناسب‌تری برای تجمع قندهای محلول فراهم کرده است.

پاکلوبوترازول با کاهش رشد رویشی باعث تغییر در تخصیص کربن به سمت ترکیبات سازگار با تنش می‌شود، در شرایط خشکی، این تغییر متابولیسی منجر به افزایش تجمع قندهای محلول در برگ می‌گردد که به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی عمل کرده و در حفظ تورژسانس سلولی و پایداری غشاء نقش دارند و در نتیجه تحمل به خشکی را بهبود می‌بخشند (Babarashi et al., 2021). در گندم نیز محلول‌پاشی پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی سبب افزایش قندهای محلول برگ شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Dwivedi & Kumar, 2016).

قندهای محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهم‌کنش سه‌گانه بین تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان قندهای محلول در سطح احتمال $p \leq 0.05$ معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم نشان داد که میزان قندهای محلول در هر دو رقم پرتو و گوهر در همه سطوح تنش خشکی و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول افزایش یافت (شکل ۱۰). در همه سطوح تنش خشکی، میزان قند محلول رقم پرتو بیشتر بود. محلول‌پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر در شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) ۳۰/۷ درصد و در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۱۵/۴۵ درصد و در رقم پرتو به‌ترتیب ۱۴/۳۹ و ۱۱/۴۷ درصد میزان قندهای محلول افزایش یافت (شکل ۱۰).

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، میزان قندهای محلول همانند پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافت و محلول‌پاشی پاکلوبوترازول این افزایش را تقویت کرد.



شکل ۱۰- اثر برهم کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان قندهای محلول برگ گیاه ماش

Figure 10- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on soluble sugars content in mung bean

D1: 40 میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: 80 میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: 120 میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: 30 mg.L⁻¹ غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول و P2: 80 mg.L⁻¹ غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول.

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

کاتالاز

میزان کاتالاز به طور معنی داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر برهم کنش سه گلنه تیمارهای تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم نشان داد که در هر دو رقم پرتو و گوهر در همه سطوح تنش خشکی و محلول پاشی پاکلوبوترازول، میزان کاتالاز افزایش یافت (شکل ۱۱). در شرایط ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر میزان کاتالاز بیشتری داشت. محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر و شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) ۲۰ درصد و در شرایط ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر پنج درصد و در رقم پرتو به ترتیب ۵ و ۱۱ درصد میزان آنزیم کاتالاز افزایش یافت (شکل ۱۱). طبق نتایج حاصل شده، افزایش فعالیت کاتالاز تحت شرایط تنش خشکی همراه با افزایش پرولین و قندهای محلول، بیانگر فعال شدن همزمان سازوکارهای دفاعی و تنظیم اسمزی گیاه در پاسخ به کمبود آب است، به نظر می رسد که محلول پاشی پاکلوبوترازول با بهبود وضعیت آبی گیاه از طریق افزایش محتوای نسبی آب برگ، کاهش آسیب غشایی از طریق کاهش نشت یونی و حفظ بیشتر رنگیزه های فتوسنتزی، شرایط مناسبی را برای تقویت سیستم آنتی اکسیدانی و افزایش فعالیت کاتالاز فراهم کرده است.

افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی تحت تنش خشکی نشان دهنده فعال شدن سازوکار دفاعی گیاه برای حذف گونه های فعال

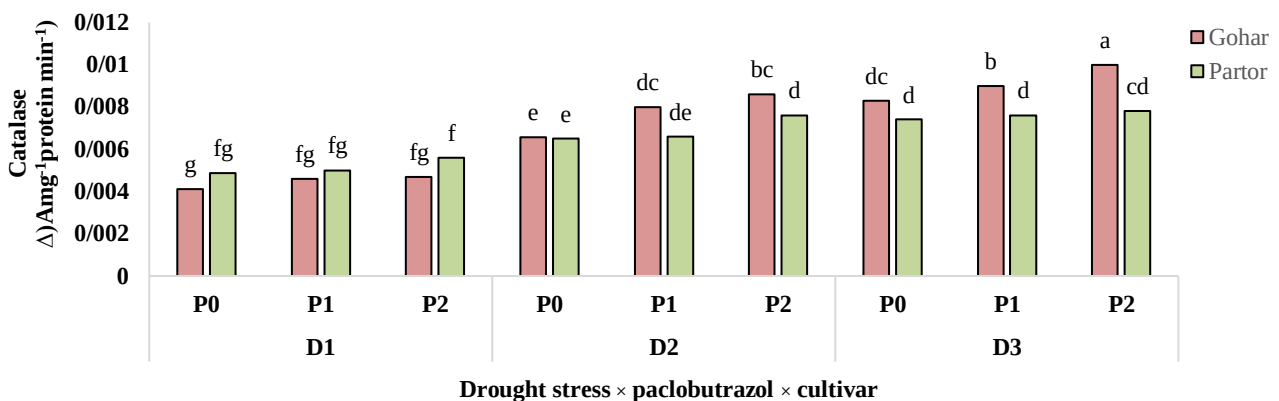
اکسیژن است (Wu & Yang, 2024). افزایش فعالیت این آنزیم ها و کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Chavoushi et al., 2019) نیز گزارش شده است. پاکلوبوترازول در شرایط خشکی با تعدیل وضعیت اکسید-احیاء و کاهش آسیب فتوسیستم ها موجب ایجاد سیگنال های اکسیداتیو کنترل شده و تقویت سیستم حذف رادیکال های آزاد اکسیژن می شود. در نتیجه فعالیت کاتالاز برای تجزیه پراکسید هیدروژن افزایش یافته و تعادل اکسیداتیو سلول حفظ می گردد (Yadav & Hemantaranjan, 2017).

آسکوربات پراکسیداز

اثر برهم کنش سه گانه تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم در سطح احتمال $P < 0.01$ تأثیر معنی داری بر میزان آسکوربات پراکسیداز گیاه ماش داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم نشان داد که میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز در هر دو رقم پرتو و گوهر در همه سطوح تنش خشکی و محلول پاشی پاکلوبوترازول افزایش یافت. اما در شرایط ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم پرتو و در شرایط ۸۰ و ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر میزان آسکوربات پراکسیداز بیشتری داشت. محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم پرتو و شرایط تنش خشکی شدید (۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر) ۳۶ درصد و در شرایط ۴۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر ۳۸/۸ درصد و در رقم گوهر به ترتیب ۳۰/۳ و ۴۷/۶۴ درصد میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش یافت

پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی با افزایش کارایی سیستم آنتی‌اکسیدانی و مهار تولید گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست موجب فعال‌سازی چرخه آسکوربات-گلوتاتیون می‌شود، در این مسیر، برای حذف مؤثر پراکسید هیدروژن، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزایش می‌یابد تا از تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن و آسیب اکسیداتیو به ساختارهای سلولی جلوگیری شود (Abbasi et al., 2015).

(شکل ۱۲). به نظر می‌رسد که افزایش تجمع ترکیبات اسمزی مانند پرولین و قندهای محلول، با حفظ وضعیت آب سلول، از شدت آسیب‌های ناشی از تنش کاسته و در کنار فعال شدن آسکوربات پراکسیداز، به حفظ پایداری غشاء و کاهش نشت یونی کمک کرده است. همچنین آنچه مشخص است، این است که محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با بهبود محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی، شرایط مناسب‌تری را برای عملکرد مؤثر سیستم آنتی‌اکسیدانی و افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز در گیاه ماش تحت تنش خشکی فراهم کرده است.

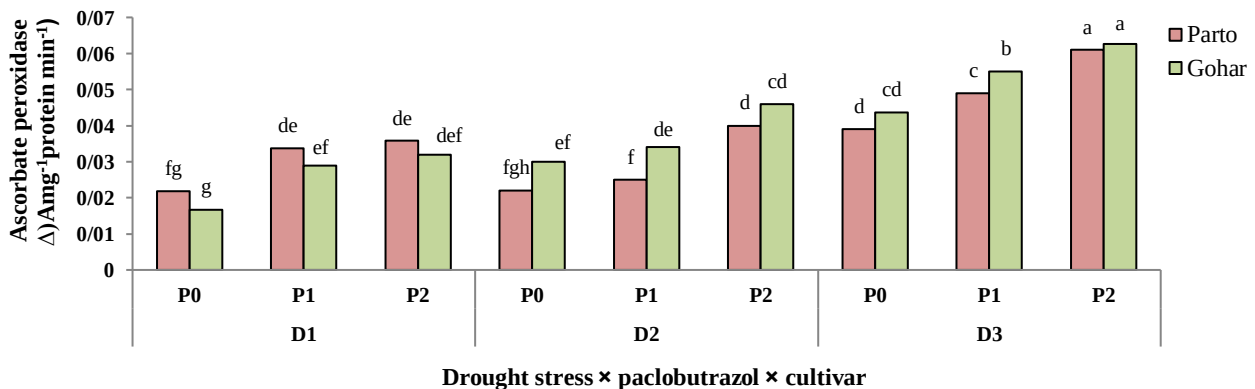


شکل ۱۱- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان آنزیم کاتالاز گیاه ماش

Figure 11- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on catalase enzyme activity in mung bean

(D1: ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول).

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application



شکل ۱۲- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان آنزیم آسکوربات پراکسیداز گیاه ماش

Figure 12- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on ascorbate peroxidase enzyme activity in mung bean

(D1: ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول‌پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر محلول‌پاشی پاکلوبوترازول).

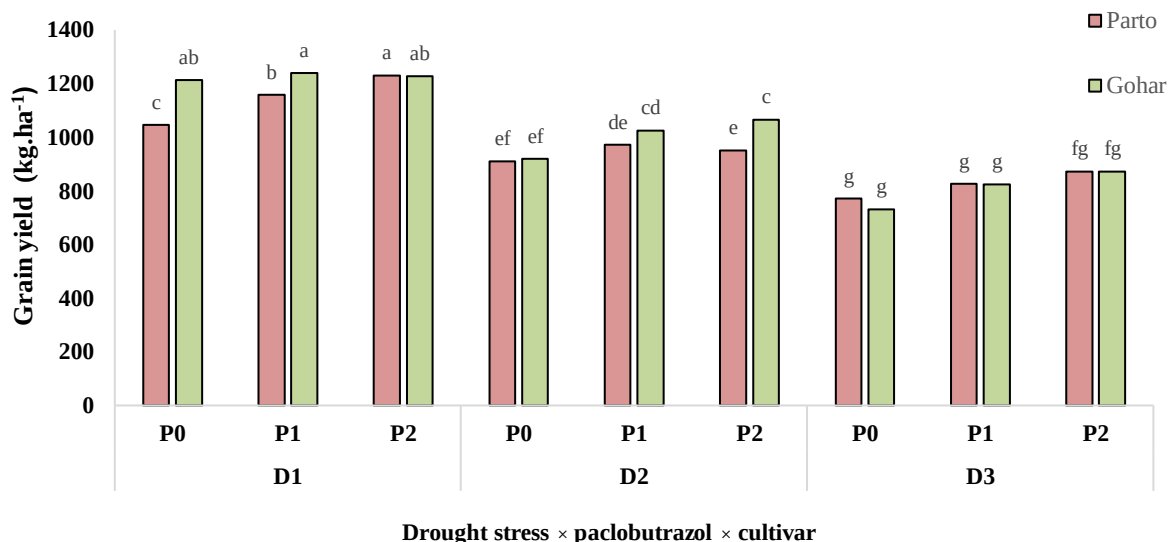
D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application).

عملکرد دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان عملکرد دانه در سطح احتمال $p \leq 0.05$ معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش سه‌گانه تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم در هر دو رقم ماش، با افزایش شدت تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش یافت، به‌نحوی که بیشترین میزان در سطح ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر حاصل شد. اما تیمار پاکلوبوترازول در همه سطوح تنش خشکی سبب اثر مثبت و افزایشی در عملکرد دانه شد (شکل ۱۳). در شرایط ۴۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم گوهر عملکرد دانه بیشتری داشت، اما در شرایط ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر رقم پرتو عملکرد دانه بیشتری حاصل شد؛ به‌نحوی که در محلول پاشی غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر پاکلوبوترازول نسبت به عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول (شاهد) در رقم گوهر در شرایط ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۳۰/۷۵ درصد و در شرایط ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۱۱/۱۸ درصد و در رقم پرتو به‌ترتیب ۲۳/۸۶ و ۴/۱ درصد میزان عملکرد دانه ماش افزایش یافت (شکل ۱۳). کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی با کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش نشت یونی همراه بود.

به نظر می‌رسد که افزایش پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش، با کاهش اثرات نامطلوب کمبود آب، به حفظ عملکرد گیاه کمک کرده است. همچنین محلول پاشی پاکلوبوترازول با بهبود صفات فیزیولوژیکی مذکور، شرایط مناسب‌تری برای افزایش عملکرد دانه فراهم کرد.

تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای و ظرفیت فتوسنتزی موجب کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌شود، همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌ها و تسریع پیری برگ، دوره پُر شدن دانه را کاهش داده و در نهایت باعث اُفت تعداد و وزن دانه می‌گردد (Sehgal et al., 2018). پاکلوبوترازول با مهار بیوسنتز جیبرلین‌ها، رشد رویشی را کاهش داده و سبب تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی می‌شود، همچنین با افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی، حفظ پایداری غشاء و بهبود تنظیم اسمزی، ظرفیت فتوسنتزی گیاه تحت تنش خشکی حفظ شده و در نهایت وزن دانه افزایش می‌یابد (Magtalas et al., 2020). در همین راستا، در برنج (*Oryza sativa* L.) (Nuraziza et al., 2025) و ذرت (*Zea mays* L.) (Kamran et al., 2020) نیز گزارش شد که کاربرد پاکلوبوترازول تحت تنش خشکی موجب بهبود صفات فیزیولوژیک و افزایش عملکرد دانه شد.



شکل ۱۳- اثر برهم‌کنش تنش خشکی، پاکلوبوترازول و رقم بر میزان عملکرد دانه گیاه ماش

Figure 13- Interaction effect of drought stress, paclobutrazol, and cultivar on grain yield activity in mung bean

D1: ۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D2: ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، D3: ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، P0: عدم محلول پاشی پاکلوبوترازول، P1: غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول و P2: غلظت ۸۰ میلی گرم در لیتر محلول پاشی پاکلوبوترازول

D1: 40 mm evaporation from the evaporation pan, D2: 80 mm evaporation from the evaporation pan, D3: 120 mm evaporation from the evaporation pan; P0: no paclobutrazol foliar application, P1: 30 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application, P2: 80 mg.L⁻¹ paclobutrazol foliar application

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی اثرات نامطلوب و معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه ماش داشت، به‌طوری که با افزایش شدت تنش، محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی و پایداری غشاهای سلولی کاهش یافت. با این حال، محلول‌پاشی پاکلوبوترازول با بهبود وضعیت آبی گیاه، حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی، افزایش تجمع ترکیبات تنظیم‌کننده اسمزی و تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی، توانست آثار زیان‌بار ناشی از تنش خشکی را تا حد زیادی کاهش دهد. افزایش محتوای نسبی آب برگ، پرولین، قندهای محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمار شده با پاکلوبوترازول بیانگر نقش مؤثر این تنظیم‌کننده رشد در افزایش تحمل گیاه ماش به شرایط کم‌آبی است. محلول‌پاشی

پاکلوبوترازول، به‌ویژه در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، در تمامی سطوح تنش خشکی موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه شد. مقایسه ارقام مورد بررسی نیز بیانگر آن بود که رقم گوهر در شرایط آبیاری مطلوب و تنش‌های خفیف تا متوسط، از نظر اکثر صفات فیزیولوژیکی عملکرد مطلوب‌تری داشت، در حالی که رقم پرتو در شرایط تنش شدید خشکی با حفظ بهتر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و فعال‌سازی مؤثرتر سازوکارهای دفاعی، تحمل بیشتری به خشکی نشان داد. با این وجود، ارزیابی کلی صفات مورد مطالعه و عملکرد نهایی گیاه نشان داد که رقم گوهر از برتری بیشتری برخوردار است. بنابراین، کاربرد پاکلوبوترازول به‌ویژه در غلظت ۸۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود وضعیت فیزیولوژیکی، افزایش تحمل به خشکی و ارتقای عملکرد گیاه ماش، به‌خصوص در رقم گوهر، توصیه شود.

References

- Abbasi, A., Shekari, F., & Mustafavi, S. H. (2015). Effect of paclobutrazol and salicylic acid on antioxidant enzyme activity in drought stress in wheat. *Idesia (Arica)*, 33(4), 5–13. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000400002>
- Abd El-Gawad, H. G., Mukherjee, S., Farag, R., Abd Elbar, O. H., Hikal, M., Abou El-Yazied, A., Abd Elhady, S. A., Helal, N., ElKelish, A., El Nahhas, N., Azab, E., Ismail, I. A., Mbarki, S., & Ibrahim, M. F. M. (2021). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA)-induced signaling events and field performance associated with mitigation of drought stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Signaling & Behavior*, 16(2), 1851490. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1853384>
- Abid, G., Sassi, K., Debode, F., Dubois, B., Nefissi Ouertani, R., Abdelkrim, S., Ghouili, E., Gao, Y., Li, Z., Jebara, S. H., Jebara, M., & Muhovski, Y. (2025). Comprehensive physiological and transcriptomic insights into drought stress responses in faba bean (*Vicia faba* L.). *BMC Plant Biology*, 25, 1604. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07670-9>
- Ahmadi, M., Zare, M. J., & Emam, Y. (2019). Study of quantitative and qualitative traits of bread wheat by using of cycocel, zinc sulfate and bio-fertilizer application under dry land farming. *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, 11(38), 148–161. (In Persian)
- Alghabari, F. M. (2026) Elucidation of drought tolerance mechanisms of different mungbean genotypes based upon physiological, biochemical and genetic mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 17, 1710212. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1710212>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300, 6541.
- Aria, P. (1997). Description of Methods of Physical Decomposition of Soil. Tehran Soil and Water Research Institute Publications. 65 p.
- Babarashi, E., Rokhzadi, A., Pasari, B., & Mohammadi, K. (2021). Ameliorating effects of exogenous paclobutrazol and putrescine on mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] under water deficit stress. *Plant, Soil and Environment*, 67(1), 40–45. <https://doi.org/10.17221/437/2020-PSE>
- Bañón D, Ortuño, M. F., Sánchez-Blanco, M. J., Pagán, B. L., & Bañón S. (2023). effects of Paclobutrazol and mepiquat chloride on the physiological, nutritional, and morphological behavior of potted icterina sage under greenhouse conditions. *Agronomy*, 13(8), 2161. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082161>
- Bates, L. S., Waldern, R. P., & Tear, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bucks, D. A., Nakayama, F. S., & Warrick, A. W. (1982). Principles, practices, and potentialities of trickle drip irrigation. In D. Hillel (Ed.). *Advances in Irrigation Agronomy Assets Cambridge*, 1, 219–298. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-024301-3.50013-7>
- Cao, Y., Yang, W., Ma, J., Cheng, Z., Zhang, X., Liu, X., & Wu, X. (2024). An integrated framework for drought stress in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(17), 9347. <https://doi.org/10.3390/ijms25179347>

- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2019). Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crops and Products*, 134, 168–176. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.071>
- Desta, B., & Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, 1. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32, 93–101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Diaz-Perez, J. C., Shackel, K. A., & Sutter, E. G. (2006). Relative water content. *Annals of Botany*, 97, 85–96.
- Dwivedi, S. K., Arora, A., & Kumar, S. (2017). Paclobutrazol-induced alleviation of water-deficit damage in relation to photosynthetic characteristics and expression of stress markers in contrasting wheat genotypes. *Photosynthetica*, 55(2), 351–359. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0652-5>
- Dwivedi, S. K., & Kumar, S. (2016). Retracted article: Effect of paclobutrazol on photosynthesis and expression of pyrroline-5-carboxylate synthase in contrasting wheat genotypes under water deficit stress condition. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 22(3), 425. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0343-5>
- Eesha, A., Kulshrestha, M., Choudhary, P., Kumar, A., & Nag, A. K. (2024). Metabolic and enzymatic evaluation of lentil (*Lens culinaris* Medik.) seedlings under drought stress. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(1), 43–48. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5884>
- Flinet, H. I., Boyce, B. R., & Beatti, D. J. (1966). Index of injury drought a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Canadian Journal of Plant Science*, 47, 229–230. <https://doi.org/10.4141/cjps67-043>
- Heidari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*, 26(2), 127-141. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327>
- Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84, 55–60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Jha, U. C., Shafi, S., Tallury, S., Nayyar, H., Ciampitti, I., Siddique, K., & Prasad, P. V. (2025). Differential physiological and yield responses of selected mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) genotypes to various high-temperature stress regimes. *Scientific Reports*, 15, 1034. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84615-6>
- Jothimani, K., & Arulbalachandran, D. (2020). Physiological and biochemical studies of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) under polyethylene glycol induced drought stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 101777. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101777>
- Kamran, M., Ahmad, S., Ahmad, I., Hussain, I., Meng, X., Zhang, X., Javed, T., Ullah, M., Ding, R., Xu, P., Gu, W., & Han, Q. (2020). Paclobutrazol application favors yield improvement of maize under semiarid regions by delaying leaf senescence and regulating photosynthetic capacity and antioxidant system during grain-filling stage. *Agronomy*, 10(2), 187. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020187>
- Khan, A. A., Wang, Y. F., Akbar, R., & Alhoqail, W. A. (2025). Mechanistic insights and future perspectives of drought stress management in staple crops. *Frontiers in Plant Science*, 16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1547452>
- Klute, A. (Ed.) (1986). *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed.). Madison, W. I. (1974). *Proceedings - Soil Science Society of America*. *Soil Science Society of America*, 38(1-3). <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed>
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11, 591–592. <https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Magtalas, M. P., Vizmonte, P. T., & Agustin, A. M. L. (2020). Promoting effects of paclobutrazol on the productivity of different rice (*Oryza sativa* L.) ecotypes under rainfed lowland condition. *Mining Science and Technology*, 18(2), 157–173. <https://doi.org/10.61310/mndjstea.0950.20>
- Maheshwari, C., Singh, P., Kumar, R., & Sharma, S. (2024). Ameliorative effects of paclobutrazol in rice under water deficit stress. *Rice Science*, 31(5), 603–616. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2024.03.004>
- Nakano, Y., & Asada, K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts; its inactivation in ascorbate -depleted medium and reactivation by monodehydroascorbate radical. *Plant and Cell Physiology*, 28(1), 131-140. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a077268>

- Nuraziza, S., Rahayu, M., & Purwanto, E. (2025). Physiological effects and yield of Mentik Wangi rice under drought stress with paclobutrazol application. *Annals of Biology*, 41(1), 77–85.
- Pal, S., Roychoudhury, A., & Chakraborty, N. (2016). Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism. *Scientific Reports*, 6, 39321. <https://doi.org/10.1038/srep39321>
- Panda, S., Mondal, S., Hembram, S., Atta, K., & Ali, O. (2023). Effect of paclobutrazol on vegetative and reproductive phenology of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Biological Forum – An International Journal*, 15(4), 609–612.
- Peterson, R. G., & Calvin, L. D. (1996). Sampling. In D. L. Sparks (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods*. Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy.
- Richards, L. A. (1948). Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Science*, 66(2), 105–110.
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H. M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., Hanumantha Rao, B., Nair, R. M., Prasad, P. V. V., & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1705. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Sharifa, S., & Abu-Muriefah, S. S. (2015). Effects of paclobutrazol on growth and physiological attributes of soybean (*Glycine max*) plants grown under water stress conditions. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 2(7), 81–93.
- Shivalal, N., Mukti Ram, P., Binod, P., Anjali, D., Harikala, P., & Radhakrishna, B. (2024). Drought stress effect, tolerance, and management in wheat – a review. *Cogent Food and Agriculture*, 10(1), 2296094. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094>
- Sofy, M. R., Elhindi, K. M., Farouk, S., & Alotaibi, M. A. (2020). Zinc and paclobutrazol mediated regulation of growth, upregulating antioxidant aptitude and plant productivity of pea plants under salinity. *Plants*, 9(9), 1197. <https://doi.org/10.3390/plants9091197>
- Soumya, P. R., & Kumar, P. (2017). Optimization of paclobutrazol dose for foliar and drenching applications under water deficit stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*, 8(4), 566–573.
- Sumitra, P., Benjamin, K., Hakan, O., Frederike, Z., & Michael, F. (2024). Physiological and biochemical changes induced by drought stress during the stem elongation and anthesis stages in the *Triticum* genus. *Environmental and Experimental Botany*, 228, 106047. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.106047>
- Vessal, S., Arefian, M., & Siddique, K. H. M. (2020). Proteomic responses to progressive dehydration stress in leaves of chickpea seedlings. *BMC Genomics*, 21, 523. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06930-2>
- Wu, H., & Yang, Z. (2024). Effects of drought stress and post-drought rewatering on winter wheat: A meta-analysis. *Agronomy*, 14(2), 298. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020298>
- Yadav, D. K., & Hemantaranjan, A. (2017). Mitigating effects of paclobutrazol on flooding stress damage by shifting biochemical and antioxidant defense mechanisms in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Legume Research*, 40(3), 453–461. <https://doi.org/10.18805/lr.v0i0.7593>

Contents

Research Articles	Page
Revival and Evaluation of the Traits of the Bean Germplasm Collection of the Khomein Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) and Assessment of Their Sensitivity to the Two-Spotted Spider Mite (<i>Tetranychus urticae</i>) Behroz Asadi, Sedighe Ashtari	1
Evaluation of the Agro-Economic Efficiency of Faba Bean (<i>Vicia faba</i> L.) Genotypes as a Second Crop after Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) in Guilan Region Mohammad Rabiee, Maryam Hosseini Chaleshtori, Sajjad Shaker Kouhi	17
Evaluation of the Compatibility and Stability of Pinto Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Genotypes using AMMI and REML/BLUP Methods Behrouz Asadi, Seyedeh Soudabeh Shobeiri, Ali Akbar Asadi, Foroud Salehi, Hossein Astaraki	31
Testing Value for Cultivation and Use (VCU) of "Sakar" Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) Variety Candidates for Commercialization Babak Darvishi, Hossein Kamari, Saman Sheidaei, Mohammadreza Jazaieri Noushabadi	49
Effects of Transplants Age and Tray Cell Size on Growth of Chickpeas (<i>Cicer arietinum</i> L.) Sajedeh Sadat Hosseini-Hodk, Mohammad Khajeh-Hosseini, Ahmad Nezami, Farnoush Fallahpour	65
Evaluation of Agronomic Value and Qualitative Indices of Forage Pea (<i>Pisum sativum</i> L.) Cultivars in Regions with Different Climatic Conditions in Iran Nima Khaledi, Mohamad Rahmani, Farshid Hassani, Ali Shayanfar, Saman Sheidaei	77
Effect of Planting Date, and Mycorrhiza and Rhizobium Biofertilizers on some Agromorphological, Physiological and Seed Protein of Two Lentil (<i>Lens culinaris</i> L.) Cultivars Zahra Ahmadi, Mahmoud Reza Tadayon, Mohammad Rafieiolhossaini, Marzieh Hassani	97
Effect of Salicylic Acid and Mycorrhiza on Morphophysiological Traits, Yield, and Nutrient Uptake of Two Rainfed Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) Cultivars in Lorestan, Iran Zeinab Imani, Mohamad Reza Moradi Telavat, Ahmad Koochekzadeh, Behrooz Mir Drikvand, Aydin Khodaei Joghhan	119
Investigating the Effect of Humic Acid and Farmyard Manure on the Growth and Yield of Mung Bean (<i>Vigna radiata</i> L.) Landraces under the Climatic Conditions of Samangan-Afghanistan Jamshid Shahab, Hamid Sodaieizadeh, Waliullah Zaree, Mohammad Anwar Sakhi Zadeh	135
Relative Yield, Sustainability Index and Comparative Advantage of Common bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Cultivation in Iran Amir Hooshang Jalali, Foroud Salehi	151
Effect of Humic Acid Application on Morphological Traits, Yield Components, and Seed Yield of Mung Bean (<i>Vigna radiata</i> L.) Cultivars Sajjad Rahimi, Khosro Azizi, Sajjad Rahimi-Moghadam	163
Responses of Physiological Traits of Mung Bean (<i>Vigna radiata</i> L.) to Paclobutrazol Foliar Application under Drought Stress Behrooz Omid, Nosratollah Abbasi, Fereshteh Darabi	177

Iranian Journal of
Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 17, No. 1, 2026, S. No.: 33

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in Charge: Dr. Mohammad Kafi

Editor in Chief: Dr. Ahmad Nezami

Editorial Board:

Alireza Afsharifar	Professor, Shiraz University
Ahmad Arzani	Professor, College of Agriculture, Isfahan University of Technology (IUT)
Nadeali Babaeian Jelodar	Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Abdolreza Bagheri	Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
Mohammad Galavi	Professor, Zabol University
Serrollah Galeshi	Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Ali Ganjeali	Professor, College of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
Ali Izadi Darbandi	Professor, Tehran University
Mohammad Kafi	Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
Saeid Malekzadeh Shafaroudi	Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
Nasser Majnoun Hosseini	Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj
Hossain Massumi	Professor, University of Shahid Bahonar Kerman
Ahmad Nezami	Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM)
Hadi Ostovan	Professor, College of Agricultural Sciences, Shiraz Branch, Islamic Azad University
Sayyed Hossain Sabaghpour	Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Hamadan

Assistant:

Hassan Porsa (M.Sc.)

Dr. Mohammad Bannayan Avval

Dr. Fahimeh Feyzi

This journal has the “Scholarly Grade” issued by the Ministry of Sciences, Research & Technology (No. 3/11/3785 dated 07/06/2010) and is published based on a Memorandum of Cooperation between Mashhad Ferdowsi University and the following universities: Isfahan University of Technology; Tarbiat Modares University; University of Shahid Bahonar Kerman; Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; Shiraz Branch, Islamic Azad University; Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

This journal is indexed in: DOAJ, JournalsPedia, Internet Arshive, EuroPub, Portico, Agris, EBSCO, (ISC) Islamic World Science Citation Center (<http://www.isc.gov.ir>); (magiran) Iranian Journals Database (<http://www.magiran.com>); (SID) Scientific Information Database (www.SID.ir); Google Scholar (<http://scholar.google.com>); and ...

Address:

Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Azadi Square, Mashhad- Iran

ZIP Code: 9177948974; **Tel.:** +98-51-38804653; **Fax:** +98-51-430-38787

E-mail: ijpr@um.ac.ir; **Web Site:** <http://ijpr.um.ac.ir>

Iranian Journal of Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

ISSN (print): 2980-793X
ISSN (online): 2783-5367

Faculty of Agriculture
Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 17(1); June 2026; S. No.: 33

- **Revival and Evaluation of the Traits of the Bean Germplasm Collection of the Khomein Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Assessment of Their Sensitivity to the Two-Spotted Spider Mite (*Tetranychus urticae*)** 1
Behroz Asadi, Sedighe Ashtari
- **Evaluation of the Agro-Economic Efficiency of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes as a Second Crop after Rice (*Oryza sativa* L.) in Guilan Region** 17
Mohammad Rabiee, Maryam Hosseini Chaleshtori, Sajjad Shaker Kouhi
- **Evaluation of the Compatibility and Stability of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes using AMMI and REML/BLUP Methods** 31
Behrouz Asadi, Seyedeh Soudabeh Shobeiri, Ali Akbar Asadi, Foroud Salehi, Hossein Astaraki
- **Testing Value for Cultivation and Use (VCU) of "Sakar" Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Variety Candidates for Commercialization** 49
Babak Darvishi, Hossein Kamari, Saman Sheidaei, Mohammadreza Jazaery Noushabadi
- **Effects of Transplants Age and Tray Cell Size on Growth of Chickpeas (*Cicer arietinum* L.)** 65
Sajedeh Sadat Hosseini-Hodk, Mohammad Khajeh-Hosseini, Ahmad Nezami, Farnoush Fallahpour
- **Evaluation of Agronomic Value and Qualitative Indices of Forage Pea (*Pisum sativum* L.) Cultivars in Regions with Different Climatic Conditions in Iran** 77
Nima Khaledi, Mohamad Rahmani, Farshid Hassani, Ali Shayanfar, Saman Sheidaei
- **Effect of Planting Date, and Mycorrhiza and Rhizobium Biofertilizers on some Agromorphological, Physiological and Seed Protein of Two Lentil (*Lens culinaris* L.) Cultivars** 97
Zahra Ahmadi, Mahmoud Reza Tadayon, Mohammad Rafieiohossaini, Marzieh Hassani
- **Effect of Salicylic Acid and Mycorrhiza on Morphophysiological Traits, Yield, and Nutrient Uptake of Two Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars in Lorestan, Iran** 119
Zeinab Imani, Mohamad Reza Moradi Telavat, Ahmad Koochekzadeh, Behrooz Mir Drikvand, Aydin Khodaei Joghani
- **Investigating the Effect of Humic Acid and Farmyard Manure on the Growth and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Landraces under the Climatic Conditions of Samangan-Afghanistan** 135
Jamshid Shahab, Hamid Sodaiezhadeh, Waliullah Zaree, Mohammad Anwar Sakhi Zadeh
- **Relative Yield, Sustainability Index and Comparative Advantage of Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivation in Iran** 151
Amir Hooshang Jalali, Foroud Salehi
- **Effect of Humic Acid Application on Morphological Traits, Yield Components, and Seed Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Cultivars** 163
Sajjad Rahimi, Khosro Azizi, Sajjad Rahimi-Moghadam
- **Responses of Physiological Traits of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) to Paclobutrazol Foliar Application under Drought Stress** 177
Behrooz Omid, Nosratollah Abbasi, Fereshteh Darabi