

پژوهش های حبوبات ایران

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

نشریه علمی - دوفصلنامه
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

سال (دوره) ۱۶، شماره ۲، نیمه دوم ۱۴۰۴ - شماره پیاپی: ۳۲

- ارزیابی تأثیر کاربرد محرک های آلی رشد و مقادیر مختلف کودهای شیمیایی بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد باقلا (*Vicia faba L*) ۲۱۷
معصومه نعیمی، زیبا اورسچی، لیلا آهنگر
- ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ های پیشرفته عدس (*Lens culinaris Medik*) بر اساس شاخص های مبتنی بر مدل های AMMI، MGIDI و BLUP ۲۲۹
پیام پزشکپور، رضا امیری، امیر میرزایی، اصغر مهربان، امین نامداری
- اثر زمان و آرایش کاشت و محلول پاشی بور بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ باقلا) (*Phaseolus vulgaris L.*) در استان گیلان ۲۵۱
صالح حسن زاده، مسعود اصفهانی، علی اعلمی
- بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris L.*) رقم کوشا در شرایط تنش کم آبی ۲۶۷
محمد غیاث آبادی، حمیدرضا عیسوند، فرهاد نظریان فیروز آبادی، عادل غدیری
- اثر پرایمینگ بذر و محلول پاشی عناصر آهن و روی بر رشد و عملکرد عدس (*Lens culinaris Medik*) و ویژگی های جوانه زنی بذور تولیدی در شرایط دیم ۲۷۹
محمد وحدانی رشواتلویی، مجید جامی الاحمدی، محمد حسن سیاری زهان، هادی شوریده
- بررسی تنوع مورفولوژیک ارقام و لاین های عدس (*Lens sp. Medik*) بر اساس صفات زراعی ۲۹۹
هاجر بدری، زهرا طهماسبی، مهدی گراوندی
- بررسی فواصل آبیاری و استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات روزنه ای لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) ۳۱۷
بتول محمدکریمی، یاسر علیزاده، رحیم ناصری، فرشته دارابی
- اثر تاریخ کاشت و منابع کودی بر عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L.*) در شرایط کم آبیاری ۳۳۳
کامیار کاظمی، سید نادر موسویان، حمدااله اسکندری
- بررسی اثر زیست محیطی برخی گیاهان توصیه شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس (*Lens culinaris*) به منظور انتخاب سازگارترین گیاه ۳۵۱
حمدااله اسکندری، سید نادر موسویان
- مطالعه برهم کنش سطوح اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک و مؤلفه های عملکردی ارقام لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L*) ۳۶۳
محسن پورفرخی، شهرام لک، ناصر ظریفی نیا، طیب ساکی نژاد، مانی مجدم
- بررسی ویژگی های جوانه زنی و بنیه بذر ژنوتیپ های امیدبخش عدس (*Lens culinaris Medik*) ۳۸۱
توران امن زاده، احمد توبه، سلیم فرزانه، نگین امن زاده، سعید حیدرزاده
- ارزیابی اثر متقابل تاریخ کاشت و بذرمال زیستی بر صفات ریشه و عملکرد نخود (*Cicer arietinum L.*) دیم در یک مطالعه دوساله ۳۹۷
یاسر عظیم زاده، حمید حسینیان خوشرو، آرش محمدزاده، غلامرضا قهرمانیان، رامین لطفی، حلیمه رزمی



باغبانکاری



دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه تربیت مدرس



دانشگاه شهید بهشتی تهران



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی کرمان



دانشگاه علوم و تحقیقات



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

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) ۱۶، شماره ۲، نیمه دوم ۱۴۰۴ - شماره پیاپی: ۳۲

صاحب امتیاز:

مدیر مسئول:

سر دبیر:

هیأت تحریریه:

دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمد کافی

دکتر احمد نظامی

دکتر احمد ارزانی

دکتر هادی استوان

دکتر علیرضا افشاری‌فر

دکتر علی ایزدی دربندی

دکتر نادعلی 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

استاد ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه صنعتی اصفهان)

استاد حشره‌شناسی (دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز)

استاد بیماری‌های گیاهی (دانشگاه شیراز)

دانشیار ژنتیک مولکولی و مهندسی ژنتیک (دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان)

استاد ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)

استاد ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد اصلاح نباتات (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان)

استاد فیزیولوژی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد زراعت (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان)

استاد زراعت (دانشگاه زابل)

استاد فیزیولوژی گیاهی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد زراعت و اصلاح نباتات (پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران)

استاد گیاه‌پزشکی (دانشگاه شهید باهنر کرمان)

استاد ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

ویراستار:

مهندس حسن پُرسا (ویراستار علمی)

دکتر محمد بنایان اول (ویراستار چکیده مبسوط انگلیسی)

دکتر فهیمه فیضی (ویراستار فنی، صفحه‌آرا)

همکاران این شماره:

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
۲۱۷	ارزیابی تأثیر کاربرد محرک‌های آلی رشد و مقادیر مختلف کودهای شیمیایی بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد باقلا (<i>Vicia faba</i> L.) معصومه نعیمی، زیبا اورسجی، لیلا آهنگر
۲۲۹	ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس (<i>Lens culinaris</i> Medik) براساس شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های AMMI، BLUP و MGIDI پیام پزشکیپور، رضا امیری، امیر میرزایی، اصغر مهربان، امین نامداری
۲۵۱	اثر زمان و آرایش کاشت و محلول پاشی بور بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ‌باقلا) (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) در استان گیلان صالح حسن‌زاده، مسعود اصفهانی، علی اعلمی
۲۶۷	بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) رقم کوشا در شرایط تنش کم‌آبی محمد غیاث آبادی، حمیدرضا عیسوند، فرهاد نظریان فیروز آبادی، عادل غدیری
۲۷۹	اثر پرایمینگ بذر و محلول پاشی عناصر آهن و روی بر رشد و عملکرد عدس (<i>Lens culinaris</i> Medik) و ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور تولیدی در شرایط دیم محمد وحدانی رشوانلویی، مجید جامی الاحمدی، محمد حسن سیاری زهان، هادی شوریده
۲۹۹	بررسی تنوع مورفولوژیک ارقام و لاین‌های عدس (<i>Lens</i> sp. Medik.) براساس صفات زراعی هاجر بدری، زهرا طهماسبی، مهدی گراوندی
۳۱۷	بررسی فواصل آبیاری و استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات روزنه‌ای لوبیا چشم‌بلبلی (<i>Vigna unguiculata</i> L.) بتول محمدکریمی، یاسر علیزاده، رحیم ناصری، فرشته دارابی
۳۳۳	اثر تاریخ کاشت و منابع کودی بر عملکرد و کیفیت دانه لوبیا چشم‌بلبلی (<i>Vigna unguiculata</i> L.) در شرایط کم‌آبیاری کامیار کاظمی، سید نادر موسویان، حمداله اسکندری
۳۵۱	بررسی اثر زیست‌محیطی برخی گیاهان توصیه‌شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس (<i>Lens culinaris</i>) به‌منظور انتخاب سازگارترین گیاه حمداله اسکندری، سید نادر موسویان
۳۶۳	مطالعه برهم‌کنش سطوح اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک و مؤلفه‌های عملکردی ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (<i>Vigna unguiculata</i> L.) محسن پورفرخی، شهرام لک، ناصر ظریفی نیا، طیب ساکی نژاد، مانی مجدم
۳۸۱	بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر ژنوتیپ‌های امیدبخش عدس (<i>Lens culinaris</i> Medik.) توران امن زاده، احمد توبه، سلیم فرزانه، نگین امن زاده، سعید حیدرزاده
۳۹۷	ارزیابی اثر متقابل تاریخ کاشت و بذرمال زیستی بر صفات ریشه و عملکرد نخود (<i>Cicer arietinum</i> L.) دیم در یک مطالعه دوساله یاسر عظیم‌زاده، حمید حسینیان خوشرو، آرش محمدزاده، غلامرضا قهرمانیان، رامین لطفی، حلیمه رزمی



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.91464.1102>

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.)

Masoumeh Naeemi^{1*} , Ziba Avarseji¹ , Leila Ahangar¹ 

Received: 01 January 2025
Revised: 10 October 2025
Accepted: 23 November 2025
Available Online: 23 November 2025

Cite this article:

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 with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.91464.1102>

Introduction

Faba bean (*Vicia faba* L.) is a strategic legume crop widely cultivated for its high protein content, contribution to human and animal nutrition, and its capacity to biologically fix atmospheric nitrogen, thereby enhancing soil fertility and reducing the need for synthetic nitrogen fertilizers. Despite these advantages, faba bean productivity in many semi-arid regions remains suboptimal, largely due to inefficient nutrient management practices and an overreliance on chemical fertilizers. Excessive use of mineral fertilizers not only increases production costs but also contributes to soil degradation and environmental pollution. Consequently, there is growing interest in sustainable nutrient management strategies that integrate chemical fertilizers with organic inputs and biostimulants to improve crop performance while minimizing environmental impacts. Organic biostimulants, such as humic substances and plant-derived extracts—are increasingly valued for improving soil properties, stimulating root growth, enhancing nutrient availability, and regulating key physiological and biochemical processes in plants. Humic acid, a major component of soil organic matter, plays a crucial role in improving soil structure, cation exchange capacity, and nutrient uptake efficiency. Similarly, Equilibrate Vegetative Organic (EVEO), a plant-based biostimulant, contains naturally occurring growth-promoting compounds that can enhance photosynthetic activity, metabolic efficiency, and overall plant vigor. However, information on the combined effects of these biostimulants with reduced or recommended rates of NPK fertilizers on faba bean growth and yield under semi-arid conditions remains limited.

Materials and Methods

The present study was conducted to evaluate the effects of humic acid and EVEO, applied alone or in combination with different levels of NPK fertilizers, on growth characteristics, yield components, biological yield, harvest index, and green pod yield of faba bean. The experiment was carried out during the 2018–2019 growing season at the research farm of Gonbad Kavous University, northern Iran, under semi-arid climatic conditions. The experimental design was a randomized complete block design (RCBD) with three replications and nine nutritional treatments, including: (1) control (no fertilizer), (2) 100% recommended NPK, (3) 100% NPK + humic acid, (4) 100% NPK + EVEO, (5) 50% NPK + humic acid, (6) 50% NPK + EVEO, (7) humic acid alone, (8) EVEO alone, and (9) combined application of humic acid and EVEO without mineral fertilizer. Standard agronomic practices were applied uniformly throughout the growing period.

Results and Discussion

The results demonstrated that nutrient management treatments significantly affected most growth parameters, yield components, and total biomass production of faba bean. In contrast, the harvest index was not significantly influenced by the applied treatments, indicating that yield enhancement was mainly driven by increased biomass accumulation rather than changes in biomass allocation. Treatments combining organic biostimulants with mineral fertilizers consistently produced superior results compared with the control and sole mineral fertilizer treatments. Notably, the application of humic acid or EVEO in combination with 50% of the recommended NPK rate resulted in yields comparable to or higher

1- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

* Corresponding Author: Naeemi_701@yahoo.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/).

than those obtained with the full NPK rate, highlighting the capacity of these biostimulants to improve nutrient use efficiency. The observed improvements in growth and yield attributes can be attributed to the synergistic interaction between organic biostimulants and mineral fertilizers. Humic acid likely enhanced root growth and nutrient uptake through improvements in soil structure and nutrient availability, while EVEO may have stimulated key physiological processes via its bioactive constituents. These complementary mechanisms promoted improved vegetative growth, reproductive development, and yield formation. Importantly, the ability to maintain or enhance yield with reduced mineral fertilizer inputs underscores the potential of biostimulants to support more sustainable and resource-efficient cropping systems.

Conclusions

The findings of this study demonstrate that integrating organic biostimulants such as humic acid and EVEO with mineral fertilizers is an effective and environmentally sustainable strategy for improving the growth, yield, and productivity of faba bean under semi-arid conditions. This integrated nutrient management approach reduces dependence on synthetic fertilizers while maintaining high crop performance, thereby contributing to more sustainable agricultural practices. The results provide valuable insights for faba bean cultivation in northern Iran and other regions with similar agro-ecological conditions and support the broader adoption of combined organic–inorganic fertilization strategies in sustainable crop production systems.

Acknowledgements

I am very grateful to the vice-chancellor for education and research of Gonbad Kavos University for the financial support of this research.

Keywords: Green pod, Grain yield, Humic acid, Organic fertilizer



ارزیابی تأثیر کاربرد محرک‌های آلی رشد و مقادیر مختلف کودهای شیمیایی بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.)

معصومه نعیمی^{۱*}، زیبا اورسجی^۱، لیلا آهنگر^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد محرک‌های رشد آلی و کودهای شیمیایی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد باقلا (*Vicia faba* L.)، پژوهشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شد. آزمایش با هشت تیمار کودی و یک شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای کودی شامل مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس (مصرف ۱۰۰ درصد NPK)، ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک، ۱۰۰ درصد NPK + متعادل کننده آلی رشد (EVEO: Equilibrate Vegetative Organic)، ۵۰ درصد NPK + اسیدهیومیک، ۵۰ درصد NPK + EVEO و کاربرد منفرد EVEO و اسیدهیومیک بودند. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای تلفیقی به ویژه کاربرد ۵۰ درصد NPK همراه با اسید هیومیک یا EVEO، عملکردی معادل تیمار ۱۰۰ درصد NPK ایجاد کردند. این ترکیب‌ها به طور معنی داری سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد غلاف و دانه، و عملکرد بیولوژیک شدند، در حالی که شاخص برداشت تغییر معنی داری نیافت. بیشترین مقدار عملکرد دانه (حدود ۴۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK حاصل شد که نسبت به شاهد، افزایش حدود ۴۳ درصدی داشت. تیمار ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک نیز با ۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد در رتبه دوم قرار گرفت. عملکرد غلاف سبز نیز در تیمارهای ۱۰۰ درصد EVEO + NPK، ۱۰۰ درصد NPK و ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک به ترتیب ۴۲، ۳۸ و ۳۳ درصد بیشتر از شاهد بود. در مجموع، ترکیب محرک‌های رشد آلی با سطوح مختلف کود شیمیایی موجب بهبود معنی دار صفات مرتبط با رشد رویشی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه گردید. براساس یافته‌های این پژوهش، می‌توان استفاده همزمان از کودهای آلی نظیر اسیدهیومیک و ترکیب EVEO در کنار کاهش نسیبی کودهای شیمیایی را به عنوان رویکردی زیست سازگار و پایدار برای کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی و افزایش پایداری تولید باقلا در نظام‌های زراعی منطقه توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهیومیک، عملکرد دانه، غلاف سبز، کود آلی

مقدمه

صرفه اقتصادی و دستیابی به سیستم کشاورزی پایدار می‌توانند نقش مهمی را در چرخه تولیدات محصولات کشاورزی در استان گلستان ایفا کنند (Nosrat et al., 2023). باقلا از نظر میزان تثبیت زیستی نیتروژن در مقایسه با سایر حبوبات برتری قابل توجهی داشته و ضمن تقویت حاصلخیزی خاک موجب صرفه جویی در مصرف کودهای شیمیایی صنعتی می‌گردد. عملکرد دانه در کشور معادل ۱۲۷۸ کیلوگرم در هکتار است که حدود ۵۰۰ کیلوگرم کمتر از میانگین جهانی است. توان بالای باقلا برای تثبیت نیتروژن، سرمادوست بودن و در نتیجه امکان کاشت به صورت پاییزه و به تبع آن نیاز کم و یا حتی عدم نیاز به آبیاری (در مناطق شمالی کشور)، معدود بودن آفات و بیماری‌ها، برداشت زود هنگام در بهار و در نتیجه امکان کاشت بسیاری از گیاهان زراعی گرمادوست از جمله سویا (*Glycine max* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) و

باقلا با نام علمی *Vicia faba* L. متعلق به خانواده Fabaceae است و به دلیل دانه‌های سبز و خشک غنی از پروتئین، امروزه به عنوان یکی از حبوبات مهم جهان جایگاه ویژه‌ای در تولید غذا دارد (Alsawaf & Ibraheem, 2023). استان گلستان با دارا بودن بیش از ۳۵ درصد سطح زیر کشت و با عملکرد ۱۰۳۰۸ و ۸۳۸۵ کیلوگرم در هکتار غلاف سبز به ترتیب در شرایط آبی و دیم، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های باقلا در کشور محسوب می‌شود. میزان تولید باقلا در ایران در حدود ۴۶ هزار تن می‌باشد که از سطحی معادل ۳۶ هزار هکتار به دست می‌آید. سطح زیر کشت باقلا در استان گلستان حدود ۲۹۵۰ هکتار گزارش شده است که عمده محصول آن به صورت غلاف سبز برداشت می‌گردد (Sheikh & Faizbakhsh, 2019). گیاهان خانواده حبوبات به عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی با ارائه خدمات سازگار با محیط و بوم‌نظام، از لحاظ بهبود حاصلخیزی خاک،

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Naeemi_701@yahoo.com

حتی پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در تناوب با آن حائز اهمیت است و گسترش کاشت آن می‌تواند پایداری سیستم‌های زراعی را بهبود بخشد (Rabiei & Ebrahimi, 2023).

تغذیه صحیح گیاهان زراعی ضمن حفظ محیط زیست سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی می‌گردد. مصرف کودها و ترکیبات آلی با کاهش هزینه تولید و آلودگی‌های زیست‌محیطی، راهی برای پایداری و انعطاف‌پذیری بیشتر در کشاورزی است. محرک‌های رشد گیاهی محصولاتی هستند که از مواد مختلف آلی به دست می‌آیند و قادرند رشد و عملکرد را افزایش دهند و اثرات منفی تنش‌های غیرزنده را کاهش دهند (Rouphael & Colla, 2018). این مواد شامل هیومات و اسیدفولویک و تمامی ترکیبات با منشأ طبیعی نیز می‌باشد که باعث افزایش رشد و کاهش آثار تنش می‌گردند.

EVEO^۱ (متعادل‌کننده آلی رشد) محصولی است با پایه آلی و ساخت کشور ایتالیا که به‌منظور بهبود و متعادل‌سازی رشد گیاهان فرموله شده است. این فرآورده برای تعادل رشد رویشی گیاهان، به‌ویژه در شرایط نامطلوب آب‌وهوایی تولید شده و به‌نوعی ماده‌ای ضدتنش است که براساس اسمولیت‌ها و تنظیم‌کننده‌های اسمزی عمل می‌کند. برخلاف بسیاری از فرمولاسیون‌های دیگر که تنها به‌عنوان ماده غذایی برای گیاه عمل می‌کنند و یا صرفاً دارای فعالیت هورمونی هستند، این ماده فرآیند متابولیسم طبیعی گیاه را نیز تحریک می‌کند. همه این موارد منجر به داشتن گیاهان زراعی متعادل شده که قادر هستند آب و مواد مغذی بیشتری جذب کنند (Nosulya, 2016). کاربرد EVEO موجب بهبود سوخت‌وساز کلی گیاه شده و در تلفیق با مکمل‌های غذایی دیگر می‌تواند جذب عناصر ضروری کمیاب را افزایش دهد (Nosulya, 2016).

از ترکیبات آلی تقویت‌کننده رشد گیاه و سازگار با محیط زیست، هیومیک‌ها هستند. هیومیک حاوی گروه‌های کربوکسیلات و فنولات بوده که توانایی تشکیل کلات‌های پیچیده با عناصر و یون‌های غذایی را دارند (Ahmad et al., 2020). مواد هیومیک با پیت، لیگنیت اکسیدشده، هوموس، زغال سنگ و غیره استخراج شده و از نظر اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت بوده و با مقادیر اندک اسیدهای آلی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند (Weerasekara et al., 2021). اسیدهیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم عناصر مختلف را از مواد معدنی آزاد کرده، به خود جذب نموده و در زمان مناسب در اختیار ریشه قرار دهد، بنابراین می‌توان گفت که این ترکیب، خوراک و محرک رشد ریزجانداران مفید خاک است که با روش‌های گوناگون به آزادسازی عناصر در خاک کمک می‌کنند (Liu et al., 2022). از

مزایای دیگر اسیدهیومیک، رشد لندام‌های هوایی و غنی بودن از نیتروژن، رفع کلروز برگ‌ها، سهولت جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشد (Canellas et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدهیومیک باعث بهبود عملکرد و کیفیت میوه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شده است (Aslani et al., 2019). کاربرد کود آلی اسیدهیومیک منجر به افزایش وزن هزار دانه در گیاه لوبیا لیما (*Phaseolus lunatus* L.) گردید (Beheshti et al., 2017). بررسی اثر کودهای شیمیایی و زیستی روی گیاه باقلا در کشور عراق نشان داد که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی NPK ارتفاع بوته، تعداد برگ و شاخه افزایش قابل توجهی یافت (Jasim & Khudair, 2018). نتایج پژوهش تأثیر اسیدهیومیک روی نخود (*Cicer arietinum* L.) نشان داد که استفاده از اسیدهیومیک، شرایط را برای رشد بهتر مهیا نمود و با افزایش تعداد دانه در بوته، عملکرد بوته را افزایش داد و به ۸/۴۷ گرم در بوته رساند و باعث افزایش ۳۲/۷۶ درصدی عملکرد بوته نسبت به عدم استفاده از اسیدهیومیک شد (Nakhzari Moghadam et al., 2017). نتایج پژوهش روی باقلا نشان داد که محلول‌پاشی اسیدهیومیک به‌میزان ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در هکتار منجر به بهبود صفات وزن ۱۰۰ دانه، وزن خشک بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گردید (Roudgarnejad et al., 2022). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که کاربرد کودهای آلی نظیر اسیدهیومیک سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه گیاه لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) شد (Faizad et al., 2019). برخی پژوهشگران اظهار داشتند که تلفیق کودهای شیمیایی و آلی موجب افزایش وزن دلنه‌ها در گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) گردید (Salehi et al., 2017).

در بررسی اثر اسیدهیومیک و کود شیمیایی NPK روی ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شده است که کاربرد اسیدهیومیک همراه با کود NPK در خاک به‌طور معنی‌داری وزن خشک کل گیاه را افزایش داد (Wulandari et al., 2019). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که کاربرد ۱۰۰ درصد کود رایج همراه با ۱۵ کیلوگرم اسیدهیومیک در هکتار منجر به تولید بالاترین وزن غده در بوته گردید. در خصوص کاربرد ترکیبات آلی در کشاورزی طی تحقیقی مشخص شد که کاربرد بهبوددهنده رشد EVEO و اسیدهیومیک به همراه ۱۰۰ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش تعداد غده در گیاه سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شد (Avarseji & Tanha Khajeh, 2017). نتایج مطالعه دیگری نشان داد که کاربرد کودهای آلی به همراه کود

استفاده شدند. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی و پیاده‌سازی نقشه طرح، کرت‌هایی با ابعاد دو در چهار متر ایجاد و در داخل هر کرت چهار ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. در این تحقیق از رقم برکت استفاده گردید. کشت به‌صورت ردیفی (در هر کرت چهار ردیف به‌طول چهار متر، فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر) به‌صورت دیم انجام شد. اسیدهیومیک مصرفی با نام تجاری Humikey حاوی ۶۵ درصد اسید هیومیک، ۱۵ درصد اسید فولویک و ۸ درصد پتاسیم محلول در آب ساخت کشور چین بود که به‌صورت خاک‌مصرف (چهار کیلوگرم در هکتار براساس دوز توصیه‌شده) استفاده شد. ترکیب EVOE ساخت کشور ایتالیا بود که ترکیبات آن در جدول ۲ ذکر شده است و به‌میزان ۰/۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت محلول‌پاشی برگی و طی دو مرحله قبل از گل‌دهی طی اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ مورد استفاده قرار گرفت. در طول فصل زراعی، مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز صورت گرفت.

در مرحله رسیدگی غلاف سبز، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه از هر کرت برداشت و صفاتی همچون ارتفاع بوته، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری عملکرد غلاف سبز، کلیه غلاف‌های موجود در سطح یک مترمربع با حذف اثر حاشیه در هر کرت به‌طور دستی برداشت گردید و برحسب گرم در مترمربع محاسبه گردید. سپس، مقادیر به‌دست‌آمده به عملکرد غلاف سبز در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) تبدیل شدند. همچنین به‌منظور اندازه‌گیری صفات عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بیولوژیک، از هر واحد آزمایشی یک مترمربع با حذف حاشیه‌ها برداشت گردید و پس از خشک کردن دانه‌ها عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه خشک‌کن با دمای ۷۵ سانتی‌گراد تا ثابت شدن وزن قرار گرفتند. سپس وزن ماده خشک به‌عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت و به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. شاخص برداشت نیز به‌عنوان نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد و به‌صورت درصد بیان گردید.

برای تجزیه آماری داده‌های حاصل از آزمایش از نرم‌افزار آماری SAS استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها نیز از طریق آزمون LSD محاسبه شد.

شیمیایی موجب افزایش ارتفاع گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گردید (Chezgi et al., 2018). شعبانی و آرمین (Shabani & Armin, 2015) گزارش کردند که کاربرد مواد آلی اسیدهیومیک در کنار کود شیمیایی منجر به افزایش تعداد دانه در گیاه نخود گردید. گروهی از پژوهشگران گزارش کردند کاربرد اسیدهیومیک منجر به افزایش عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه سه رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) گرمسیری گردید و بر این اساس، کاربرد کودهای آلی را جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی معرفی نمودند (Shahbazi et al., 2015). محققان با بررسی تأثیر کاربرد محرک‌های رشد گیاهی بر خصوصیات کمی و کیفی گندم نتیجه گرفتند که مصرف توأم کودهای آلی و کود شیمیایی منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته گندم شد و اظهار داشتند، اگرچه استفاده از محرک‌های رشد گیاهی به‌صورت تکی یا همراه با کودهای شیمیایی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد، ولی بیشترین تأثیر مربوط به مصرف توأم این ترکیبات بود (Rafie et al., 2020).

این تحقیق با هدف بررسی اثرات ترکیب متعادل‌کننده رشد (EVEO) و اسیدهیومیک در تلفیق با کودهای شیمیایی بر رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه باقلا در شرایط آب‌وهوایی گنبدکاوس انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاوس با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا به‌صورت دیم اجرا شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آزمایش با هشت تیمار کودی و یک شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای کودی شامل مصرف کودهای نیتروژن، فسفر و پتاس (مصرف ۱۰۰ درصد NPK)، ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک، ۱۰۰ درصد NPK + EVEO، ۵۰ درصد NPK + اسیدهیومیک، ۵۰ درصد NPK + EVEO و کاربرد منفرد EVEO و اسیدهیومیک بودند. مقدار کود مورد استفاده در منطقه برای باقلا (تیمار ۱۰۰ درصد NPK) ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تربیل، ۵۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات و ۱۰۰ کیلوگرم اوره بود و کوددهی براساس آزمون خاک صورت گرفت. مصرف کودهای شیمیایی فسفات و پتاس قبل از کاشت انجام شد و کاربرد کود نیتروژن به‌صورت ۵۰ درصد هنگام کاشت و ۵۰ درصد آن در مرحله پر شدن دانه به‌صورت سرک به خاک اضافه گردید. برای تیمار ۵۰ درصد NPK نیز مقادیر ذکرشده به‌میزان ۵۰ درصد درصد

نتایج و بحث

درصد و بر صفات وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح آماری پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). تیمارهای اعمال‌شده تأثیر معنی‌داری بر صفات طول غلاف و شاخص برداشت نداشتند (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای تغذیه‌ای مختلف بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، عملکرد غلاف سبز و عملکرد بوته در سطح آماری یک

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش
Table 1- Soil characteristics of experiment site

عمق خاک (سانتی‌متر) Soil depth (cm)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC	بافت Texture
0-30	0.08	13	356	7.94	0.77	سیلتی لومی Silty loam

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی و تغذیه‌ای EVEO
Table 2- Chemical and nutrient composition of EVEO

درصد %	ترکیب Composition
73-84	پلی‌اتیلن گلیکول Polyethylene Glycol
19.50-21	آب Water
3 g.kg ⁻¹ >	اسید هیومیک Humic acid
0.014	نیتروژن N
0.005	فسفر P
0.019	پتاسیم K

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات مورد ارزیابی در باقلا
Table 3- Variance analysis of some evaluated traits in beans

وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	تعداد دانه در غلاف Seeds/ plant	تعداد غلاف در بوته Pods/ plant	طول غلاف Pod height	ارتفاع بوته Plant height	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
3178	0.025	0.361	7.20	9.31	2	تکرار Replication
3639*	1.16**	9.21*	1.86 ^{ns}	525.86**	8	تیمار تغذیه‌ای Nutrient treatment
1183.77	0.06	2.37	1.69	10.65	16	خطا Error
12.25	5.60	20.31	7.13	2.55	-	ضریب تغییرات CV (%)

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

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

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات مورد ارزیابی در باقلا

Table 3- Variance analysis of some evaluated traits in beans, continued

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد دانه در بوته	عملکرد غلاف سبز	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیکی	شاخص برداشت
S.O.V	df	Seeds/ plant	Pod yield	Grain yield	Biological yield	Harvest index
تکرار	2	6.36	992	102200	230000	59.34
Replication						
تیمار تغذیه‌ای	8	26.90 ^{ns}	4872 ^{**}	13339 ^{**}	780000 ^{**}	24.14 ^{ns}
Nutrient treatment						
خطا	16	14.78	498	15500	3000000	88.76
Error						
ضریب تغییرات	-	12.95	11.58	14.27	14.65	17.98
CV (%)						

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

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

ارتفاع بوته

در این پژوهش مشخص گردید که اثر تیمارهای تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳) و کاربرد کودهای آلی به‌ویژه به‌صورت تلفیق با مقادیر مختلف کود شیمیایی موجب افزایش ارتفاع بوته باقلا گردید. بین تیمارهای کودی بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK مشاهده گردید و پس از آن کاربرد اسیدهیومیک به همراه تیمار مصرف کود شیمیایی به‌میزان ۱۰۰ درصد، بیشترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد. کمترین میزان صفت یادشده نیز مربوط به تیمار عدم مصرف کود بود که با تیمار کاربرد اسیدهیومیک به‌تنهایی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مشخص شده است که کاربرد برخی کودهای آلی از جمله اسیدهیومیک به‌دلیل دارا بودن

خواص شبه هورمونی موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، افزایش طولی شدن ریشه‌ها، سرعت بخشیدن به رشد شاخه‌ها و طولی شدن نهال‌های جوان می‌شوند. در همین راستا، منقش و همکاران (Monaghash et al., 2015) طی پژوهشی اظهار داشتند که کاربرد کودهای آلی به همراه کود شیمیایی منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته در گیاه سیب‌زمینی گردید. همچنین طی مطالعه دیگر مشخص شد که کاربرد کودهای آلی به همراه کود شیمیایی منجر به افزایش ارتفاع گیاه ریحان شد (Chezgi et al., 2018). پلیمرهای اسیدهیومیک همچنین ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسبی برای موجودات خاک‌زی، تهویه مناسب خاک و نفوذ بیشتر آب‌وهوا و ریشه در خاک فراهم می‌کند.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای تغذیه‌ای بر صفات مورد ارزیابی در باقلا

Table 4- Mean comparison of the effects of nutritional treatments on the evaluated traits of faba bean

تیمارهای تغذیه‌ای	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در غلاف	وزن ۱۰۰ دانه	تعداد دانه در بوته	عملکرد غلاف سبز (وزن تر) (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (وزن خشک) (کیلوگرم در هکتار)
Nutrient treatments	Plant height (cm)	Pods/ plant	Seeds/ pod	100-seed weight	Seeds/ plant	Pods yield (kg.ha ⁻¹)	Biological yield (kg.ha ⁻¹)
شاهد	108.00 ^e	5.10 ^d	3.65 ^d	226.60 ^c	23/10 ^d	8200 ^e	6300 ^f
Control							
اسیدهیومیک	111.80 ^e	6.20 ^{cd}	3.80 ^{cd}	261.44 ^{bc}	26.80 ^{cd}	9340 ^{de}	6830 ^e
Humic acid							
متعادل‌کننده آلی رشد	122.40 ^d	6.60 ^{bcd}	4.20 ^{bcd}	274.20 ^{bc}	27.20 ^{bcd}	10387 ^{cd}	7310 ^d
EVEO							
NPK 50%	126.32 ^d	6.80 ^{bcd}	4.10 ^{bcd}	309.90 ^{ab}	26.20 ^{bcd}	10986 ^{cd}	7740 ^{cd}
NPK 50% + humic acid	128.20 ^d	6.75 ^{bcd}	4.00 ^{bcd}	314.65 ^{ab}	29.30 ^{bcd}	11130 ^c	7650 ^{cd}
NPK 50% + EVEO	129.31 ^d	8.30 ^{abc}	4.40 ^{bc}	327.40 ^{ab}	27.40 ^{bc}	11750 ^{bc}	6820 ^{de}
NPK 100%	133.42 ^c	6.50 ^{bcd}	4.72 ^b	349.40 ^a	32.10 ^b	12250 ^{ab}	8200 ^{de}
NPK 100% + humic acid	144.46 ^b	8.90 ^{ab}	3.90 ^b	319.90 ^{ab}	36.70 ^a	13260 ^a	8870 ^{ab}
NPK 100% + EVEO	157.30 ^a	11.20 ^a	5.70 ^a	325.00 ^{ab}	35.40 ^a	14206 ^a	9260 ^a

* براساس آزمون LSD اعدادی که در هر ستون دارای حروف مشابه هستند، اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each attribute do not differ significantly based on the LSD test.

تعداد غلاف در بوته

به‌طور کلی در حبوبات، تعداد غلاف در بوته به عنوان حساس‌ترین و مؤثرترین جزء عملکرد دانه به تغییرات محیطی شناخته می‌شود که غالباً سهم تعیین‌کننده‌ای در تغییرپذیری عملکرد نهایی ایفا می‌کند. مشخص شده است که تعداد غلاف در باقلا مهم‌ترین جزء عملکرد به شمار می‌آید و بیشترین سهم را در تغییرات عملکرد دانه دارد. زیرا غلاف از یک سو در برگیرنده تعداد دانه بوده و از سوی دیگر از طریق تأمین مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای دانه‌ها در افزایش عملکرد نقش دارد. به‌صورتی که تعداد غلاف بیشتر در این گیاه منجر به افزایش عملکرد نهایی می‌گردد. در این پژوهش، اثر تیمار تغذیه‌ای بر تعداد غلاف در بوته در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود و نتایج مقایسه میانگین‌ها مشخص کرد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار تغذیه‌ای ۱۰۰ درصد EVEO + NPK بود که با تیمارهای ۱۰۰ درصد NPK + اسید هیومیک و ۵۰ درصد EVEO + NPK اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان صفت مذکور نیز مربوط به تیمار عدم مصرف تیمارهای تغذیه‌ای بود (جدول ۴). براساس این نتایج، افزودن ترکیبات آلی به کود شیمیایی، حتی در مقادیر ۵۰٪ موجب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته باقلا گردید و این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت مدیریت تلفیقی کود بر اجزای عملکرد باقلا می‌باشد و این امکان را فراهم می‌کند تا بخشی از کودهای شیمیایی مصرفی را توسط ترکیبات آلی مغذی و محرک رشد جایگزین نمود. اورسچی و تنها خواجه (Avarseji & Tanha Khajeh, 2017) طی آزمایش مشابهی گزارش کردند که کاربرد بهبوددهنده رشد EVEO و اسید هیومیک به همراه ۱۰۰٪ کود شیمیایی موجب افزایش تعداد غده در گیاه سیب‌زمینی گردید. گروهی از پژوهشگران اظهار داشتند که کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش تعداد غلاف در لوبیا لیمه گردید. مشخص شده است که مصرف اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی و خاکی موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و جبریلین در گیاه می‌شود (Abdel-Mawgoud et al., 2007). به نظر می‌رسد که این سازوکار بتواند توجیه مناسبی برای افزایش تعداد غلاف در بوته باقلا در کنار تیمار مصرف کود شیمیایی باشد که می‌تواند برآیندی از عوامل مختلف فیزیولوژیکی و ریخت‌شناختی از جمله جلوگیری از ریزش گل‌ها، افزایش تعداد شاخه فرعی و ... باشد. به‌علاوه، فراهمی بهتر نیتروژن و سایر عناصر غذایی در مرحله بحرانی تشکیل غلاف‌ها در شرایط تلفیقی کود شیمیایی و آلی، نقش کلیدی دارد. این بهبود به‌طور عمده ناشی از اثرات مفید کود آلی در افزایش عرضه پایدار عناصر، بهبود عملکرد فتوسنتزی، تسهیم کارآمدتر مواد فتوسنتزی و در مجموع، بهبود رشد گیاه است.

با توجه به اینکه باقلا توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن را نیز دارد، بنابراین بالا بودن تعداد غلاف در این گیاه را می‌توان به فراهمی

عناصر در مرحله تشکیل غلاف نسبت داد. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2017) نیز گزارش کردند که با کاربرد کود شیمیایی و کود آلی، تعداد غلاف در گیاه دارویی شنبلیله افزایش یافت و علت آن را تأمین مناسب عناصر غذایی در طی مراحل رشد رویشی و زایشی گیاه معرفی کردند که در نهایت منجر به افزایش غلاف گردید.

تعداد دانه در غلاف

نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی از لحاظ صفت تعداد دانه در غلاف مشخص کرد که مصرف کودهای آلی، تعداد دانه در غلاف را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و بیشترین میزان صفت مذکور مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK بود و کمترین میزان آن نیز در تیمار عدم مصرف کود مشاهده گردید (جدول ۴). در خصوص این صفت نیز نتایج بیانگر این است که کاهش مصرف کودهای شیمیایی و جایگزینی آن با ترکیبات آلی می‌تواند نتایج قابل قبولی از لحاظ صفت تعداد دانه در غلاف ارائه دهد. به نظر می‌رسد که فراهم بودن نیتروژن مناسب و قابل دسترس و سایر عناصر غذایی در مرحله تشکیل و تلقیح گل‌ها در نهایت منجر به افزایش تعداد دانه در غلاف شده است.

وزن ۱۰۰ دانه

در این پژوهش مشاهده گردید که کاربرد کودهای آلی در تلفیق با مقادیر مختلف کود شیمیایی، وزن ۱۰۰ دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی مشخص کرد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه به تیمار مصرف کامل کود شیمیایی (۱۰۰ درصد NPK) تعلق داشت که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۱۰۰ درصد NPK + اسید هیومیک و تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK نداشت. کمترین وزن ۱۰۰ دانه نیز از تیمار عدم مصرف کود به دست آمد که با تیمارهای مصرف اسید هیومیک و EVEO به‌تنهایی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نکته قابل توجه در خصوص صفت وزن ۱۰۰ دانه این بود که براساس جدول ۴ بین تیمارهای مختلف مصرف کود ۱۰۰٪ و تیمارهای کاربرد ۵۰٪ کود شیمیایی به‌تنهایی و یا همراه با ترکیبات آلی، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و این نتیجه نیز بر قابلیت کاهش و مدیریت مصرف کود شیمیایی در تولید گیاه باقلا و جایگزینی آن توسط ترکیبات سازگار با محیط زیست صحت می‌گذارد.

به نظر می‌رسد که مصرف کودهای آلی به همراه کودهای شیمیایی می‌تواند تأثیر مکمل داشته باشد و تلفیق این دو منبع غذایی می‌تواند از طریق تغذیه مطلوب گیاه در طی مراحل مختلف رشدی و آزادسازی تدریجی عناصر، توزیع مناسبی از مواد تغذیه‌ای را در طی

ژنوتیپ‌های وارداتی باقلا اظهار داشتند تعداد دانه در بوته به‌عنوان مؤثرترین صفت در تعیین عملکرد شناخته شد که نشان‌دهنده اهمیت ویژه آن در برنامه‌های اصلاحی است. برپایه این یافته‌ها، افزایش تعداد دانه در بوته به‌عنوان یک ذخیره ژنتیکی بالقوه برای افزایش عملکرد دانه باقلا مطرح می‌باشد. این پتانسیل در مراحل حیاتی تشکیل و پر شدن دانه‌ها، با تخصیص بهینه مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بالفعل می‌گردد. بنابراین، در برنامه‌های اصلاحی باقلا باید دو دسته از صفات به‌طور همزمان مورد توجه و گزینش قرار گیرند. نخست صفات مرتبط با افزایش ظرفیت مخزن، به‌ویژه تعداد دانه در بوته و دوم صفات مؤثر در افزایش منابع فتوسنتزی مانند رشد رویشی، شاخص سطح برگ و توسعه اندام‌های سبز که نقش کلیدی در تامین مواد فتوسنتزی دارند. گزینش توأم این دو گروه از صفات، پتانسیل عملکرد ژنوتیپ‌ها را از طریق بهبود تعادل منبع و مخزن به حداکثر می‌رساند.

عملکرد غلاف سبز

میزان عملکرد غلاف سبز باقلا به‌عنوان بخش اقتصادی تولیدشده اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش، بیشترین عملکرد غلاف از تیمار کودی ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک حاصل گردید که با تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK و ۱۰۰ درصد NPK اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان صفت مذکور نیز مربوط به تیمار عدم مصرف کود بود (جدول ۴). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد EVEO به‌تنهایی و همچنین به همراه تیمار کود شیمیایی ۵۰ درصد موجب افزایش معنی‌دار عملکرد غلاف سبز (به‌ترتیب ۲۱ و ۳۰ درصد) گیاه در مقایسه با شاهد گردید. تلفیق تیمار کود شیمیایی ۵۰٪ با اسیدهیومیک نیز نتایج مشابهی (افزایش ۲۶ درصدی در مقایسه با تیمار عدم مصرف تیمارهای تغذیه‌ای) به همراه داشت (جدول ۴) که این نتایج نیز نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه و مثبت مدیریت تلفیقی کود بر تولید محصول می‌باشد. در حقیقت، مصرف کودهای آلی می‌تواند با کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های زیست‌محیطی و همچنین افزایش کیفیت و سلامت محصولات، به‌عنوان راهبردی در جهت حرکت به‌سمت کشاورزی پایدار تلقی گردد.

عملکرد بیولوژیک

در این تحقیق، کاربرد کودهای آلی در کنار تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک بوته گردید. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین وزن خشک بوته مربوط به تیمار تغذیه‌ای ۱۰۰ درصد EVEO + NPK بود که با تیمار ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان صفت مذکور نیز از تیمار عدم مصرف تیمار کودی به

رشد و پر شدن دانه‌ها در اختیار گیاه قرار دهد. در این شرایط، تأمین مناسب عناصر غذایی و به‌ویژه نیتروژن از طریق بهبود سیستم فتوسنتزی و افزایش دوام برگ موجبات افزایش وزن دانه‌ها را فراهم آورد. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2017) طی تحقیق خود مشاهده کردند که تلفیق کودهای معدنی و آلی، وزن هزار دانه در گیاه شنبلله و گندم سیاه را افزایش داد. در مورد مصرف کودهای آلی از جمله اسیدهیومیک به نظر می‌رسد که این کودها با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب افزایش فتوسنتز در گیاه شده و احتمالاً از طریق بهبود قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و تأثیر مثبتی که بر جنبه‌های مختلف فتوسنتز دارند، محتوای غذایی (ترکیبات ذخیره‌ای بذر) محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهند. بهشتی و همکاران (Beheshti et al., 2017) اظهار داشتند که کاربرد کود آلی اسیدهیومیک منجر به افزایش وزن هزار دانه در گیاه لوبیا لیما گردید. طی پژوهش دیگری، محلول‌پاشی اسیدهیومیک، وزن ۱۰۰ دانه در گیاه باقلا را افزایش داد (Roudgarnezhad et al., 2018).

تعداد دانه در بوته

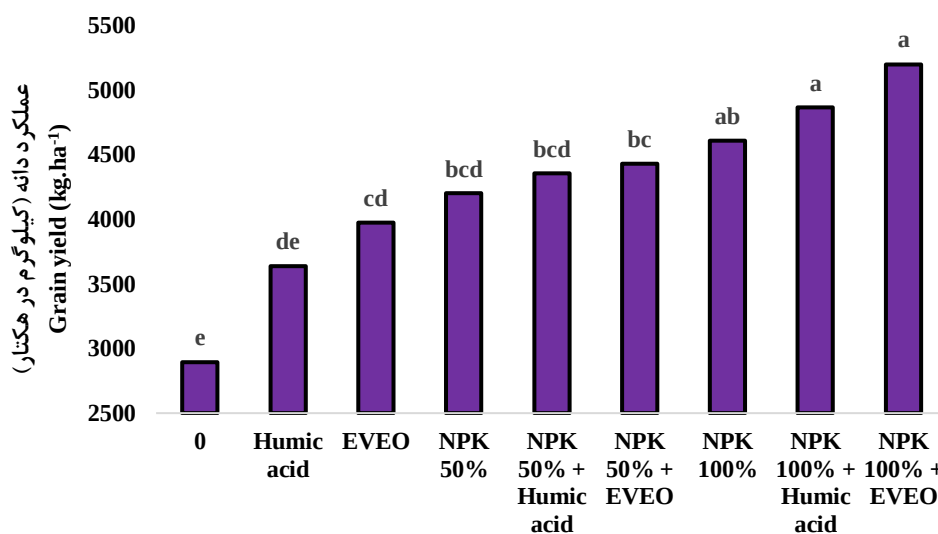
نتایج مقایسه میانگین تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بوته در تیمار کودی ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک مشاهده گردید که با تیمار ۱۰۰ درصد EVEO + NPK اختلاف معنی‌داری نداشت و مدیریت تلفیقی کود در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی صفت مذکور را به‌شکل معنی‌داری افزایش داد که نشانگر تأثیر مطلوب ترکیبات آلی می‌باشد. کمترین میزان صفت مذکور در تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۴).

در پژوهشی روی گیاه سیب‌زمینی مشخص شد که کاربرد EVEO موجب افزایش تعداد غده در بوته گردید. شعبانی و آرمین (Shabani & Armin, 2015) گزارش کردند که کاربرد مواد آلی اسیدهیومیک در کنار کود شیمیایی منجر به افزایش تعداد دانه در گیاه نخود گردید. به نظر می‌رسد افزایش تعداد دانه در بوته در تیمارهای تلفیقی، ناشی از فراهمی پایدار و تدریجی عناصر غذایی از کود آلی در کنار کود شیمیایی باشد. برخلاف کودهای شیمیایی که ممکن است سریعاً در دسترس گیاه قرار گیرند و بخشی از آن‌ها نیز شسته شوند، آزادسازی آهسته عناصر از کودهای آلی، نیاز غذایی گیاه را تا پایان دوره رشد و به‌ویژه در مرحله حیاتی پر شدن دانه‌ها تأمین می‌کند. این تأمین مستمر مواد غذایی، به حفظ شاخصه سبز، افزایش دوام برگ‌ها و بهبود کارایی فتوسنتز منجر شده که در نتیجه آن ریزش یا عقیمی غلاف‌ها کاهش یافته و تعداد دانه نهایی افزایش می‌یابد. هاشمی و محمدی (Hashemi & Mohammady, 2016) پس از مطالعه رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد و رولابط بین آن‌ها در تعدادی از

عملکرد دانه

براساس نتایج شکل ۱، کاربرد مواد آلی به همراه کود شیمیایی موجب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد عدم مصرف کود گردید. بر این اساس، بیشترین میزان عملکرد دانه به تیمار تغذیه‌ای ۱۰۰ درصد EVEO + NPK تعلق داشت که با تیمار ۱۰۰ درصد NPK + اسیدهیومیک اختلاف معنی‌داری نداشت و در مقایسه با شاهد به ترتیب با افزایش ۴۳ و ۳۷ درصدی همراه بود. کمترین میزان صفت مذکور نیز در تیمار عدم مصرف هر نوع کود به دست آمد (شکل ۱). طی آزمایشی مشاهده شد که کاربرد ۱۰۰٪ کود رایج همراه با ۱۵ کیلوگرم اسیدهیومیک در هکتار منجر به تولید بالاترین وزن غده در بوته گردید (Avarseji & Tanha Khajeh, 2017). کاربرد EVEO موجب بهبود سوخت‌وساز کلی گیاه شده و در تلفیق با مکمل‌های غذایی دیگر می‌تواند جذب عناصر ضروری کمیاب را افزایش دهد (Nosulya, 2016). نتایج پژوهشی دیگر نیز نشان داد که تلفیق کودهای شیمیایی و کودهای آلی موجب افزایش وزن دانه‌ها و عملکرد در گیاه دارویی شنبلیله گردید (Salehi et al., 2017).

دست آمد (جدول ۴). براساس نتایج این پژوهش، کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی به همراه ترکیبات آلی به‌ویژه اسیدهیومیک توانست عملکرد بیولوژیک مشابه تیمار مصرف کامل کود شیمیایی تولید کند. بنابراین به نظر می‌رسد که می‌توان با تلفیق کاربرد اسیدهیومیک همراه با کاهش ۵۰ درصدی کود شیمیایی، مصرف این نهاده‌های شیمیایی صنعتی را به میزان قابل توجهی کاهش داد. افزایش عملکرد زیست‌توده با کاربرد اسیدهیومیک را می‌توان به تحریک رشد گیاه از طریق سوخت‌وساز عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، فعال‌سازی آنزیم‌ها و تغییر در نفوذپذیری غشاء و سنتز پروتئین‌ها دانست که مجموع این عوامل منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌گردد (Ulukan, 2008). شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2015) گزارش کردند که کاربرد اسیدهیومیک و ورمی‌کمپوست منجر به افزایش عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه سه رقم گندم گرمسیری گردید و کاربرد کودهای آلی را جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی معرفی نمودند. اظهار شده است که افزایش وزن در گیاهان در اثر کاربرد کودهای آلی به میزان زیادی به دلیل افزایش جذب عناصر می‌باشد.



شکل ۱- تأثیر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد دانه باقلا

Figure 1- The effect of different nutrient treatments on Grain yield of faba bean

EVEO: متعادل کننده آلی رشد

EVEO: Equilibrate Vegetative Organic

به دلیل کاهش نزولات آسمانی، گیاهان در مرحله رشد زایشی در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند، استفاده از محرک‌های گیاهی ضد تنش نظیر EVEO می‌تواند از طریق تنظیم تعادل رشد رویشی و زایشی و نیز به واسطه دارا بودن ترکیبات فعال القاکننده مقاومت به تنش، بقاء و تکمیل چرخه رشد گیاه را بهبود بخشد و در نهایت منجر

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این آزمایش، تلفیق کودهای آلی با مقادیر مختلف کود شیمیایی احتمالاً از طریق ایجاد تعادل در رشد و فراهمی عناصر غذایی منجر به بهبود صفات عملکرد غلاف سبز، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در گیاه باقلا شده است. با توجه به اینکه در کشت دیم

کشت‌های دیم در منطقه محسوب می‌گردد، موجب بهبود عملکرد باقلا می‌گردد. بنابراین استفاده از این محرک‌های رشد می‌تواند به‌عنوان یک راهکار پایدار و دوست‌دار محیط زیست و در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشاورزی برای افزایش بهره‌وری گیاهان زراعی همچون باقلا مورد استفاده قرار گیرد.

به افزایش عملکرد در این شرایط گردد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ترکیبات آلی محرک رشد همچون EVO و اسیدهیومیک از طریق تسهیل دسترسی به عناصر غذایی و احتمالاً به‌دنبال آن تقویت توان فتوسنتزی و همچنین از طریق افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی به‌ویژه خشکی که تنش رایج در

References

- Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-Greadly Helmy, N. H. M., Helmy, Y. I., & Singer, S. M. (2007). Responses of tomato plants to different rates of humic based fertilizer and NPK fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(2), 169-174. <https://www.researchgate.net/publication/317339366>
- Ahmad, Z., Ullah Khan, Q., Qadoos, A., Jamil Khan, M., Saleem, A., & Bibi, Z. (2020). Humic acid, an effective amendment used for amelioration of phosphatic fertilizer and enhancing maize yield. *Pure Applied Biology*, 9, 750 -759. <http://dx.doi.org/10.19045/bspab.2020.90081>
- Alsawaf, A., & Ibraheem, F.F. (2023). Effect of cultivars, apical pinching and copper nano-fertilizer on green pods characteristics of broad bean (*Vicia faba* L.) was Fadhiliya area. *Eastern Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(1), 69-76.
- Aslani, S., Barzegar, T., & Nikhbakht, J. (2019). Effect of foliar application of humic acid on growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon pimpinellifolium* (L.) Mill) under deficit irrigation stress. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32), 69-84. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1398.8.32.3.1>
- Avarseji, Z., & Tanha Khaje. (2017). Study the effect of growth improver and chemical fertilizer application on growth and yeild of *Solanum tuberosum*. *Agronomy-Crop Production*, 10(4), 173-186. <https://doi.org/10.22069/EJCP.2018.13051.2012>
- 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>
- Canellas, L. P., Canellas, N. O., da S Irineu, L. E. S., Olivares, F. L., & Piccolo, A. (2020). Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00178-4>
- Chezgi, M., Chalavi, V., & Akbarpour, V. (2018). The effect of organic and chemical nitrogen fertilizers on the yield and qualitative characteristics of two basil cultivars. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(1), 29-44. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcpp.8.1.29>
- Faiyad, R. M. N., Baddour, A., & El-mahdy, R. (2019). Maximizing utilization of some organic fertilizers to produce the highest yield of cowpea. *Egyptian Journal of Soil Science*, 59(1), 53-66.
- Hashemi, M., & Mohammady, S. H. (2016). Evaluation of grain yield and yield components in some imported faba bean genotypes (*Vicia faba* L.). *Journal of Crop Breeding*, 8(18), 97-103. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.8.18.97>
- Jasim, A. H., & Khudair, D. S. (2018). Effect of bio-and chemical fertilizers on vegetative growth of broad bean cultivars. *Annales of West University of Timisoara. Series of Biology*, 21(2), 207-216. <https://cbg.uvt.ro/wp-content/uploads/2021/10/AWUTSerBio>
- Liu, M., Xu, M., Xu, J., Zhang, S., Li, Y., Yuan, L., & Zhao., B. (2022). Humic acid urea enhanced productivity and reduced active nitrogen loss in summer maize-winter wheat cropping system: A field lysimeter experiment. *Field Crops Research*, 319, 109656. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109656>
- Monaghash, F., Maleki, A., & Zolnorian, H. (2015). Effect of application methods of vermicompost and chemical fertilizers on tuber yield and some morphological traits of potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(3), 417-428. (In Persian). <https://sanad.iau.ir/Journal/jcep/Article/956724>
- Nakhzari Moghaddam, A., Parsa, N., Sabouri, H., & Bakhtiari, S. (2017). The effect of humic acid, density and supplementary irrigation on quantity and quality of local chickpea (*Cicer arietinum* L.) of Neishabur. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 183-192. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.575>
- Nosrat, N. A., Kazemi, H., Sheikh, F., & Furs, C. (2023). Evaluation and quantification of some short time ecosystem services in faba bean agroecosystem. *Journal of Plant Production Research*, 30(2), 1-20. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.19395.2862>
- Nosulya, V. (2016). Technical Manual EVO. www.thermoflora.com/
- Rabiei, M., & Ebradimi, M. (2023). Cultivation of Faba Bean in Rotation with Rice in Paddy Fields. Rice Research Institute of Iran Press. Rasht, Iran. p. 89. (In Persian).

- Rafie, M. R., Sohi, M., & Javadzadeh, M. (2020). Study the effect of plant growth biostimulants application on quantitative and qualitative characteristics of wheat in a calcareous soil (case study in Khuzestan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(2), 69-88. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/ejsms.2020.16943.1905>
- Roudgarnejad, S., Samedeliri, M., Mousavi Mirkalaei, A., & Nasheai Moghaddam, M. (2022). Improving faba bean seed yield, protein and chlorophyll content by foliar application of humic acid. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(2), 115-121. <https://doi.org/10.24326/asphc.2022.2.10>
- Roudgarnezhad, S., Samdeliri, M., Mousavi Mirkalaei, A. A., & Neshaei Moghaddam, M. (2018). The effect of spraying humic acid on some morphological and physiological traits of bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 13(49), 33-44. (In Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1397.13.49.3.6>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>
- Salehi, A., Fallah, S., Abasi Sourki A., & Tadayon, M. R. (2017). Evaluation of yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) under organic and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant Research*, 33(2), 338-352. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106802.1804>
- Shabani, R., & Armin, M. (2015). Effects of time and integrated applications of biological and chemical fertilizers on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in dry land condition. *Journal of Applied Researches of Plant Ecophysiology*, 1(4), 31-43. (In Persian). <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-166-fa.html>
- Shahbazi, S. H., Fateh, E., & Ayneband, A. (2015). Evaluation of the effect of humic acid and vermicompost on yield and yield components of three wheat cultivars in tropical regions. *Plant Productions*, 38(2), 99-110. (In Persian). <https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11323>
- Sheikh, F., & Faizbakhsh, M. (2019). Planting, Growing and Harvesting of Faba Bean. Golestan Province Agricultural Education and Natural Resources Research Organization Press. Gorgan, Iran. 78 p. (In Persian).
- Ulukan, H. (2008). Effect of soil applied humic acid at different sowing times on yield components in wheat (*Triticum spp*) hybrids. *International Journal of Botany*, 4, 164-175. <https://doi.org/10.3923/ijb.2008.164.175>
- Weerasekara, I., Sinniah, U. R., Namasivayam, P., Nazli, M. H., Abdurahman, S. A., & Ghazali, M. N. (2021). Priming with humic acid to reverse ageing damage in soybean (*Glycine max* (L.)) seeds. *Agriculture*, 11(10), 966. <https://dx.doi.org/10.3390/agriculture11100966>
- Wulandari, P., Sulistyaningsih, E., Handayani, S., & Purwanto, B. H. (2019). Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) on acid soil to different rates of humic acid and NPK fertilizer. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(2), 76-84. <https://doi.org/10.22146/ipas.36680>



Evaluation of Seed Yield Stability of Advanced Lentil (*Lens culinaris* Medik) Genotypes using the AMMI, BLUP, and MGIDI Indices

Payam Pezeshkpour^{1*}, Reza Amiri¹, Amir Mirzaei², Asghar Mehraban³, Amin Namdari⁴

Received: 05 February 2025

Revised: 21 July 2025

Accepted: 16 August 2025

Available Online: 16 August 2025

Cite this article:

Pezeshkpour, P., Amiri, R., Mirzaei, A., Mehraban, A., & Namdai, A. (2025). Evaluation of performance stability of lentil genotypes using AMMI, BLUP and MGIDI indexes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 227-248. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.91978.1105>

Introduction

Lentil (*Lens culinaris* Medik) is considered one of the most important legumes due to its protein content and high nutritional value. Its yield, like that of other crops, is an important and challenging trait for genetic improvement, because it is influenced by various factors that have detrimental effects on seed yield and traits related to seed quality. One of the key aspects in plant breeding studies is the understanding of the interaction between genotypes and different environments. The existence of genotype-by-environment interaction (GEI) in field trials of many crop plants indicates that yield stability, along with high average yield, should be considered as an important aspect of yield comparison trials. The aim of the present study was to determine stable and high-yielding lentil genotypes across different environments using various stability indices.

Materials and Methods

In this study, fourteen advanced lentil genotypes along with two check cultivars (Gachsaran and Sepehr) were evaluated based on a randomized complete blocks design with three replications at Khorramabad, Gachsaran, and Ilam Agricultural Research Stations for two cropping seasons (2020-2022), and at the Mughan Station for one crop year (2020-2021). Seeds were sown with a Wintersteiger research seeder in four rows, each 4 m long, with 25 cm spacing between rows (plot area of 4 m²). Weed control was carried out using a hand cultivator in two stages during the vegetative growth period. Before harvesting, the two outer rows and 0.5 m from both ends of the two central rows were discarded, and the remaining area of each plot (1.5 m²) was harvested manually and grain yield was calculated. Grain yield, 100 seed weight, plant height, days to flowering, days to maturity, kernel filling period, kernel filling rate, rain water productivity, seed yield formation rate, and weight of single seed were measured in all seven environments for each genotype. All statistical analyses were performed using GGE and the multi-environmental analysis package “metan” in R software.

Results and Discussion

The mosaic diagram showed that the contribution of the sum of squares of genotype and the genotype-by-environment interaction (GEI) in the total sum of squares was 2.2 and 43.19%, respectively. The likelihood ratio test showed that the genotype by environment interaction was significant on grain yield, 100-grain weight, plant height, days to flowering, kernel filling rate, rain water productivity, and weight of single seed. The Scree test showed that the first two principal components had a significant contribution to the GEI matrix derived from BLUP, as the first and second principal components explained 44.4% and 32.2% of the GEI variation, respectively. The predicted grain yield means using BLUP method indicated that the highest predicted yield using BLUP method was for genotype 2, followed by genotypes 7, 14, 6, 10, 12, 1 and 4, all of which showed predicted yields higher than the overall mean. Genotypes 12, 1 and 4 had predicted

1- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran

3- Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mughan, Iran

4- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

* Corresponding Author: p.pezeshkpour@areeo.ac.ir



yield very close to the average, and the lowest predicted yield with a large distance from the total average was related to genotypes 15, 3 and 9 (Gachsaran). Factor analysis based on the traits measured in the studied genotypes showed that four main components remained in the model, and the cumulative variance of these four components was 91.85%. For grain yield, the genotype-by-environment interaction (GEI) coefficient of explanation and average genotypic heritability were 0.4319 and 0.2065, respectively. The accuracy of genotype selection and the correlation between genotype values across environments were 0.454 and 0.442, respectively. Also, the genotypic coefficient of variation, the residual coefficient of variation, and the ratio of these two coefficients of variation were 4.48%, 21.9%, and 0.204, respectively. The traits of grain yield formation rate, rain water productivity, and plant height showed the greatest contribution to seed yield.

Conclusions

In general, the results showed that the genotype-by-environment interaction was significant on grain yield, 100-seed weight, plant height, days to flowering, days to maturity, grain filling period, grain filling rate, grain yield formation rate, rain water productivity, and single grain weight. Overall, based on the results of all methods and simultaneous selection for grain yield stability and associated traits, genotypes 4, 2, 13, 14, 1, 7, and 10 were identified as stable and superior to the average of all genotypes. Notably, genotype 2 outperformed the others, with a grain yield of 969 kg ha⁻¹, plant height of 46.6 cm, seed yield formation rate of 63.6 kg ha⁻¹ day⁻¹, and rainwater productivity of 82.2 kg mm⁻¹, exceeding the average values across all measured traits in this study.

Acknowledgement

Financial support for this research (approved code: 00-59-15-018-001055) is from the Dryland Agriculture Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Iran. We would like to express our gratitude to the Agricultural Research, Education and Extension Organization.

Keywords: Heatmap plot, Mosaic plot, Multi-trait stability, Simultaneous selection, Single value decomposition Iran.



ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس (*Lens culinaris Medik*) براساس شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های AMMI، BLUP و MGIDI

پیام پزשکپور^{۱*}، رضا امیری^۱، امیر میرزایی^۲، اصغر مهربان^۳، امین نامداری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

چکیده

عدس (*Lens culinaris Medik*) به واسطه درصد پروتئین و ارزش تغذیه‌ای زیاد، یکی از حبوبات مهم محسوب می‌شود. این پژوهش برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول عدس اجرا گردید. در این پژوهش، ۱۴ ژنوتیپ پیشرفته عدس همراه با دو رقم شاهد گچساران و سپهر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم‌آباد، گچساران و ایلام به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲)، و در ایستگاه مغان به مدت یک سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نمودار موزائیکی نشان داد که سهم مجموع مربعات ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در مجموع مربعات کل به ترتیب ۲/۲۰ و ۴۳/۱۹ درصد بود. آزمون نسبت درست‌نمایی نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، روز تا گل‌دهی، سرعت پُر شدن دانه، بهره‌وری از بارش و وزن تک دانه معنی‌دار بود. آزمون اسکری نشان داد که دو مؤلفه اصلی اولیه، سهم قابل توجهی در توجیه برهم‌کنش ماتریس ژنوتیپ در محیط داشتند، به‌طوری که مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۴/۴ و ۳۲/۲ درصد از تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را توجیه کردند. در مجموع، براساس نتایج کل روش‌ها و انتخاب همزمان براساس پایداری عملکرد دانه و همه صفات اندازه‌گیری‌شده، ژنوتیپ‌های شماره ۴، ۲، ۱۳، ۱۴، ۷ و ۱۰ ژنوتیپ‌هایی پایدار و برتر نسبت به میانگین کل ژنوتیپ‌ها بودند. صفات سرعت تشکیل عملکرد دانه، بهره‌وری از بارش و ارتفاع بوته بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشتند.

واژه‌های کلیدی: پایداری چندصفتی، تجزیه مقادیر منفرد، گزینش همزمان، نمودار گرمایی، نمودار موزائیکی

مقدمه

عدس (*Lens culinaris Medik*) یکی از حبوبات مهم و سرمدوست در منطقه مدیترانه است که به دلیل بهبود حاصلخیزی خاک و نیز دانه‌های مغذی و سرشار از مواد غذایی مفید برای انسان و دام، به‌طور گسترده کشت و مصرف می‌شود. عملکرد دانه عدس همانند سایر محصولات زراعی، یک صفت مهم و چالش‌برانگیز برای بهبود ژنتیکی آن است، زیرا تحت تأثیر عوامل مختلف ژنتیکی، محیطی، زراعی و مدیریتی است که اثرات مضر بر عملکرد دانه و صفات مرتبط با کیفیت بذر دارد (Sellami et al., 2021).

اثرات گرما و خشکی در تولید عدس با تغییرات آب‌وهوای جهانی در چند دهه اخیر بیشتر شده است. خشکی به دلیل بسته شدن روزنه‌ها، تأثیر قابل توجهی بر فتوسنتز دارد و جریان دی‌اکسیدکربن به بافت مزوفیل را کاهش می‌دهد (Chaves et al., 2003). خشکی همچنین کمبودهای متابولیک را تشدید می‌کند و باعث کاهش در

تجدید فعالیت آنزیم روبیسکو (Parry et al., 2002)، کاهش تولید ATP، فتوفسفریلاسیون و فسفر معدنی و همین‌طور کاهش سطح برگ به دلیل پیری بیشتر برگ می‌شود (De Souza et al., 1997). تنش خشکی همراه به دماهای بالا، با اثرگذاری بر اندازه و تولید دانه عدس (Sehgal et al., 2017) سبب کاهش عملکرد می‌شود (Kumar et al., 2016).

یکی از مطالعات مهم در اصلاح نباتات و بررسی‌های به‌نژادی، شناخت اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها با محیط‌های گوناگون است. وجود برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در آزمایش‌های ناحیه‌ای بسیاری از گیاهان زراعی نشان می‌دهد که پایداری عملکرد همراه با میانگین عملکرد بالا، باید به‌عنوان یک جنبه مهم آزمایش‌های مقایسه عملکرد در نظر گرفته شود، زیرا برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط می‌تواند هرگونه پیشرفت ناشی از گزینش را کاهش دهد. پژوهشگران روش‌های زیادی برای تجزیه پایداری ارائه داده‌اند که به دو دسته کلی پارامتری

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

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

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

۴- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

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

(b). این روش، راهکاری برای توانایی پیش‌بینی بهتر است که در آن، بهترین پیش‌بینی نارایب خطی روی ماتریس برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط تخمین زده می‌شود و تجزیه پایداری به‌روش AMMI روی این پیش‌بینی‌ها انجام می‌گردد (Olivoto et al., 2019 a). یکی از مزایای BLUP، تخمین میانگین‌ها با دقت بالا در مدل‌های مخلوط می‌باشد و زمانی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، این روش پیش‌بینی دقیق‌تری از اثرات تصادفی را فراهم می‌کند (Smith et al., 2005).

با تلفیق روش‌های AMMI و BLUP، یک ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ با محیط در قالب یک مدل مخلوط خطی مبتنی بر BLUP ایجاد می‌شود که با تجزیه این ماتریس، آماره‌ای تحت عنوان شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASB^۳) به دست خواهد آمد که قادر به وزن‌دهی بین عملکرد دانه و پایداری آن است (Olivoto et al., 2019 b). از دیگر شاخص‌های به‌دست‌آمده از تلفیق مدل‌های AMMI و BLUP می‌توان به شاخص WAASBY^۴ اشاره نمود که هر دو معیار عملکرد دانه و پایداری را توأمان در نظر گرفته و باعث می‌شود که گزینش براساس آن با دقت و کارایی بالاتری صورت گیرد (Olivoto et al., 2019 a). در این شاخص، به‌نژادگر براساس هدف اصلاحی خود، به هر یک از دو معیار عملکرد دانه و پایداری، وزن‌های متفاوتی داده و می‌تواند ارزیابی ژنوتیپ‌ها را براساس آن انجام دهد. در نمودار WAASB از رویکرد مدل مخلوط استفاده می‌شود که با آن تخمین پارامترهای واریانس ژنوتیپی، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، وراثت‌پذیری عمومی، وراثت‌پذیری براساس میانگین و همبستگی‌های ژنتیکی در نظر گرفته می‌شود. از دیگر مزایای این شاخص، استفاده از همه مؤلفه‌های اصلی است، بنابراین پایداری را به‌شکل بهتری نشان می‌دهد و ژنوتیپ‌های انتخابی از پایداری مطمئن‌تری برخوردار خواهند بود (Olivoto et al., 2019 b).

جنبه دیگری از تلفیق دو روش AMMI و BLUP، بهره‌گیری از ابزارهای گرافیکی تجزیه AMMI در شاخص‌های برآورد شده است؛ به‌طوری که برای کمک به تفسیر چشمی، گرافیک‌هایی برای نشان دادن میانگین متغیر پاسخ در برابر WAASB ایجاد شدند (Olivoto et al., 2019 a). این ابزارهای گرافیکی که در پدیدآوری آن‌ها از ابزارهای AMMI و بای‌پلات‌های GGE بهره گرفته می‌شوند، برای نشان دادن چشمی جایگاه ژنوتیپ‌ها از نظر پایداری و میزان عملکرد، بسیار کاربردی هستند.

(تک متغیره یا چند متغیره) و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. در بین روش‌های چند متغیره می‌توان روش‌های اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) و GGE بای‌پلات را نام برد (Wright & Laffont, 2018).

علی‌رغم مزایای مدل AMMI و استفاده گسترده از آن، این مدل در تشریح ساختار مدل خطی اثر مخلوط خطی (LMM) کارایی ندارد. برای برطرف کردن این مشکل، استفاده از مدل بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (BLUP^۱) پیشنهاد شده است (Olivoto et al., 2019 a). این روش در صورت وجود اثرات LMM، پتانسیل بالایی در پیش‌بینی دقیق‌تر اثرات تصادفی دارد. در محیط‌های اخیر، روش بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی (BLUP) که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط تخمین می‌زند نیز برای ارزیابی داده‌های آزمایش‌های چندمحیطی به کار گرفته شده است (Olivoto et al., 2019 b). مدل آماری BLUP راهکاری برای توانایی پیش‌بینی بهتر است که در آن، بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی بر روی ماتریس برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط تخمین زده می‌شود و تجزیه پایداری به‌روش AMMI بر روی این پیش‌بینی‌ها انجام می‌شود (Olivoto et al., 2019 a). در هنگام وجود اثر مختلط خطی، این روش پتانسیل پیش‌بینی دقیق اثرات تصادفی را فراهم می‌کند (Smith, 1936). در روش ارائه‌شده توسط اولیوتو و همکاران (Olivoto et al., 2019 a) برای بهره‌گیری از مزایای دو روش AMMI و BLUP، با مدل اثرهای مختلط خطی، یک ماتریس برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط به دست می‌آید و از تجزیه این ماتریس با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با تجزیه ارزش منفرد، یک معیار پایداری ژنوتیپی به‌نام شاخص پایداری میانگین وزنی نمرات مطلق بهترین پیش‌بینی‌های نارایب خطی معرفی شد که حاصل تلفیق دو روش AMMI و BLUP است (Olivoto et al., 2019 a).

روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده (REML^۲) یکی از روش‌های مهم برای تجزیه داده‌های چند محیطی است. در این روش، محدودیت تجزیه واریانس به‌روش کمترین مربعات برای داده‌های نامتعادل و همچنین متجانس برطرف می‌شود (Holland, 2006). مدل‌های مختلط مانند REML روش‌هایی مناسب برای محاسبه اجزای واریانس و بهترین پیش‌بینی نارایب خطی (BLUP) است که برای پیش‌بینی مقادیر ژنتیکی و اجزای واریانس استفاده می‌شوند (Resende, 2016). تجزیه BLUP، روشی مناسب در زمان معنی‌دار بودن برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط می‌باشد (Olivoto et al., 2019).

1- Best Linear Unbiased Predictions (BLUP)

2- Restricted maximum likelihood

3- Weighted average of absolute scores

4- Weighted average of WAASB

بسته به وضعیت بارندگی مؤثر در هر چهار مکان، از نیمه دوم آذر انجام شد. زمین مورد کشت تحت تناوب غلات-حبوبات دیم بود. برای تهیه زمین در هر مکان، از گاوآهن چپزل مرکب برای شخم زدن استفاده شد و سپس با دیسک زدن، کلوخ‌شکنی انجام گردید. اطلاعات هواشناسی و نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ ارائه شده است. براساس نتایج آزمون خاک، ۷۵ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۳۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره، به هنگام عملیات تهیه زمین، به طور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. بذره‌های ارقام و ژنوتیپ‌های آزمایش قبل از کاشت به منظور جلوگیری از بروز بیماری‌های قارچی، با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار و به مقدار ۳۰ گرم برای هر آزمایش ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۲۰۰ دانه در مترمربع تعیین گردید (Shobeiri et al., 2019). کاشت بذرها با کارنده تحقیقاتی وینتراشتایگر در چهار خط به طول چهار متر و به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین خطوط (چهار مترمربع) انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز با استفاده از کولتیواتور دستی در دو مرحله در طول دوره رشد رویشی صورت گرفت. قبل از برداشت، دو خط کناری و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای دو خط وسط حذف و مابقی هر کرت (۱/۵ مترمربع) به صورت دستی برداشت شد و صفت عملکرد دانه محاسبه گردید.

عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، دوره پُر شدن دانه، سرعت پُر شدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه در محیط‌های مختلف برای هر ژنوتیپ اندازه‌گیری شد. تعداد روز تا رسیدگی، از تاریخ کاشت تا رسیدگی دانه با استفاده از دسکرپتور عدس ثبت گردید (IBPGR, 1993). فاصله زمانی بین گل‌دهی تا رسیدن فیزیولوژیک به عنوان طول دوره پُر شدن دانه در نظر گرفته شد (Mohammadi et al., 2006). در زمانی که ۹۰ درصد بوته‌های هر کرت به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند، به عنوان تعداد روز تا رسیدگی در نظر گرفته شد. از حاصل تقسیم میانگین وزن تک دانه بر طول دوره پُر شدن دانه، میانگین سرعت پُر شدن دانه به میلی‌گرم دانه در روز به دست آمد (Mohammadi et al., 2006). سرعت تشکیل عملکرد دانه از تقسیم عملکرد دانه بر تعداد روز تا رسیدگی و برحسب کیلوگرم در هکتار در روز) اندازه‌گیری شد (Forouzi et al., 2016). از تقسیم وزن دانه‌های یک بوته بر تعداد دانه‌ها، متوسط وزن تک دانه محاسبه گردید (Joudi & Ebadi, 2015). شاخص بهره‌وری از بارش^۲ از تقسیم عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار بر میزان

از طرفی، عملکرد دانه صفت کمی پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌گردد و به شدت تحت تأثیر محیط قرار دارد و همچنین صفات بسیاری به تنهایی یا با هم، بر آن اثر می‌گذارند. بنابراین، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب تنها براساس عملکرد سودمند نیست و چنانچه انتخاب براساس سایر صفات تأثیرگذار بر آن انجام شود، بسیار مفید خواهد بود (Sharifi et al., 2017). به طور کلی، در برنامه‌های اصلاحی، گزینش براساس یک صفت، به عنوان یک راهبرد مناسب تلقی نمی‌گردد، زیرا هیچ اطمینانی از دستاوردهای ژنتیکی در سایر صفات مهم وجود ندارد (Jahufer & Casler, 2015). از این رو، به نژادگران اغلب تلاش دارند که صفات مطلوب مختلف را در یک ژنوتیپ جدید با عملکرد بالا جمع نمایند (Olivoto & Nardino, 2020). برای این منظور، چندین شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر پیشنهاد شده است که از آن جمله، می‌توان به شاخص فاصله ژنوتیپ-ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI^۱) اشاره کرد که براساس تجزیه و تحلیل عاملی و فاصله از ایدئوتیپ معرفی شده است (Olivoto & Nardino, 2020) که بر گزینش ژنوتیپ و توصیه‌های مبتنی بر اطلاعات چندین صفت تأکید دارد. این شاخص قادر است که بیش از یک صفت وابسته را ارزیابی نموده و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های گزینش شده را مشخص نماید (Al-Ashkar et al., 2023). این شاخص عمدتاً برای گزینش ژنوتیپ‌ها در برنامه اصلاح گیاهان زراعی براساس چندین صفت طراحی شده است و به طور موفقیت‌آمیزی در گزینش ژنوتیپ‌های برتر در محصولات زراعی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Shirzad et al., 2022; Rahmati et al., 2024; Dastfall et al., 2024).

هدف از پژوهش حاضر، تعیین ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا و مطلوب از نظر صفات مهم مانند ارتفاع بوته برای برداشت مکانیزه، وزن ۱۰۰ دانه بالاتر، سرعت و دوره پُر شدن دانه بالاتر در ژنوتیپ‌های عدس با بهره‌گیری از شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های AMMI، BLUP و MGIDI بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ۱۴ ژنوتیپ پیشرفته عدس (جدول ۱) همراه با دو شاهد (رقم‌های گچساران و سپهر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سراب چنگائی خرم‌آباد، گچساران و ایلام به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲) و در ایستگاه مغان به مدت یک سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱) ارزیابی شدند (در مجموع، هفت محیط). تاریخ کاشت

1- Multi Trait Genotype Ideotype Distance Index (MGIDI)
2- Rain water productivity

بارندگی در طول دوره رشد گیاه برحسب میلی‌متر محاسبه گردید (Oweis & Hachum, 2003).

ساده‌ترین مدل خطی با برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش‌های چند محیطی مدل BLUP به شرح معادله ۱ است.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \gamma_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (۱)$$

که در آن، y_{ijk} : متغیر پاسخ (عملکرد دانه) مشاهده‌شده در بلوک k از ژنوتیپ i در محیط j ($k=1, 2, \dots, b$; $j=1, 2, \dots, g$; $i=1, 2, \dots, e$)، μ : میانگین کل، α_i : اثر ژنوتیپ i ، τ_j : اثر محیط j ، $(\alpha\tau)_{ij}$: اثر برهم‌کنش ژنوتیپ i با محیط j ، γ_{jk} : اثر بلوک k درون محیط j و ε_{ijk} : خطای تصادفی است. در مدل اثر مخلوط با فرض اینکه α_i و $(\alpha\tau)_{ij}$ اثرات تصادفی هستند، مدل بالا به صورت معادله ۲ نوشته می‌شود.

$$y = X\beta + Zu + \varepsilon \quad (۲)$$

که در آن، y : یک بردار متغیر پاسخ $n \times 1$ است $y = [y_{111}, y_{112}, \dots, y_{geb}]'$ ($y = [y_{111}, y_{112}, \dots, y_{geb}]'$)، β : بردار اثر ثابت ناشناخته $(eb) \times 1$ است $\beta = [\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{geb}]'$ ، u : یک بردار اثرات تصادفی $m \times 1$ است $u = [u_1, u_2, \dots, u_m]'$ ، X : یک ماتریس $n \times (eb)$ است که y را به β مرتبط می‌کند، Z : یک ماتریس $n \times m$ است که y را به u مرتبط می‌کند، ε : بردار خطاهای تصادفی $n \times 1$ است $\varepsilon = [\varepsilon_{11}, \varepsilon_{12}, \dots, \varepsilon_{geb}]'$ ، بردارهای β و u با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شوند (Henderson, 1975).

$$\begin{bmatrix} \beta \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1R - 1X & X1R - 1Z \\ Z1R - 1X & Z1R - 1 + G - 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X1R - 1Y \\ Z1R - 1Y \end{bmatrix} \quad (۳)$$

به منظور تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها، از تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)، روی ماتریس BLUPهای برهم‌کنش‌های ژنوتیپ در محیط با یک مدل اثر مخلوط خطی با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده برآورد شدند. از کمیت‌های پایداری WAASB و WAASBY برای کمی‌سازی پایداری از معادله‌های ۴ و ۵ بهره گرفته شد.

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p IPCA_{ik} \times EP_k}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad (۴)$$

$$WAASBY_i = \frac{\{W_Y \times [(\frac{GY_i}{GY_{max}}) \times 100]\} + [W_S \times (100 - \frac{WAASB_i}{WAASB_{min}})]}{W_Y + W_S} \quad (۵)$$

که در آن، $WAASB_i$: میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i ، $IPCA_{ik}$: نمره ژنوتیپ i در k مین محور مؤلفه اصلی برهم‌کنش $(IPCA)$ و EP_k : مقدار واریانس توجیه‌شده توسط k مین $IPCA$ است. ژنوتیپ با کمترین مقدار $WAASB$ ، پایدار در نظر گرفته می‌شود. انتخاب همزمان برای میانگین عملکرد و پایداری (MPE^1) با شاخص $WAASBY$ انجام شد که در آن به میانگین عملکرد (Y) و شاخص پایداری ($WAASB$) وزن داده می‌شود و $WAASBY_i$ ، میانگین وزنی $WAASB$ و عملکرد دانه (GY) برای ژنوتیپ i ، W_Y وزن داده‌شده به متغیر پاسخ (در این مورد، عملکرد دانه)، GY_i ، میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ i با توجه به تمام محیط‌ها، GY_{max} ، بالاترین متوسط عملکرد دانه مشاهده‌شده، W_S ، وزن نسبت داده‌شده به شاخص پایداری (در این مورد، شاخص $WAASB$)، $WAASB_i$ ، میانگین وزنی نمرات مطلق ژنوتیپ i و $WAASB_{min}$ ، کمترین مقدار $WAASB$ مشاهده‌شده در بین ژنوتیپ‌ها است. در شاخص $WAASBY_i$ ژنوتیپ‌هایی با بیشترین مقدار، ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد دانه هستند.

تمام تجزیه‌های آماری با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی با نام $Metan^2$ (Olivoto & Lúcio, 2020) و GGE (Wright & Laffont, 2018) در نرم‌افزار R انجام شد. برای تعیین کمیت پایداری ژنوتیپی، از تجزیه مقادیر منفرد^۲، بر روی ماتریس بهترین پیش‌بینی‌های نااریب خطی (BLUP) برهم‌کنش‌های ژنوتیپ در محیط^۳ با یک مدل اثر مختلط خطی^۵ استفاده گردید. اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدود شده (REML) برآورد شدند و برای ارزیابی معنی‌داری اثرهای تصادفی، آزمون نسبت درست‌نمایی^۶ (LRT) به کار گرفته شد. استفاده از مدل REML محدودیت تجزیه واریانس به روش کمترین مربعات را برای داده‌های نامتعادل و همچنین نامتجانس برطرف می‌کند (Holland, 2006). از طرفی دیگر، چنین مدلی برای به دست آوردن اجزای واریانس و برآورد مقادیر ژنتیکی و اجزای ژنتیکی کارایی بهتری دارند (Resende, 2016)، لذا روش REML/BLUP به دلیل در نظر گرفتن مقادیر ژنوتیپی (نه فنوتیپی)، دقت بیشتری در روند برنامه‌های اصلاحی دارد و اجازه انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند.

مقادیر ویژه، واریانس نسبی، تجمعی و نیز ضرایب عاملی پس از چرخش وریماکس در تجزیه به عامل‌ها براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای تعیین شاخص پایداری چند صفتی با استفاده از نرم‌افزار R

- 1- Mean performance and stability, MPE
- 2- Multi environment trial analysis
- 3- SVD
- 4- GEI
- 5- LMM
- 6- Likelihood Ratio Test

محاسبه گردید. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های آزمایشی به صورت صعودی براساس شاخص پایداری MTSI و نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌های منتخب به عنوان نسبت هر عامل در شاخص پایداری MTSI مشخص گردید. علاوه بر این، پیش‌بینی دیفرانسیل‌گزینش و بازده گزینش برای صفات مؤثر براساس شاخص پایداری MTSI با استفاده از نرم‌افزار R محاسبه شد. برای رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها از شاخص MGIDI استفاده گردید. این شاخص براساس جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های صفات مورد بررسی با استفاده از بسته "metan" در نرم‌افزار R

$$SG (\%) = \frac{(\bar{X}_S - \bar{X}_0) \times h_2}{X_0} \quad \text{معادله (۶)}$$

تحلیل عاملی برای محاسبه کاهش ابعاد داده‌ها و ساختار روابط انجام شد. با انجام تجزیه واریانس AMMI با استفاده از نرم‌افزار R، مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط به دست آمد و با رسم بای‌پلات‌های آن‌ها، سازگاری عمومی و خصوصی ارقام تعیین شد. برای هر یک از ارقام، BLUP به صورت مجموع میانگین تمامی محیط‌ها و اثر ژنوتیپی پیش‌بینی گردید.

جدول ۱- اسامی ارقام و ژنوتیپ‌های پیشرفته عدس

Table 1- Names of advanced lentil cultivars and genotypes

کد	ژنوتیپ	منشأ	کد	ژنوتیپ	منشأ
Code	Genotype	Origin	Code	Genotype	Origin
G1	X02011S97-17	IRAN	G9	ILL7685	ICARDA
G2	X02011S-163-15	IRAN	G10	BARI MASUR-6XLIRL	ICARDA
G3	ILL4605	ICARDA	G11	ILL 10750× ILL1982	ICARDA
G4	X2011S-172-34	IRAN	G12	ILL10800 × 3310	ICARDA
G5	X2011S-183-16	IRAN	G13	ILL4605×ILL6024	ICARDA
G6	X2011S-119-26	IRAN	G14	ILL6002	ICARDA
G7	X2011S-192-45	IRAN	G15	Gachsaran	IRAN
G8	ILL4605×ILL5597	ICARDA	G16	Sepehr	IRAN

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و بارندگی سالانه محیط‌های آزمایشی

Table 2- Geographical characteristics and annual rainfall of the experimental environments

مکان	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بارندگی بلند مدت (میلی‌متر)	بارندگی در سال زراعی (میلی‌متر)	بارندگی در سال زراعی (میلی‌متر)	متوسط درجه حرارت در سال زراعی (درجه سانتی‌گراد)	متوسط درجه حرارت در سال زراعی (درجه سانتی‌گراد)
Location	Height above sea level (m)	Longitude	Latitude	Long-term rainfall (mm)	Rainfall in the crop year 2020-2021 (mm)	Rainfall in the crop year 2021-2022 (mm)	Average temperature in the crop year 2020-2021 (° C)	Average temperature in the crop year 2021-2022 (° C)
لرستان	1147	48°, 18' E	33°, 29' N	445	307 (E1)	463 (E2)	22.4	21.71
گچساران	710	55°, 50' E	30°, 17' N	450	332 (E3)	491 (E4)	18.8	18.27
ایلام	975	47°, 33' E	36°, 46' N	350	261 (E5)	313 (E6)	15.65	21.61
مغان	1650	48°, 18' E	33°, 29' N	445	170 (E7)	-	12.75	-
Mughan								

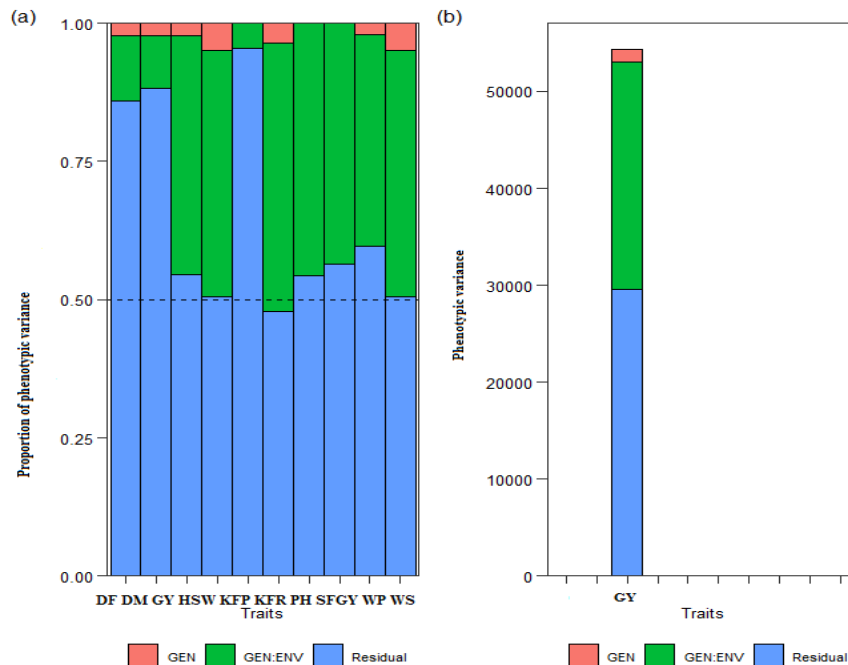
نتایج و بحث

واریانس فنوتیپی عملکرد دانه توسط برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط توجیه شد. حال آنکه اثر ژنوتیپ، توجیه‌کننده تنها ۲/۲ درصد از واریانس برآوردشده بود. این موضوع حاکی از تأثیر پایین ژن‌ها در ایجاد تنوع میان ژنوتیپ‌ها بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه، تحت تأثیر شرایط محیطی قرار گرفتند.

برای صفات اندازه‌گیری‌شده، واریانس‌های برآوردشده به سه جزء واریانس ژنوتیپی، برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط و باقی‌مانده تفکیک شد (شکل ۱). براساس اطلاعات شکل ۱، ۵۴/۵۳ درصد از واریانس فنوتیپی توسط اثر باقی‌مانده توجیه گردید. همچنین ۴۳/۱۹ درصد از

نتایج تحقیقات در مورد گیاه عدس نیز نشان داده است که بخش عمده واریانس توسط اثر محیط توجیه می‌شود (Amin et al., 2024; Pezeshkpour et al., 2024 a; Sellami et al., 2021).

اثر باقی‌مانده عمدتاً به اثر محیط مربوط می‌شود که با توجه به تفاوت‌های زیاد بین محیط‌های آزمایشی از نظر ویژگی‌های خاک، مقدار و پراکنش بارندگی و سایر عوامل قابل توجیه است (جدول ۲).



شکل ۱- (a) نسبت مؤلفه‌های واریانس برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های عدس در آزمایش‌های چند محیطی (Gen: ژنوتیپ، Env: محیط) و (b) واریانس فنوتیپی برآوردشده برای عملکرد دانه

Figure 1- (a) Ratio of variance components for studied traits in lentil genotypes in multi-environment experiments (Gen: genotype, Env: environment) and (b) Estimated phenotypic variance for grain yield

GY: عملکرد دانه، HSW: وزن ۱۰۰ دانه، PH: ارتفاع بوته، DF: روز تا گل‌دهی، DM: روز تا رسیدگی، KFP: دوره پر شدن دانه، KFR: سرعت پر شدن دانه، WP: بهر‌موری از بارش، SYFR: سرعت تشکیل عملکرد دانه و WS: وزن تک دانه

GY: grain yield, HSW: 100 seed weight, PH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, KFP: kernel filling period, KFR: kernel filling rate, WP: rain water productivity, SYFR: seed yield formation rate, and WS: weight of single seed

مطالعه‌شده نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در یک محیط و همچنین تفاوت میانگین آن‌ها از محیطی به محیط دیگر است که نشان می‌دهد گزینش ژنوتیپ‌ها فقط برپایه عملکرد دانه در یک مکان (محیط)، از اعتبار بالایی برخوردار نیست و باید برای به دست آوردن یک نتیجه درست، ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف ارزیابی شوند تا پایداری آن‌ها برآورد شود (Finlay & Wilkinson, 1963). پژوهشگران دیگری نیز واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های عدس را در محیط‌های مختلف گزارش کرده‌اند (Hossain et al., 2023; Pezeshkpour et al., 2024 b,c;). Shobeiri et al., 2024). معنی‌دار بودن اثر محیط نشانگر این است که متوسط دما، میزان و پراکنش بارندگی و توزیع ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه، در محیط‌های مختلف یکسان نبودند (جدول ۲).

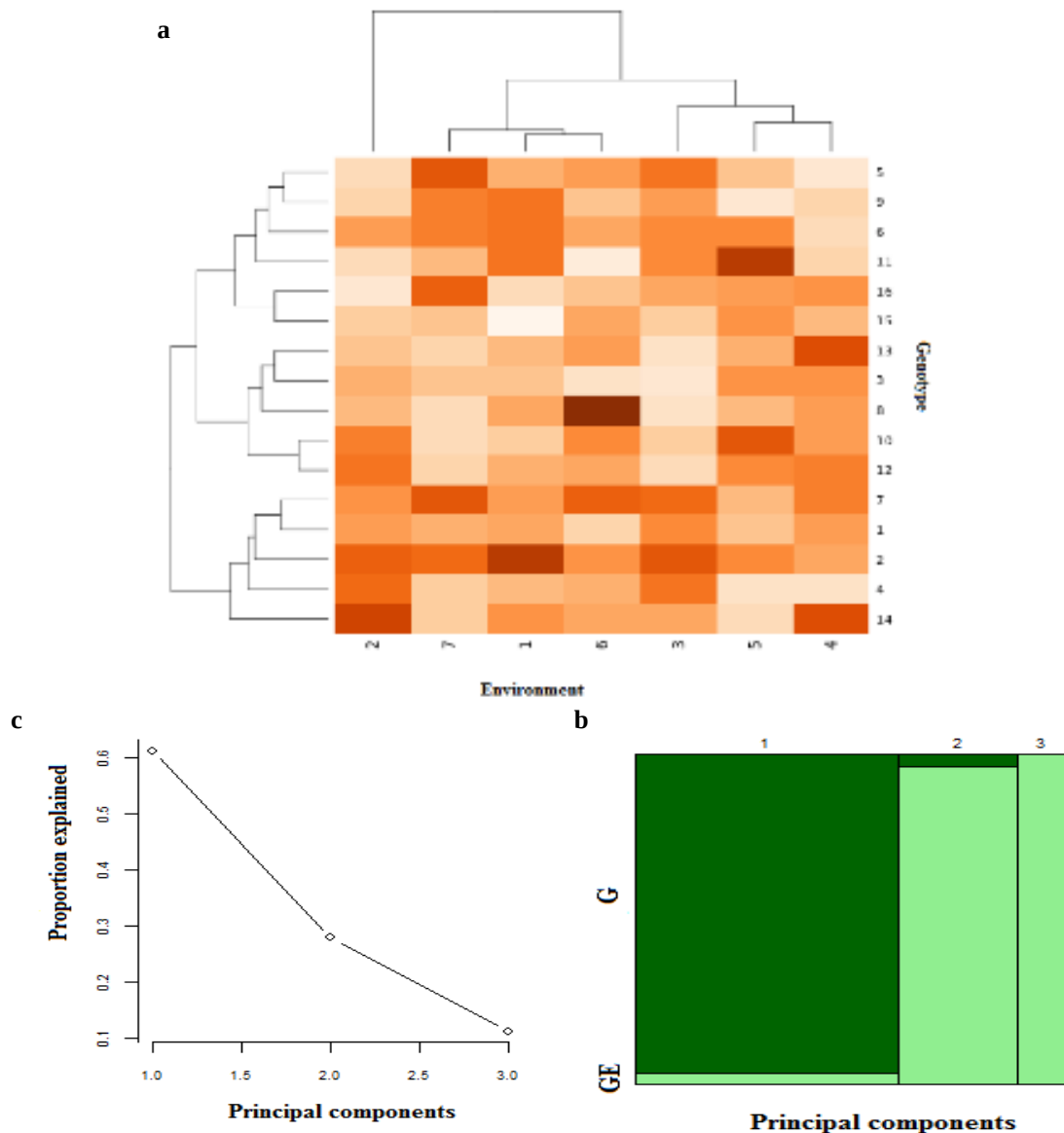
برای پی بردن به پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، از نمودار گرمایی استفاده شد (شکل ۲ - الف). در این نمودار، ژنوتیپ دارای عملکرد یکنواخت در تمام محیط‌ها می‌تواند پایدار باشد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۲، ۷، ۱۴ و ۱۰ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. رقم شاهد سپهر پایدار و رقم شاهد گچساران ناپایدار بود. در این نمودار، عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر محیط بیانگر تنوع درون آن محیط است، به‌طوری‌که هرچه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون یک محیط متفاوت‌تر باشند، بیانگر گوناگونی بین ژنوتیپ‌های درون آن محیط است (Karimizadeh et al., 2020). در محیط‌های ۴، ۵ و ۶ ژنوتیپ‌ها از تنوع عملکردی بیشتری برخوردار بودند. از طرف دیگر، می‌توان از تفاوت عملکرد هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف برای بیان تنوع در بین محیط‌ها استفاده کرد؛ به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۹ و ۱۵ دارای تنوع بیشتر در محیط‌های مطالعه‌شده بودند (شکل ۲ - الف). بررسی چشمی پراکنش میانگین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های

پیش از تجزیه پایداری، اجزای مجموع مربعات کل (TSS) شامل مجموع مربعات ژنوتیپ (G) و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GE) با بهره‌گیری از نمودار موزائیکی، از یکدیگر جدا شدند. در این نمودار که به‌وسیله لافونت و همکاران (Laffont et al., 2007) پیشنهاد شده است، مساحت مربع نمودار، ۱۰۰ درصد مجموع مربعات کل است (شکل ۲-ب). نواحی با رنگ تیره، تنوع برآمده از اثرات ژنوتیپی یا اختلاف بین میانگین ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد که در این تحقیق ۲/۲ درصد تنوع کل است (جدول ۴) و نواحیه‌های با رنگ روشن، تنوع ناشی از برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را نشان می‌دهد که ۴۳/۱۹ درصد از تغییرات کل را در برمی‌گیرد (جدول ۴). شکل ۲-ب سهم مؤلفه‌ها از واریانس ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را نشان می‌دهد. ستون‌های این نمودار بیانگر محورهای مؤلفه اصلی است، به‌گونه‌ای که ستون اول در برگرفته ۴۴/۴ درصد از کل مساحت مربع است و اولین مؤلفه اصلی از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهد. ستون (مؤلفه اصلی) دوم، ۳۲/۲ درصد از مجموع مربعات کل را در برگرفته است. این دو مؤلفه اصلی، با هم ۷۶/۶ درصد از مجموع مربعات کل را تشکیل می‌دهند.

از آزمون اسکری نیز برای شناساندن بهترین شمار مؤلفه‌های توجیه‌کننده برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط استفاده شد که نشان داد هر کدام از مؤلفه‌ها سهم قابل توجهی در توجیه برهم‌کنش ماتریس برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط حاصل از BLUP داشتند (شکل ۲-الف و شکل ۲-ج)، به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۲/۸۴ و ۲۷/۱۱ درصد از تغییرات برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند. با توجه به اینکه در تجزیه داده‌های این آزمایش از مدل مختلط خطی استفاده شده است، آزمون نسبت درست‌نمایی برای ارزیابی معنی‌داری فاکتورهای آزمایشی نیز به کار برده شد و نشان داد که اثر ژنوتیپ بر صفت وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بر صفات عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی، سرعت پُر شدن دانه، بهره‌وری از بارش، سرعت تشکیل عملکرد دانه و وزن تک دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر معنی‌دار برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بیانگر احتمال متفاوت بودن عملکرد دانه یک ژنوتیپ از محیطی به محیط دیگر است. بنابراین، تجزیه BLUP برای تجزیه چنین داده‌هایی مناسب است (Olivoto et al., 2019 b). از این‌رو، بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی (BLUPها) برآورد شد و تجزیه پایداری به‌روش AMMI بر روی این BLUPها انجام گردید. پژوهشگران دیگری نیز برهم‌کنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دانه و اجزای آن در عدس با تجزیه واریانس به‌روش کمترین مربعات گزارش نموده‌اند (Dehghani et al., 2008; Biçer et al., 2018).

در جدول ۴، برخی از پارامتری‌های ژنتیکی شامل واریانس ژنوتیپ، واریانس ژنوتیپ در محیط، واریانس باقی‌مانده و واریانس فنوتیپی به‌روش درست‌نمایی محدودشده برآورد شده‌اند و نسبت آن‌ها به واریانس فنوتیپی برای این سه جزء به‌ترتیب ۲/۲۸، ۴۳/۱۹ و ۵۴/۵۳ درصد بود (جدول ۴). کمترین (۰/۰۹۳۶) و بیشترین (۵۳۳۲۵) واریانس فنوتیپی که به‌وسیله واریانس باقی‌مانده توجیه می‌گردد، به‌ترتیب مربوط به صفات متوسط سرعت پُر شدن دانه و عملکرد دانه بود (جدول ۴). همچنین کمترین (۰/۰۴۵۲) و بیشترین (۳۹/۶) واریانس برهم‌کنش ژنوتیپ $\times$ محیط به صفات سرعت پُر شدن دانه و وزن تک دانه اختصاص داشت. برآورد اجزای واریانس ژنتیکی و سایر پارامتری‌های مرتبط با آن نشان داد که در بین صفات مختلف، بیشترین سهم واریانس ژنتیکی در توجیه واریانس فنوتیپی مرتبط به صفات وزن ۱۰۰ دانه (۴/۹۱ درصد)، وزن تک دانه (۴/۹۱ درصد) و سرعت پُر شدن دانه (۳/۶۸ درصد) بود. میزان وراثت‌پذیری عمومی برای عملکرد دانه در این پژوهش ۰/۰۲۲ درصد بود (جدول ۴) که بیانگر این می‌باشد که بخشی از تغییرات عملکرد دانه ناشی از تأثیر عوامل محیطی بود. دقت گزینش در محدوده ۰/۴۵ قرار داشت. این آماره همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده را نشان می‌دهد (Olivoto et al., 2019 b). دقت گزینش بالای صفات نشان‌دهنده پایداری مدل در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود.

برای عملکرد دانه، ضریب تبیین برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GEI) و میزان وراثت‌پذیری بر میانگین به‌ترتیب برابر ۰/۴۳۱۹ و ۰/۲۰۶۵ درصد بود (جدول ۴). دقت گزینش ژنوتیپ و همبستگی بین ارزش‌های ژنوتیپی در سراسر محیط‌ها به‌ترتیب ۰/۴۵۴ و ۰/۴۴۲ بود (جدول ۴). همچنین ضریب تغییرات ژنوتیپی، ضریب تغییرات باقی‌مانده و همچنین نسبت این دو ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۴/۴۸، ۲۱/۹ و ۰/۲۰۴ درصد بود. برای افزایش دقت پیش‌بینی، یکی از گزینه‌های پیش‌روی به‌نژادگران، بهره‌گیری از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر همچون بهترین پیش‌بینی‌های ناریب خطی است که تجزیه پایداری به‌روش AMMI می‌تواند روی این پیش‌بینی‌ها انجام شود (Olivoto et al., 2019 a). تجزیه واریانس جداگانه در هر کدام از محیط‌ها نشان داد که در پنج محیط، اثر ژنوتیپ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (داده‌ها ارائه نشده است). سه گزینه اصلی برای افزایش دقت پیش‌بینی در آزمایش‌های چند محیطی، بهبود تکنیک‌های آزمایشی (همچون بهره‌گیری از طرح‌هایی با اندازه و شکل ایده‌آل، پیاده کردن درست طرح‌ها در منطقه آزمایشی و کاربرد یکنواخت مدیریت زراعی)، افزایش تعداد تکرارها (با استفاده از طرح‌های مناسب همچون طرح‌های چند عاملی) و استفاده از مدل‌های آماری با توانایی پیش‌بینی بهتر هستند (Gauch & Zobel, 1988; Olivoto et al., 2019 b).



شکل ۲- برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GEI): الف) نمودار گرمایی پراکنش عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها براساس تفاوت رنگ و تنوع ژنوتیپ‌ها و

محیط‌ها؛ ب) نمودار موزائیکی جهت نمایش سهم مؤلفه‌ها از واریانس G+GE و ج) ریشه مشخصه ماتریس GEI

Figure 2- Genotype-by-environment interaction (GEI): a) Heatmap of the distribution of genotype performance across environments based on the color difference and diversity of genotypes and environments; b) Mosaic plot to show the contribution of components to the G+GE variance; and c) The characteristic root of the GEI matrix

جدول ۳- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده برای صفات مطالعه‌شده

Table 3- Assessing the significance of factors in the mixed model and estimating variance components using the restricted maximum likelihood method for the studied traits

آماره Statistics	آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test									
	عملکرد دانه		وزن ۱۰۰ دانه		ارتفاع بوته		روز تا رسیدگی		روز تا گل‌دهی	
	Grain yield		100-seed weight		Plant height		Days to maturity		Days to flowering	
	Gen	Gen × Env	Gen	Gen × Env	Gen	Gen × Env	Gen	Gen × Env	Gen	Gen × Env
کای اسکوتر (χ^2)	0.363 ^{ns}	51.943**	1.409**	58.966**	0.0001 ^{ns}	57.416**	0.8259 ^{ns}	2.593 ^{ns}	0.7115 ^{ns}	3.9766*

ادامه جدول ۳- ارزیابی معنی‌داری فاکتورها در مدل مختلط و برآورد اجزای واریانس با روش حداکثر درست‌نمایی محدودشده برای صفات مطالعه‌شده

Table 3- Assessing the significance of factors in the mixed model and estimating variance components using the restricted maximum likelihood method for the studied traits, Continued

آماره Statistics	آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio test									
	دوره پر شدن دانه Kernel filling period		سرعت پر شدن دانه Kernel filling rate		سرعت تشکیل عملکرد دانه Seed yield formation rate		بهره‌وری از بارش Rain water productivity		وزن تک دانه Weight of single seed	
	Gen	Gen×Env	Gen	Gen×Env	Gen	Gen×Env	Gen	Gen×Env	Gen	Gen×Env
کای اسکوتر (χ^2)	0.00001 ^{ns}	0.6281 ^{ns}	0.792 ^{ns}	68.454 ^{**}	0.0001 ^{ns}	51.971 ^{**}	7.336 ^{ns}	39.93 ^{**}	1.409 ^{ns}	58.966 ^{**}

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
^{ns}، * and **: Non significant, significant at the $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively.

ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۴ و ۱۴، در تمام روش‌های ارزیابی براساس عملکرد و پایداری جزء ژنوتیپ‌های پایدار بودند و در شکل ۴ در رتبه‌های ۲ و ۳ و جزء ژنوتیپ‌های پایدار و دارای عملکرد بالا شناسایی شدند. توضیح اینکه داده‌های استفاده شده در این مطالعه با استفاده از برخی شاخص‌های چندمتغیره دیگر نظیر شاخص پایداری چند صفتی (MTSI) مورد ارزیابی قرار گرفت و در آنجا نیز ژنوتیپ‌های به‌عنوان ژنوتیپ‌های برگزیده شناسایی شدند (Pezeshkpour et al., 2025).

با استفاده از تجزیه عاملی اکتشافی، شناسایی تعداد فاکتور، ارتباط بین عوامل و چگونگی ارتباط متغیرها با این عوامل امکان‌پذیر است (Ullman, 2006). سرانجام، برآورد نمرات فاکتور نهایی امکان جلوگیری از چند هم‌خطی، یک مسئله سیستمیک در تجزیه‌های چندمتغیره را فراهم می‌آورد (Olivoto & Nardino, 2021). تجزیه عاملی براساس صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نشان داد که چهار مؤلفه اصلی در مدل باقی‌مانده که واریانس تجمعی این چهار مؤلفه ۹۱/۸۵ درصد بود (جدول ۵). پس از چرخش واریماکس، میانگین میزان اشتراک، ۰/۸۹ بود و به این معنی است که عوامل می‌توانند بخش بزرگی از واریانس هر متغیر را توضیح دهند. مقادیر WAASBY هر یک از ۱۰ صفت در چهار عامل یا فاکتور قرار گرفتند. صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، سرعت پر شدن دانه و وزن تک دانه در عامل اول، صفات سرعت تشکیل عملکرد دانه و دوره پر شدن دانه در عامل دوم، صفت روز تا رسیدگی در عامل سوم، و صفات بهره‌وری از بارش و وزن ۱۰۰ دانه در عامل چهارم، به ترتیب بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

در شکل ۳، میانگین‌های پیش‌بینی شده عملکرد دانه با روش BLUP نشان داده شده است که بیانگر آن است که بالاترین عملکرد پیش‌بینی شده با روش BLUP برای ژنوتیپ ۲ و در پی آن ژنوتیپ‌های ۱۴، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱ و ۴ بود که دارای عملکرد پیش‌بینی شده بیشتر از میانگین کل بودند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۲، ۱ و ۴ عملکرد پیش‌بینی شده بسیار نزدیک به میانگین داشتند و کمترین پیش‌بینی عملکرد با فاصله زیاد از میانگین کل، مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵، ۳ و ۹ (گچساران) بود. دیگر رقم شاهد یعنی ژنوتیپ شماره ۱۶ (رقم سپهر) نیز پیش‌بینی عملکردی کمتر از میانگین داشت. برآورد دقیق میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به‌ویژه در مدل‌های مختلط از جمله مزیت‌های عمده روش BLUP می‌باشد (Olivoto et al., 2019 b). علاوه بر این، در صورتی که اثر مختلط خطی وجود داشته باشد، BLUP امکان پیش‌بینی بهینه اثرهای تصادفی را امکان‌پذیر می‌سازد (Smith et al., 2005). ادغام دو روش BLUP و AMMI موجب افزایش کارایی هر دو روش می‌شود و یافته‌های حاصل از آزمایش‌های چند محیطی دقیق‌تر تفسیر خواهند شد (Verma & Singh, 2021). روش BLUP این ویژگی را دارد که میانگین‌ها را با دقت بالا، به‌ویژه در مدل‌های مختلط، تخمین می‌زند (Nardino et al., 2016; Olivoto et al., 2019 a,b). در این روش، ابتدا، اثرهای مدل ANOVA تخمین زده می‌شوند و سپس وزن‌هایی به این اثرها داده می‌شود. در عدس، روش‌های مبتنی بر BLUP در ارزیابی کارایی ژنوتیپ‌ها و پیش‌بینی دقیق اجزای واریانس ژنوتیپی مؤثر بوده‌اند (Bermejo et al., 2020; Hossain et al., 2023).

جدول ۴- پارامترهای برآوردشده به روش درست‌نمایی محدودشده + REML

Table 4- Parameters estimated using the REML

پارامترهای ژنتیکی Genetic parameters	عملکرد دانه Grain yield	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	ارتفاع بوته Plant height	روز تا رسیدگی Days to maturity	روز تا گل‌دهی Days to flowering
واریانس ژنوتیپی Genotypic variance	1239 (2.281)*	0.0436 (4.911)	0.405 (0.43)	1.002 (2.286)	0.2775 (2.187)
واریانس ژنوتیپ در محیط Genotype-by- environment variance	2.281 (43.19)	0.396 (44.6)	5.20 (45.54)	4.196 (9.569)	1.511 (11.91)
واریانس مقادیر باقی‌مانده Variance of residual values	29622 (54.53)	0.4483 (50.49)	6.29 (54.03)	38.65 (88.14)	10.9 (85.9)
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	53325	0.8879	11.83	43.84	12.69
وراثت‌پذیری عمومی Broad heritability	0.02281	0.04911	0.0001	0.02286	0.02187
ضریب تشخیص اثرهای GEI Detection coefficient of GEI effects	0.4319	0.446	0.4567	0.09569	0.1191
وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی Average genotypic heritability	0.2065	0.3588	0.001	0.2912	0.2741
دقت انتخاب ژنوتیپ Genotype selection accuracy	0.4544	0.599	0.0001	0.5397	0.5236
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها Correlation between genotypic values among environments	0.4420	0.469	0.4567	0.09793	0.1218
ضریب تغییرات ژنوتیپی Genotypic coefficient of variation (CVg)	4.482	4.414	0.0001	0.6957	0.4978
ضریب تغییرات مقادیر باقی‌مانده Residual coefficient of variation (CVr)	21.92	14.15	7.606	4.32	3.12
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقی‌مانده CVg/CVr ratio	0.2045	0.3119	0.0001	11.16	0.1596
انحراف معیار Standard deviation	479.34	1.48	10.69	0.92	18.82
خطای استاندارد Standard error	26.19	0.08	0.58	0.05	1.03

* اعداد داخل پرانتز، درصد واریانس می‌باشند.

* Numbers in parentheses are percentage variance.

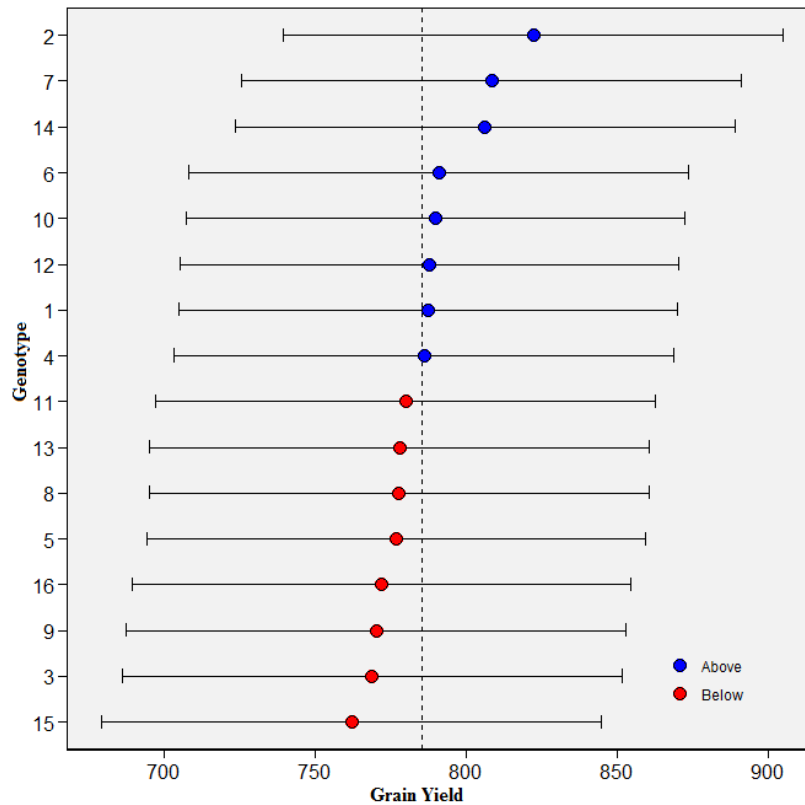
ادامه جدول ۴- پارامترهای برآورد شده به روش درست‌نمایی محدود شده + REML

Table 4- Parameters estimated using the REML, Continued

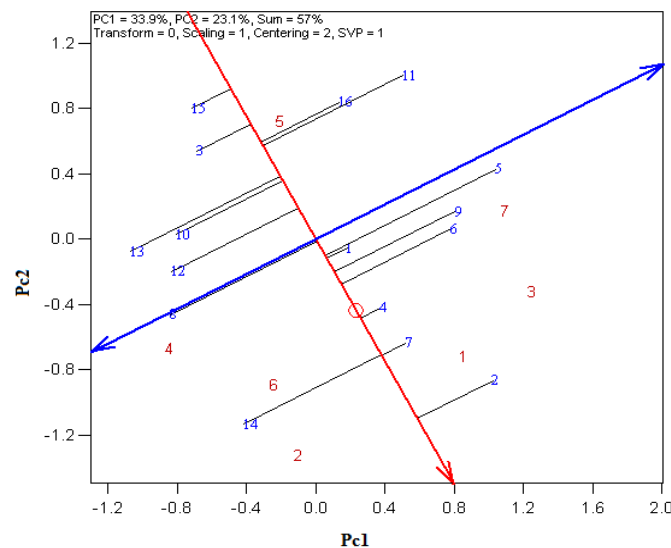
پارامترهای ژنتیکی Genetic parameters	دوره پر شدن دانه Kernel filling period	سرعت پر شدن دانه Kernel filling rate	سرعت تشکیل عملکرد دانه Seed yield formation rate	بهره‌وری از بارش Rain water productivity	وزن تک دانه Weight of single seed
واریانس ژنوتیپی Genotypic variance	0.00000001323 (0.00000002647)*	0.00345 (3.684)	0.0000000025 (0.16)	0.009595 (2.07)	40.36 (4.91)
واریانس ژنوتیپ در محیط Genotype-by-environment variance	2.263 (4.527)	0.04529 (48.37)	1.281 (43.30)	0.177 (38.17)	39.6 (44.6)
واریانس مقادیر باقی‌مانده Variance of residual values	47.72 (95.47)	0.04489 (47.94)	1.654 (56.3)	0.2771 (59.76)	44.83 (50.49)
واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	4.999	0.09364	2.935	0.4633	88.79
وراثت‌پذیری عمومی Broad heritability	0.0000002647	0.03684	0.0000000000767	0.0207	0.0491
ضریب تشخیص اثرهای GEI Detection coefficient of GEI effects	0.0452	0.4837	0.4364	0.3817	0.4934
وراثت‌پذیری میانگین ژنوتیپی Average genotypic heritability	0.000000005098	0.2861	0.0000000008605	0.1996	0.6121
دقت انتخاب ژنوتیپ Genotype selection accuracy	0.0000715	0.5349	0.00002933	0.4468	0.7821
همبستگی بین مقادیر ژنوتیپی در میان محیط‌ها Correlation between genotypic values among environments	0.04527	0.5022	0.436	0.3898	0.7011
ضریب تغییرات ژنوتیپی Genotypic coefficient of variation (CVg)	0.0003020	4.391	0.000762	4.308	6.039
ضریب تغییرات مقادیر باقی‌مانده Residual coefficient of variation (CVr)	1.814	15.84	2.367	23.15	5.088
نرخ ضریب تغییرات ژنوتیپی بر ضریب تغییرات مقادیر باقی‌مانده CVg/CVr ratio	0.00001665	0.2772	0.00001167	0.1861	1.187
انحراف معیار Standard deviation	17.6	0.45	3.14	1.11	14.79
خطای استاندارد Standard error	0.96	0.02	3.14	0.06	0.81

* اعداد داخل پرانتز درصد واریانس می‌باشند.

* Numbers in parentheses are percentage of variance.



شکل ۳- عملکرد دانه پیش‌بینی شده ژنوتیپ‌های عدس بر پایه بهترین پیش‌بینی نااریب خطی (BLUP)
Figure 3- Predicted grain yield of lentil genotypes based on best linear unbiased prediction (BLUP)



شکل ۴- نمای قدرت تمایز و نمایندگی محیط‌ها یا مقیاس‌بندی مبتنی بر محیط. PC1 و PC2، به ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند
Figure 4- View of the power of differentiation and representation of environments or scaling based on environment. PC1 and PC2 are the first and second principal components, respectively

شماره‌های قرمز و آبی رنگ به ترتیب نشانگر محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها می‌باشند
Red and blue numbers indicate environments and genotypes, respectively

جدول ۵- مقادیر هر یک از صفات اندازه‌گیری شده در چهار عامل اول تحلیل عاملی

Table 5- The values of each of the measured traits in the first four factors of factor analysis

صفات Traits	عامل اول Factor 1	عامل دوم Factor 2	عامل سوم Factor 3	عامل چهارم Factor 4	میزان اشتراک Communalities
عملکرد دانه Grain yield	0.887	-0.00958	-0.346	-0.0421	0.908
روز تا رسیدگی Days to maturity	-0.168	0.0903	0.960	0.146	0.979
سرعت تشکیل عملکرد دانه Seed yield formation rate	0.076	-0.941	-0.0991	0.0784	0.907
بهره‌وری از بارش Rain water productivity	-0.198	-0.292	0.293	0.853	0.938
ارتفاع بوته Plant height	-0.592	-0.554	-0.346	0.142	0.798
دوره پر شدن دانه Kernel filling period	0.367	-0.786	0.102	0.0705	0.768
وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	-0.24	-0.325	0.661	-0.554	0.907
سرعت پر شدن دانه Kernel filling rate	0.946	-0.199	-0.132	-0.0127	0.952
وزن تک دانه Weight of single seed	0.884	-0.195	-0.168	-0.0741	0.853
روز تا گل‌دهی Days to flowering	-0.168	0.0903	0.96	0.146	0.979
مقادیر ویژه Eigenvalues	660396	599796	160813	114164	
سهم از واریانس (%) % of variance	39.51	35.89	9.621	6.83	
واریانس تجمعی (%) Cumulative variance (%)	39.51	75.4	85.02	91.85	

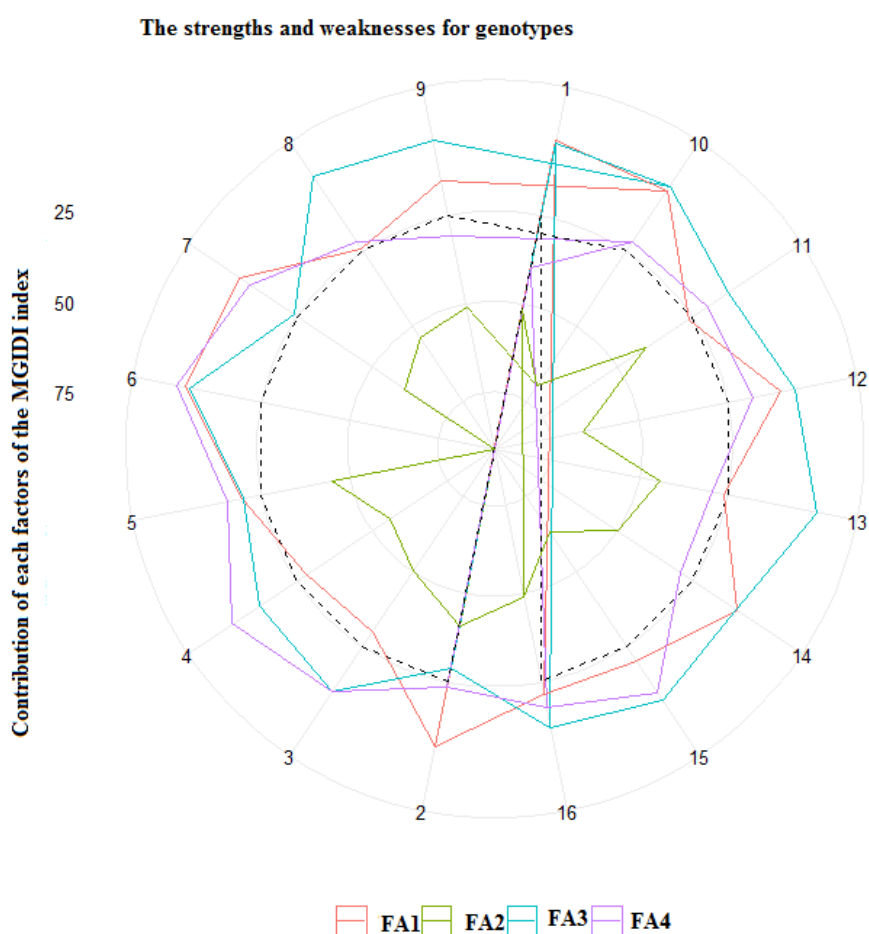
شاخص فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI) یک شاخص چند صفتی دیگر و مبتنی بر تجزیه عاملی است که براساس فاصله هر کدام از ژنوتیپ‌ها از ژنوتیپ ایده‌آل، برآورد می‌شود. در شکل ۵، کاربرد این شاخص در گزینش ژنوتیپ‌های برتر عدس نشان داده شده است. ژنوتیپ شماره ۲ در عامل اول (FA_1)، ژنوتیپ شماره ۲ در عامل دوم (FA_2)، ژنوتیپ شماره ۱۳ در عامل سوم (FA_3) و ژنوتیپ شماره ۱۴ در عامل چهارم (FA_4) که به لبه شکل نزدیک‌تر می‌باشند، دارای بالاترین ظرفیت تولید و پایداری می‌باشند (شکل ۷). سهم فاکتورها در MGIDI به دو عنوان شامل عوامل کمک‌کننده کمتر و بیشتر طبقه‌بندی شدند. عواملی که سهم بیشتری دارند، در نزدیکی مرکز ترسیم قرار دارند، درحالی‌که عوامل کمک‌کننده کمتر، به سمت لبه ترسیم قرار داشتند (Olivoto & Nardino, 2021). براساس این شکل، کمترین سهم توجیه‌شده توسط یک عامل (نزدیک به لبه خارجی) نشان‌دهنده نزدیک بودن صفات درون آن عامل به حالت ایده‌آل پایدار است. خط چین نشان‌دهنده ارزش نظری است، در صورتی که همه عوامل به یک اندازه نقش داشته باشند. با توجه به

با توجه به میانگین کل صفات در جدول ۶، در بین ۱۰ صفت زراعی ارزیابی شده، مقادیر مشاهده شده ژنوتیپ‌های منتخب (X_s) برای صفات تعداد روز تا گل‌دهی، دوره پر شدن دانه، سرعت پر شدن دانه، بهره‌وری از بارش بالاتر از میانگین بود (X_0). همچنین حداقل و حداکثر دیفرانسیل انتخاب به ترتیب مربوط به صفات عملکرد دانه ($-38/1$) و دوره پر شدن دانه ($0/455$) بود که این می‌تواند روشنگری را برای اصلاح عدس به ارمغان بیاورد. دیفرانسل انتخاب آماره MGIDI برای صفات وزن تک دانه، سرعت پر شدن دانه، ارتفاع بوته، دوره پر شدن دانه، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد روز تا رسیدگی مثبت بود. این موضوع بیانگر توانایی شاخص MGIDI در شناسایی ژنوتیپ‌های برتری است که می‌توانند به عنوان ژنوتیپ ایده‌آل برای اصلاح با صفات زراعی مطلوب استفاده شود. با توجه به شاخص WAASBY (جدول ۶)، دیفرانسیل انتخاب صفات بهره‌وری از بارش، تعدد روز تا رسیدگی، دوره پر شدن دانه، وزن ۱۰۰ دانه، روز تا گل‌دهی و وزن تک دانه مثبت مشاهده شد و اختلاف انتخاب از $11/4$ تا 24 متغیر بود که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های انتخاب شده پایدار بودند.

کمترین عامل توجیه‌کننده (دور از مرکز نمودار) طبقه‌بندی شد. کوچکترین سهم توجیه‌شده توسط هر عامل که به لبه خارجی نزدیک‌تر است، بیانگر نزدیک بودن صفات در آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل است. محققان بر استفاده از شاخص MGIDI برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر تأکید دارند، زیرا این شاخص، دقیق و تفسیر آن آسان بوده و همچنین بدون ضرایب وزنی و مشکلات هم‌راستایی چندگانه است و امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌کند (Machado e Silva, 2023).

اینکه هر ژنوتیپ برای عامل‌هایی که سهم کمتری در آن‌ها دارد از لحاظ صفات درون آن عامل به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است، ژنوتیپ ایده‌آل با توجه به صفات قرار گرفته در هر عامل و اهدافی که برای بهبود آن صفت مد نظر است، تعریف می‌شود. ژنوتیپ شماره ۲ با استفاده از شاخص میانگین هارمونیک و عملکرد نسبی ارزش ژنوتیپی (HMRPGV¹) ژنوتیپی پایدار و با عملکرد بالا شناسایی شده بود (Pezeshkpour et al., 2025).

برای هر ژنوتیپ گزینش‌شده، سهم هر عامل در شاخص MGIDI از بیشترین عامل توجیه‌کننده (نزدیک به مرکز نمودار) تا



شکل ۵- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و ژنوتیپ‌های انتخاب‌شده برپایه شاخص فاصله ژنوتیپ - ایدئوتیپ چند صفتی (MGIDI)

Figure 5- Ranking of genotypes and selected genotypes based on the Multi Trait Genotype Ideotype Distance Index (MGIDI)

۱۰۰ دانه (۳۶/۸ گرم) و ارتفاع بوته (۴۷ سانتی‌متر) جزو ارقام برتر بود و نسبت به شاهد‌های گچساران و سپهر به‌ترتیب ۱۸ و ۱۰ درصد برتری نشان داد. لذا با توجه به وجود پیوند منفی بین عملکرد دانه با دانه درشتی در گیاه عدس در صورتی که فقط افزایش عملکرد ملاک باشد، ژنوتیپ شماره ۱۲ (FLIP07-125C) مناسب می‌باشد، اما اگر وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بوته برای بازارپسندی و برداشت مکانیزه عدس مورد توجه باشد، انتخاب ژنوتیپ شماره ۱۰ می‌تواند مناسب باشد. ژنوتیپ شماره ۲ با عملکرد دانه (۹۶۹ کیلوگرم در هکتار)، ارتفاع بوته (۴۶/۶ سانتی‌متر)، سرعت تشکیل عملکرد دانه (۶/۶۳ کیلوگرم در هکتار در روز) و بهره‌وری از بارش (۲/۸۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) بیشتر از میانگین کل صفات در ژنوتیپ‌ها و شاهد‌ها در این پژوهش، برتر بود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی با عنوان بررسی سازگاری و پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های عدس به‌صورت کشت پاییزه در مناطق نیمه‌گرمسیر دیم با شماره مصوب ۰۰۱۰۵۵-۰۰۱۸-۰۰۱۵-۵۹-۰۰ می‌باشد که بدین وسیله از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تشکر و قدردانی می‌گردد.

میانگین برخی از خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در **جدول ۷** نشان داده شده است. از نظر روز گل‌دهی، ارقام و ژنوتیپ‌ها در محدوده ۱۰۷-۱۰۴ روز قرار داشتند، که کمترین آن مربوط به ژنوتیپ ۱۵ (شاهد گچساران) و بیشترین آن مربوط به ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۲، ۸ و ۱۳ بود. از نظر روز تا رسیدگی نیز تفاوت هشت روز در محدوده ۱۴۵-۱۳۷ بین ارقام و ژنوتیپ‌ها مشاهده گردید (**جدول ۷**). ژنوتیپ ۱۵ (شاهد گچساران) با کمترین زمان رسیدن (۱۳۷ روز)، زودرس‌ترین ژنوتیپ شناخته شد. تغییرات ارتفاع بوته ارقام و ژنوتیپ‌ها نیز در محدوده بین ۳۱ تا ۳۵ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع بوته (۳۱/۱ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ G15 و بیشترین ارتفاع بوته (۳۵/۱ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۱ بود. وزن ۱۰۰ دانه ارقام و ژنوتیپ‌ها با میانگین ۴/۷۳ گرم بین ۳/۷۸ تا ۵/۱۷ گرم متغیر بود. بیشترین وزن ۱۰۰ دانه مربوط به ژنوتیپ‌های ۳ (۵/۱۷ گرم) و ۱۰ (۵/۱۲ گرم) بود. ژنوتیپ ۲ دارای بیشترین بهره‌وری از بارش (۲/۸۲ کیلوگرم بر میلی‌متر) بود و کمترین بهره‌وری از بارش (۱/۹۵ کیلوگرم بر میلی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۵ بود. بیشترین سرعت تشکیل عملکرد دانه (۶/۶۳ کیلوگرم در هکتار در روز) مربوط به ژنوتیپ ۱۰ بود.

در **شکل ۶** نتایج حاصل از ضرایب همبستگی ساده میان صفات ارائه شده است. بیشترین میزان همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه را صفات سرعت تشکیل عملکرد دانه (**۰/۹۷)، تعداد روز تا گل‌دهی (**۰/۴۷) و ارتفاع بوته (**۰/۷۱) نشان داده است. احتمالاً ژنوتیپ‌های با ارتفاع بوته بیشتر، حاوی تعداد غلاف بیشتر بوده است. اما همبستگی تعداد روز تا گل‌دهی با عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود که احتمالاً این طول دوره رشد تأثیری بر عملکرد و اجزای آن داشته و باعث افزایش عملکرد شده است. در رابطه با صفت ارتفاع بوته، دیکسیت و دویی (Dixit & Dubey, 1985) به چنین نتیجه‌ای اشاره داشتند. همبستگی وزن ۱۰۰ دانه و صفات فنولوژیک مدت زمان کشت تا گل‌دهی با عملکرد، منفی و معنی‌دار گردید. در نتیجه ژنوتیپ‌های عدسی که دیررس‌تر بودند، در گریز از شرایط تنش و محدودیت رطوبت خوب عمل نمودند و بر عملکرد آن‌ها تأثیرگذار بوده و کاهش نشان دادند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته، روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی، دوره پُر شدن دانه، سرعت پُر شدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد دانه، بهره‌وری از بارش و وزن تک دانه معنی‌دار بود. براساس نمودار گرمایی، ژنوتیپ‌های ۲ و ۱۲ را می‌توان پایدار در نظر گرفت. ژنوتیپ شماره ۲ (X02011S-163-15) عملکرد دانه (۹۶۴ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها را به خود اختصاص داد و از لحاظ وزن

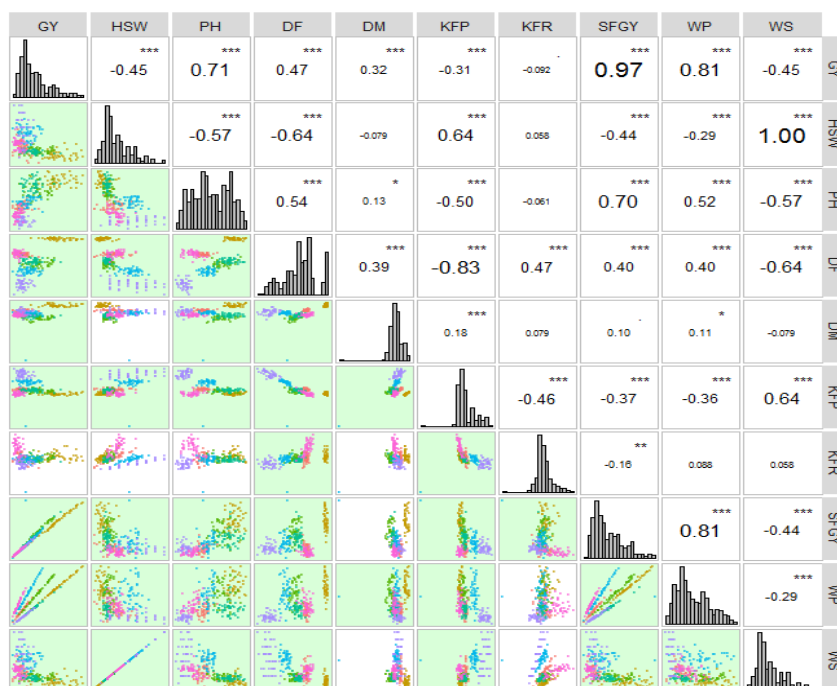
جدول ۶- دینفرانسیل انتخاب شاخص WAASBY برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های عدس
Table 6- Differential selection of WAASBY index for studied traits in lentil genotypes

انتخاب بر اساس میانگین کل صفات												
Selection based on the average of all traits												
هدف Aim	وراثت‌پذیری Hereditiy	انتخاب بر اساس شاخص WAASB				انتخاب بر اساس میانگین کل صفات				میانگین کل Total average (X0)	عامل Factor	صفات Traits
		Selection based on WAASB index				Selection based on the average of all traits						
		درصد دیفرانسیل انتخاب Selection differential percentage (SD%)	دیفرانسیل انتخاب Selection differential (SD)	میانگین ژنوتیپ‌های انتخابی Average of selected genotypes (Xs)	میانگین کل Total average (X0)	درصد دیفرانسیل انتخاب Selection differential percentage (SD%)	دیفرانسیل انتخاب Selection differential (SD)	میانگین ژنوتیپ‌های انتخابی Average of selected genotypes (Xs)	میانگین کل Total average (X0)			
افزایش Increase	0.206	-26.6	-11.4	31.3	42.7	-4.85	-38.1	747	785	1	عملکرد دانه Grain yield	
کاهش Decrease	2.91	11.4	6.03	59.2	53.1	-0.0207	-0.0298	144	144	1	روز تا رسیدگی Days to maturity	
افزایش Increase	0.0000000086	-24.3	-8.87	27.6	36.5	-5.79	-0.0314	5.12	5.43	1	سرعت تشکیل عملکرد دانه Seed yield formation rate	
افزایش Increase	0.2	-24.3	-9.55	29.8	39.3	-6.23	-0.144	2.13	2.27	1	بهره‌وری از بارش Rain water productivity	
افزایش Increase	0	36.0	20.9	78.7	۵۷/۹	1.28	0.426	۳۳/۸	33.3	2	ارتفاع بوته Plant height	
افزایش Increase	0.0000000051	11.2	8.4	83.4	75.0	1.2	0.455	38.5	38.1	2	دوره پر شدن دانه Kernel filling period	
افزایش Increase	0.359	6.05	4.01	70.3	66.3	0.871	0.0412	4.77	4.73	3	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	
افزایش Increase	0.286	-4.81	-2.44	48.2	50.6	1.88	0.0125	1.36	1.34	3	سرعت پر شدن دانه Kernel filling rate	
افزایش Increase	0.359	6.05	4.01	70.3	66.3	0.871	0.422	47.7	47.3	3	وزن تک دانه Weight of single seed	
کاهش Decrease	0.274	47	24	75.0	51.0	-0.458	-0.485	105	106	4	روز تا گل‌دهی Days to flowering	

جدول ۷- میانگین خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط‌های مورد آزمایش

Table 6- Differential selection of WAASBY index for studied traits in lentil genotypes

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	روز تا رسیدی Days to maturity	سرعت تشکیل عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار در روز) Seed yield formation rate (kg.ha ⁻¹ .day ⁻¹)	بهره‌وری از بارش (کیلوگرم بر میلی‌متر) Rain water productivity (kg.mm ⁻¹)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	دوره پر شدن دانه (روز) Kernel filling period (day)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	سرعت پر شدن دانه (میلی‌گرم دانه در روز) Kernel filling rate (mg.seed ⁻¹ .day ⁻¹)	وزن تک دانه (میلی‌گرم) Weight of single seed (mg)	روز تا گل‌دهی Days to flowering	عملکرد نسبت به شاهد گچساران کل (درصد) Yield compared to the Gachsaran control (%)	عملکرد نسبت به شاهد سپهر کل (درصد) Yield compared to the Sepehr control (%)	عملکرد نسبت به میانگین کل (درصد) Yield compared to the total average (%)
G1	796	145	5.41	2.29	33.0	38	4.67	1.35	46.7	107	118	110	101
G2	964	144	6.63	2.82	32.8	37	3.77	1.16	37.8	107	143	134	123
G3	705	144	4.84	2.04	33.8	39	5.17	1.51	51.7	105	105	98	90
G4	789	144	5.39	2.22	33.8	39	4.37	1.22	43.7	105	117	109	100
G5	744	144	5.16	2.26	34.0	39	4.83	1.27	48.4	105	111	103	95
G6	813	145	5.59	2.43	32.7	40	4.62	1.21	46.2	105	121	113	104
G7	898	144	6.18	2.60	33.1	39	4.31	1.19	43.1	105	133	125	114
G8	749	144	5.12	2.08	33.8	37	4.80	1.41	48.0	107	111	104	95
G9	713	145	4.89	2.11	32.3	39	4.79	1.31	47.9	106	106	99	91
G10	807	144	5.50	2.30	34.6	38	5.12	1.50	51.2	106	120	112	103
G11	760	143	5.31	2.34	35.1	38	5.06	1.46	50.6	105	113	105	97
G12	798	145	5.38	2.25	33.4	39	4.88	1.33	48.8	106	119	111	102
G13	750	144	5.18	2.09	32.6	37	4.88	1.42	48.8	107	111	104	95
G14	887	145	6.05	2.41	34.2	39	4.62	1.33	46.2	106	132	123	113
G15	673	137	5.26	1.95	31.1	33	4.86	1.31	48.6	104	100	93	86
G16	721	144	5.03	2.18	33.2	38	4.93	1.42	49.3	106	107	100	92



شکل ۶- تخمین‌های همبستگی خطی پیرسون برای صفات ارزیابی‌شده در ۱۶ ژنوتیپ عدس در هفت محیط مختلف

Figure 6- Pearson's linear correlation estimates for characters evaluated in 16 lentil genotypes in seven different environments

GY: عملکرد دانه، HSW: وزن ۱۰۰ دانه، PH: ارتفاع بوته، DF: روز تا گل‌دهی، DM: روز تا رسیدگی، KFP: دوره پُر شدن دانه، KFR: سرعت پُر شدن دانه، WP: بهره‌وری از بارش، SYFR: سرعت تشکیل عملکرد دانه و WS: وزن تک دانه

GY: grain yield, HSW: 100 seed weight, PH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, KFP: kernel filling period, KFR: kernel filling rate, WP: rain water productivity, SYFR: seed yield formation rate, and WS: weight of single seed

References

- Al-Ashkar, I., Sallam, M., Almutairi, K. F., Shady, M., Ibrahim, A., & Alghamdi, S. S. (2023). Detection of high-performance wheat genotypes and genetic stability to determine complex interplay between genotypes and environments. *Agronomy*, 13(2), 585. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020585>
- Amin, M. N., Islam, M. M., Coyne, C. J., Carpenter-Boggs, L., & McGee, R. J. (2024). Spectral indices for characterizing lentil accessions in the dryland of Pacific Northwest. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(1), 167-179. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01614-8>
- Bermejo, C., Cazzola, F., Maglia, F., & Cointy, E. (2020). Selection of parents and estimation of genetic parameters using BLUP and molecular methods for lentil (*Lens culinaris* Medik.) breeding program in Argentina. *Experimental Agriculture*, 56(1), 12-25. <https://doi.org/10.1017/S0014479719000061>
- Biçer, B. T., Kızılgeçi, F., Albayrak, Ö., Akinci C., & Yıldırım, M. (2018). Stability parameters in lentil genotypes. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 5(2), 287-291. <https://doi.org/10.31202/ecjse.403995>
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., & Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264. <https://doi.org/10.1071/FP02076>
- Dastfall, M., Najafi Mirak, T., & Zali, H. (2024). Selection of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes tolerant to terminal season drought stress using multi-trait indices (MGIDI). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25(4), 342-361. (In Persian).
- Dehghani, H., Sabaghpour, S. H., & Sabaghnia, N. (2008). Genotype × environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(3), 385-394. <https://doi.org/10.5424/sjar/2008063-5292>

- De Souza, P. I., Egli, D. B., & Bruening, W. P. (1997). Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. *Agronomy Journal*, 89(5), 807-812. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900050015x>
- Dixit, P., & Dubey, D. K. (1985). Path analysis in lentil. *Lens Newsletter*, 11, 15-17.
- Finlay, K., & Wilkinson, G. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14(6), 742-754. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9630742>
- Forouzi, M., Ehteshami, S. M., Esfahani, M., & Rabiei, M. (2016). Study the amount of dry matter remobilization and current photosynthesis in different seed sizes of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Rasht. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 3(1), 47-61. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763780.1395.3.1.4.8>
- Gauch, H., & Zobel, R. (1988). Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 76(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/BF00288824>
- Henderson, C. R. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 31(2), 423-447. <https://doi.org/10.2307/2529430>
- Holland, J. B. (2006). Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science*, 46(2), 642-654. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0191>
- Hossain, M. A., Sarker, U., Azam, M. G., Kobir, M. S., Roychowdhury, R., Ercisli, S., Ali, D., Oba, S., & Golokhvast, K. S. (2023). Integrating BLUP, AMMI, and GGE models to explore GE interactions for adaptability and stability of winter lentils (*Lens culinaris Medik.*). *Plants*, 12(11), 2079. <https://doi.org/10.3390/plants12112079>
- IBPGR, ICRISAT and ICARDA, (1993). Descriptors for Lentil International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italy; International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India and International Center for Agriculture Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria.
- Jahufer, M. Z. Z., & Casler, M. D. (2015). Application of the Smith-Hazel selection index for improving biomass yield and quality of switchgrass. *Crop Science*, 55(3), 1212-1222. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.08.0575>
- Joudi, M., & Ebadi, A. (2015). Evaluation of agronomic traits of Iranian wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and their associations under terminal heat stress. *Research in Field Crop Journal*, 3(1), 42-54. (In Persian)
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A., & Sharifi, P. (2020). Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12(36), 160-170. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/jcb.12.36.160>
- Kumar, J., Kant, R., Kumar, S., Basu, P. S., Sarker, A., & Singh, N. P. (2016). Heat tolerance in lentil under field conditions. *Legume Genomics and Genetics*, 7(1), 1-11.
- Laffont, J. L., Hanafi, M., & Wright, K. (2007). Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science*, 47(3), 990-996. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.08.0549>
- Machado e Silva, C., Mezzomo, H. C., Ribeiro, J. P. O., Freitas, D. S., & Nardino, M. (2023). Multi-trait selection of wheat lines under drought-stress condition. *Bragantia, Campinas*, 82, e20220254.
- Mohammadi, G. H., Golezani, K. G., Javanshir, A., & Moghaddam, M. (2006). The influence of water limitation on the yield of three lentil cultivars. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 10(2), 109-120. (In Persian)
- Nardino, M., Baretta, D., Carvalho, I. R., Olivoto, T., Follmann, D. N., Szareski, V. J., Ferrari, M., de Pelegrin, A. J., Konflanz, V. A., & de Souza, V. Q. (2016). Restricted maximum likelihood/best linear unbiased prediction (REML/BLUP) for analyzing the agronomic performance of corn. *African Journal of Agricultural Research*, 11(48), 4864-4872. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11691>
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E. (2019a). 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. C., da Silva, J. A. G., Sari, B. G., & Diel, M. I. (2019b). 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., & Lúcio, A. D. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>
- Olivoto, T., & Nardino, M. (2020). MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. *BioRxiv (Preprint)*, 2020:07. <https://doi.org/10.1101/2020.07.23.217778>
- Olivoto, T., & Nardino, M. (2021). MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37(10), 1383-1389. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btaa981>

- Oweis, T. Y., & Hachum, A. Y. (2003). Improving water productivity in the dry areas of West Asia and North Africa. In *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. pp. 179-198. Wallingford UK: CABI Publishing.
- Parry, M. A., Andralojc, P. J., Khan, S., Lea, P. J., & Keys, A. J. (2002). Rubisco activity: Effects of drought stress. *Annals of Botany*, 89(7), 833-839. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf103>
- Pezeshkpour, P., Sharifi, P., Amiri, R., Namdari, A., Mirzaei, A., & Mehraban, A. (2025). Selection of stable lentil genotypes for rainfed conditions using multivariate methods. *Legume Science*, 7, e70047. <https://doi.org/10.1002/leg3.70047>
- Pezeshkpour, P., Armion, M., & Rostami, B. (2024 a). Evaluation of the efficiency of WAASB, WAASBY indices and linear mixed effects model (LMM) for identifying high-yielding lentil genotypes adapted to rainfed regions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 6(2), 431-452. (In Persian)
- Pezeshkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024 b). 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. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.61186/jcb.16.2.42>
- Pezeshkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024 c). Genetic parameters, stability and selection of lentil genotypes under rainfed conditions for autumn planting using BLUP, WAASB and AMMI methods. *Plant Production and Genetics*, 5(2), 183-200. (In Persian).
- Rahmati, M., Abdipour, M., & Sepahvand, M. (2024). Selection of durum wheat genotypes based on MGIDI and SIIG selection indexes. *Plant Production and Genetics*, 5(2), 299-312. (In Persian).
- Resende, M. D. V. D. (2016). Software Selegen-REML/BLUP: A useful tool for plant breeding. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(04), 330-339.
- Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2017). Effects of drought, heat and their interaction on the growth, yield and photosynthetic function of lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes varying in heat and drought sensitivity. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1776. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01776>
- 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>
- Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., & Abbasian, A. (2017). Evaluation of genotype× environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. *Rice Science*, 24(3), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.02.001>
- Shirzad, A., Asghari, A., Zali, H., Sofalian, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2022). Application of the multi-trait genotype-ideotype distance index in the selection of top barley genotypes in the warm and dry region of Darab. *Journal of Crop Breeding*, 14(44), 65-76. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.65>
- Shobeiri, S. S., Khorsandi, H., & Kamel, M. (2019). Effects of seed rates and row spaces on grain yield and yield components of two lentil cultivars under cold dryland conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 7(2), 125-141. (In Persian).
- Shobeiri, S. S., Pezeshkpour, P., & Naseri, B. (2024). Evaluation of efficiency of weighted average of stability and mean performance estimated by linear mixed models for identifying high-yielding lentil genotypes adapted to rainfed regions. *Legume Science*, 6(2), e226. <https://doi.org/10.1002/leg3.226>
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7(3), 240-250. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>
- Smith, A. B., Cullis, B. R., & Thompson, R. (2005). The analysis of crop cultivar breeding and evaluation trials: An overview of current mixed model approaches. *The Journal of Agricultural Science*, 143(6), 449-462. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005587>
- Ullman, J. B. (2006). Structural equation modeling: Reviewing the basics and moving forward. *Journal of Personality Assessment*, 87, 35-50. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa8701_03
- Verma, A., & Singh, G. P. (2021). Stability, adaptability analysis of wheat genotypes by AMMI with BLUP for restricted irrigated multi location trials in Peninsular zone of India. *Agriculture Science*, 12(3), 118-124. <https://doi.org/10.4236/as.2021.123013>
- Wright, K., & Laffont, J. L. (2018). Genotype plus genotype-by-environment biplots. R package. <https://Kwstat.Github.io/gge/index.html>.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.92223.1107>

Effect of Sowing Date, Planting Pattern and Foliar Application of Boron on Seed Yield of Local Beans (Pachbaghela) (*Phaseolus vulgaris* L.) in Guilan Province, Iran

Saleh Hassanzadeh¹, Masoud Esfahani^{1*}, Ali Aalami²

Received: 23 February 2025

Revised: 01 June 2025

Accepted: 03 June 2025

Available Online: 03 June 2025

Cite this article:

Hassanzadeh, S., Esfahani, M., & Aalami, A. (2025). Effect of sowing date, planting pattern, and foliar application of boron on seed yield of local beans (Pachbaghela) (*Phaseolus vulgaris* L.) in Guilan province, Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 249-264. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.92223.1107>

Introduction

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

Materials and Methods

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

Results and Discussion

The results of the combined variance analysis showed that the effect of the sowing date was significant on all tested traits except for seed protein content. These traits included plant height, number of secondary branches, number of pods per plant, percentage of fertile pods, 100-seed weight, biological yield, seed yield, seed formation rate, seed filling rate, yield formation rate, and vegetative growth rate. In contrast, sowing pattern treatments significantly affected only plant height, the number of secondary branches, and 100-seed weight, with no significant impact on the other measured traits. In comparison, boron foliar application had a significant effect on a wide range of traits, including plant height, number of pods per plant, percentage of fertile pods, 100-seed weight, biological yield, seed yield, seed formation rate, seed filling rate, yield formation rate, vegetative growth rate, and seed protein content. The results showed that seed yield at the spring sowing date averaged 348.3 g.m⁻², which was significantly higher than the summer sowing date average of 204.0 g.m⁻² (a 41% increase). Boron foliar application also significantly increased seed yield, with an average of 307.9 g.m⁻² compared to 244.5 g.m⁻² without boron (a 20% increase). However, sowing patterns had no significant effect on seed yield. The components of seed yield, including the number of pods per plant and 100-seed weight, were higher at the spring sowing date, with averages of 15.6 pods and 42.8 g, respectively. These values represented increases of 37% and 6%, respectively, compared to the summer sowing date. Boron foliar application also resulted in a 16% increase in the number of pods per plant and a 5% increase in 100-seed weight, with averages of 13.8 pods and 42.6 g, respectively, compared to no boron

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

2- Department of Biotechnology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

* Corresponding Author: esfahani@guilan.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/).

application. Additionally, the square sowing pattern achieved a higher 100-seed weight, averaging 41.8 g, compared to the rhombus and rectangle sowing patterns.

Conclusions

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

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



اثر زمان و آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ‌باقلا) (*Phaseolus vulgaris* L.) در استان گیلان

صالح حسن‌زاده^{۱*}، مسعود اصفهانی^{۱*}، علی اعلمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

چکیده

با توجه به اهمیت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به‌عنوان یک منبع غذایی غنی از پروتئین و سابقه طولانی تولید این محصول در استان گیلان، تحقیق درباره روش‌های مناسب کاشت و راهکارهای افزایش عملکرد، ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در بهار و تابستان سال ۱۴۰۲ در بخش رودبنه شهرستان لاهیجان، استان گیلان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آرایش کاشت در سه سطح، آرایش مستطیل (۲۰×۳۱ سانتی‌متر)، لوزی (۲۳×۲۷ سانتی‌متر) و مربع (۲۵×۲۵ سانتی‌متر) با تراکم ثابت (حدود ۱۶ بوته در مترمربع) و محلول‌پاشی بور با غلظت ۰/۱ درصد و عدم مصرف بور بودند که طی دو آزمایش مجزا در تاریخ‌های پنج اردیبهشت (بهار) و هفت شهریور (تابستان) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد دانه در زمان کاشت بهار با میانگین ۳۴۸/۳ گرم بر مترمربع نسبت به زمان کاشت تابستان با میانگین ۲۰۴/۰ گرم بر مترمربع، برتری معنی‌داری داشت (۴۱ درصد افزایش). محلول‌پاشی بور نیز با میانگین ۳۰۷/۹ گرم بر مترمربع نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۲۴۴/۵ گرم بر مترمربع، اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه داشت (۲۰ درصد افزایش)، ولی تیمارهای آرایش کاشت بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری نداشتند. میانگین اجزای عملکرد دانه شامل تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه در زمان کاشت بهار به‌ترتیب ۱۵/۶ غلاف و ۴۲/۸ گرم بودند که نسبت به زمان کاشت تابستان به‌ترتیب ۳۷ و شش درصد افزایش داشتند و اثر محلول‌پاشی بور نیز با میانگین‌های ۱۳/۸ غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه ۴۲/۶ گرم نسبت به عدم مصرف بور به‌ترتیب ۱۶ و ۵ درصد برتری داشتند. در آرایش کاشت مربع با میانگین ۴۱/۸ گرم، نسبت به آرایش‌های لوزی و مستطیل، وزن ۱۰۰ دانه بیشتری حاصل شد. براساس نتایج آزمایش حاضر، کشت لوبیای محلی استان گیلان (پاچ‌باقلا) در فصل بهار، با آرایش کاشت مربع و محلول‌پاشی برگی بور نسبت به کاشت در تابستان و آرایش کاشت مستطیل و لوزی از نظر عملکرد دانه و سایر صفات و شاخص‌های رشد، برتری داشت.

واژه‌های کلیدی: محتوای پروتئین دانه، تاریخ کاشت، لوبیای معمولی، مواد مغذی، وزن ۱۰۰ دانه

مقدمه

vulgaris L.) مهم‌ترین گیاه از گروه حبوبات است که برای مصرف مستقیم انسان استفاده می‌گردد. ترکیب غذایی و فواید لوبیا برای سلامت انسان به‌خوبی شناخته شده است و متخصصان تغذیه، لوبیا را به‌دلیل محتوای پروتئین بالا و ترکیبی از کربوهیدرات‌ها، الیاف غذایی و مواد معدنی (به‌ویژه آهن و روی) به‌عنوان یک منبع غذایی استثنایی توصیف می‌کنند (Didinger et al., 2022). بخش عمده سطح زیرکشت لوبیا در استان گیلان، عمدتاً به‌نوعی لوبیای محلی، معروف به "پاچ‌باقلا" اختصاص دارد که اهمیت اقتصادی کشت آن به‌دلیل هزینه‌های اندک تولید، میزان تولید و عملکرد قابل قبول و قیمت مناسب فروش آن است. دوره رشد این محصول، کوتاه و حدود ۶۰ تا

حبوبات با داشتن ۱۸ تا ۳۲ درصد پروتئین، نقش مهمی در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز انسان دارند. پایین بودن اسیدآمینه لایسین در غلات را نیز می‌توان با مصرف توأم با حبوبات جبران نمود. حبوبات به‌دلیل وجود هم‌زیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در حاصلخیزی خاک نقش مهمی دارند و پس از برداشت آن‌ها، مقدار زیادی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود. از این گیاهان به‌صورت کود سبز برای تقویت و بهبود وضعیت فیزیکی خاک نیز استفاده می‌شود (Broughton et al., 2003; Fageria & Santos, 2008) به‌عنوان دومین منبع غذایی مهم بشر پس از غلات و اصلی‌ترین منبع پروتئین گیاهی محسوب می‌شوند. لوبیای معمولی (*Phaseolus*

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(esfahani@guilan.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

۷۰ روز بوده و قابلیت کشت به‌صورت بهاره و پاییزه را دارد (Ghanbari et al., 2023).

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

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

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

در ایران، پایین بودن غلظت عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی، مس، منگنز و بور در مواد غذایی مسأله‌ساز شده است که عمدتاً ناشی از عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریزمغذی در زراعت گیاهان زراعی می‌باشد. در کشورهای توسعه‌یافته، دو تا چهار درصد از کودهای مصرفی را کودهای حاوی عناصر ریزمغذی تشکیل می‌دهند و این نسبت در ایران ناچیز بوده و تقریباً نزدیک صفر است (Malakooti & Tehrani, 2023). از جمله عناصر ریزمغذی ضروری برای رشدونمو گیاهان، عنصر بور است. این عنصر در فرآیندهای تقسیم سلولی در بافت‌های مریستمی، تشکیل جوانه‌های برگ و گل، تشکیل بافت‌های آوندی، متابولیسم قند و مواد هیدروکربنی و انتقال آن‌ها، تنظیم وضعیت آب و هدایت آن در سلول، سنتز پروتئین، تشکیل دیواره سلولی، نقل و انتقال مواد محلول و ایجاد تعادل هورمونی نقش مهمی ایفا می‌کند (Shireen et al., 2018). اودین و همکاران (Uddin et al., 2020)، گزارش کردند که سطوح مختلف مصرف بور در واحد سطح، بر رشدونمو و عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مؤثر بود و بیشترین تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در تیمار ۱/۵ کیلوگرم بور در هکتار به دست آمد. در آزمایش دیگری برای بررسی اثر محلول‌پاشی بور بر جذب مواد مغذی در لوبیا گزارش شد که محلول‌پاشی بور به‌طور معنی‌داری در افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در لوبیا تأثیرگذار بود (Mahadule et al., 2020). در تحقیقی دیگری در منطقه پیشاور پاکستان گزارش شد که اثر رقم و محلول‌پاشی بور تأثیر قابل توجهی بر رشد، عملکرد و تولید دانه گیاه نخود (*Pisum sativum* L.) داشت، به‌طوری‌که تعداد شاخه‌های جانبی در بوته، تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، قطر غلاف، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه در بوته، وزن تر ریشه و عملکرد دانه، به‌وسیله محلول‌پاشی بور به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (Ullah et al., 2024). همچنین در آزمایشی گزارش شد که

یکنواخت‌سازی سطح خاک با استفاده از کولتیواتور انجام شد. سپس با توجه به کیفیت بستر کشت، کرت‌بندی زمین در قالب چهار بلوک (تکرار) و در هر بلوک، شش کرت به طول و عرض سه متر و مساحت نه مترمربع (در مجموع ۲۴ کرت) انجام گردید و فاصله بین کرت‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از جانمایی کرت‌ها و قبل از کاشت بذرها، براساس توصیه کودی آزمایشگاه خاک‌شناسی، کودهای نیتروژن به‌مقدار ۳۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع اوره) و پتاسیم به‌مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار (از منبع پتاسیم سولفات) به‌صورت نواری در مجاورت ردیف‌های کاشت به خاک اضافه شدند. بذر مصرفی از رقم رگه مشکی بوده و از محصول سال قبل همان منطقه تأمین گردید و کاشت بذرها در عمق پنج سانتی‌متری خاک به‌صورت خشکه‌کاری و به‌روش دستی انجام شد. پس از جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه‌ها، محل‌های فاقد گیاهچه، واکاری شدند. برای واکاری از گیاهچه‌هایی که به‌طور جداگانه در گلدان‌های کوچک رویانده شده بودند، استفاده گردید. در طی فصل کشت و در فواصل زمانی مختلف، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. محلول‌پاشی بور در آغاز مرحله رشد زایشی بوته‌های لوبیا (بلافاصله قبل از گل‌دهی؛ کد ۵۰ BBCH (Meier, 2001)) صورت گرفت که به این منظور از محلول حاوی بور کلاته‌شده با ترکیب اتانول‌آمین (C_2H_7BNO) با محتوای بور ۱۱ درصد وزنی - وزنی (W/W%) یا ۱۵/۴ درصد وزنی - حجمی (W/V%) استفاده شد. محلول بور کلاته با غلظت ۰/۱ درصد در ۲۰ لیتر آب رقیق‌سازی شده و محلول حاصل به‌مقدار ۱۸۵ میلی‌لیتر در مترمربع، روی بوته‌های لوبیا پاشیده شد. محلول‌پاشی توسط دستگاه سم‌پاش دستی انجام گردید و برای جلوگیری از سرایت ناخواسته محلول به کرت‌های مجاور، از پرده‌های پلاستیکی در اطراف کرت‌ها استفاده و عملیات محلول‌پاشی در شرایط عدم وزش باد در منطقه و در ساعات پایانی روز انجام شد. در تیمار عدم مصرف بور، از آب خالص (فاقد بور) برای محلول‌پاشی استفاده گردید. محلول‌پاشی تا مشاهده سقوط اولین قطره‌های محلول انجام شد.

تیمار محلول‌پاشی ریزمغذی‌های روی و بور روی ماش (*Vigna radiata* L. پرایم‌شده با اسیدجیبرلیک، به‌طور قلیل توجهی بر شاخص‌های رشد و عملکرد تأثیرگذار بود و شاخص‌های رشد مانند ارتفاع بوته، وزن تر بوته و عملکرد دانه، افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان دادند (Saini et al., 2024).

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

مواد و روش‌ها

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

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آرایش کاشت در سه سطح، آرایش مستطیل (20×31 سانتی‌متر)، لوزی (23×27 سانتی‌متر) و مربع (25×25 سانتی‌متر) با تراکم بوته ثابت (۱۶ بوته در مترمربع) (Rabiee & Ibrahimi, 2023) و محلول‌پاشی بور و عدم مصرف بور بودند که طی دو آزمایش مجزا در تاریخ‌های پنج اردیبهشت (بهار) و هفت شهریور (تابستان) مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از هر مرحله آزمایش، عملیات خاک‌ورزی شامل شخم اولیه تا عمق ۲۰ سانتی‌متر به‌وسیله تراکتور و سپس کلوخه‌شکنی و

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

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

بور (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (میلی گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته (pH)	بافت (Texture)	رس سیلت (درصد)	شن (درصد)	عمق (سانتی‌متر)
B (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (mg.kg ⁻¹)	Organic carbon (%)	EC (dS.m ⁻¹)			Clay (%)	Silt (%)	Depth (cm)
1.1	172.2	21.7	29.2	1.25	0.536	7.34	لومی Loam	8	48	44

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

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

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

تا رسیدگی بودند که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. صفات گیاهی مورد بررسی در این آزمایش شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف‌ها، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُر شدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد، سرعت رشد رویشی و محتوای پروتئین دانه بودند. برای تعیین محتوای پروتئین دانه از روش کج‌لدال استفاده شد.

پس از رسیدگی کامل دانه‌های لوبیا در پایان هر فصل کشت، تعداد ۱۶ بوته از هر کرت آزمایشی با رعایت فاصله یک متر از حاشیه‌های کرت به‌عنوان نمونه آزمایشی برداشت و اندازه‌گیری‌های مربوط به هر یک از صفات گیاهی مورد بررسی، روی آن‌ها انجام شد. در طول فصول کشت با رصد مراحل نمو بوته‌های هر کرت، زمان بروز صفات فنولوژیک ثبت شد که شامل تعداد روز تا سبز شدن، تعداد روز تا مرحله دو برگ، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا آغاز تشکیل غلاف، تعداد روز تا پُر شدن دانه، طول دوره پُر شدن دانه و تعداد روز

جدول ۳- صفات فنولوژیک لوبیا در زمان کاشت بهار و تابستان

Table 3- Phenological traits of beans at sowing dates (season) of spring and summer

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

برای محاسبه درصد باروری غلاف‌ها از معادله ۱ استفاده شد.

$$\text{معادله (۱)} \quad 100 \times \frac{\text{تعداد غلاف‌های بارور}}{\text{تعداد کل غلاف‌های بوته}} = \text{درصد باروری غلاف‌ها}$$

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

$$\text{معادله (۲)} \quad \frac{\text{تعداد دانه در واحد سطح}}{\text{تعداد روز از کاشت تا تشکیل غلاف}} = \text{سرعت تشکیل دانه}$$

برای محاسبه سرعت پُر شدن دانه از معادله ۳ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

$$\text{معادله (۳)} \quad \frac{\text{وزن خشک دانه}}{\text{تعداد روز از تشکیل غلاف تا رسیدگی}} = \text{سرعت پُر شدن دانه}$$

تعداد روز از تشکیل غلاف تا رسیدگی / وزن خشک دانه
برای محاسبه سرعت تشکیل عملکرد از معادله ۴ استفاده شد (Robertson et al., 2001):

$$\text{معادله (۴)} \quad \frac{\text{عملکرد دانه}}{\text{تعداد روز از کاشت تا رسیدگی}} = \text{سرعت تشکیل عملکرد}$$

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

$$\text{معادله (۵)} \quad \frac{\text{عملکرد زیستی}}{\text{تعداد روز از کاشت تا رسیدگی}} = \text{سرعت رشد رویشی}$$

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

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر زمان (فصل) کاشت به‌جز محتوای پروتئین دانه بر سایر صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف‌ها، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُر شدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد و سرعت رشد رویشی معنی‌دار بود. اثر تیمارهای آرایش کاشت فقط بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود. محلول‌پاشی بور به‌جز صفت تعداد شاخه‌های فرعی، بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، درصد باروری غلاف‌ها، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، سرعت تشکیل دانه، سرعت پُر شدن دانه، سرعت تشکیل عملکرد، سرعت رشد رویشی و محتوای پروتئین

دانه اثر بسیار معنی‌داری داشت. در اثر متقابل تیمارها بر صفات مورد بررسی، برهم‌کنش اثر زمان (فصل) و آرایش کاشت بر درصد باروری غلاف‌ها بسیار معنی‌دار بود و برهم‌کنش اثر زمان (فصل) و محلول‌پاشی بور بر صفات وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، سرعت پُر شدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد به‌طور معنی‌داری مؤثر بود. همچنین برهم‌کنش اثر آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور فقط بر درصد باروری غلاف‌ها و اثر متقابل زمان (فصل)، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور نیز فقط بر صفت تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۴).

ارتفاع بوته

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

تعداد شاخه‌های فرعی

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۱۱/۲ شاخه، تعداد شاخه‌های فرعی بیشتری نسبت به تابستان با میانگین ۸/۲ شاخه حاصل شد (جدول ۵). در بررسی اثر تاریخ کاشت بر ارقام لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، دلیل عملکرد برتر در تاریخ کاشت مناسب به رطوبت مطلوب خاک و دوره رشد رویشی طولانی‌تر گیاه نسبت داده شد. اساساً طول روز و دمای هوا از جمله عوامل تعیین‌کننده طول دوره رشد رویشی و فرا رسیدن زمان گل‌دهی هستند و از آنجاکه تشکیل شاخه‌های فرعی از جمله ویژگی‌های مطلوب و مؤثر بر عملکرد لوبیا محسوب می‌شود، بنابراین زمان کاشت مناسب با تأثیر بر شرایط محیطی گیاه و زمان گل‌دهی باعث ایجاد شاخه‌های فرعی بیشتر و در نتیجه عملکرد بهتر لوبیا می‌شود (İpekeşen et al., 2022). نتایج یک آزمایش نشان داد که غلظت‌های محلول‌پاشی بور بر ارتفاع بوته سویا (*Glycine max* L.)

به‌طور معنی‌داری مؤثر بود و در غلظت ۰/۲ درصد بور، بیشترین ارتفاع بوته حاصل شد که علت آن به نقش بور در بهبود انتقال کربوهیدرات‌های فتوسنتز و افزایش فعالیت آنزیمی گیاه نسبت داده شد (Ali Hosseinpour et al., 2011).

تعداد غلاف در بوته

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، اثر زمان (فصل) کاشت بهار بر تعداد غلاف در بوته با میانگین ۱۵/۶ غلاف در بوته به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای بیشتر از فصل تابستان با میانگین ۹/۸ غلاف در بوته بود. همچنین اثر تیمار محلول‌پاشی بور با میانگین ۱۳/۸ غلاف در بوته، برتری معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۱۱/۶ غلاف در بوته حاصل شد (جدول ۵). بیشترین مقدار میانگین، معادل ۱۷/۰ غلاف در بوته در برهم‌کنش زمان (فصل) کاشت بهار، آرایش کاشت مربع و محلول‌پاشی بور و کمترین مقدار آن با میانگین ۸/۵ غلاف در بوته در برهم‌کنش فصل تابستان، آرایش کاشت مستطیل و عدم مصرف بور

به دست آمد (جدول ۶). کاکن و همکاران (Kakon et al., 2017) گزارش کردند که تأخیر در کاشت به‌دلیل برخورد با شرایط دمایی نامناسب باعث کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و زایشی، کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه، کاهش اجزای عملکرد لوبیا از جمله تعداد غلاف در بوته شد. در آزمایشی دیگر، محلول‌پاشی نانو بور با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش تعداد غلاف در بوته لوبیا گردید. این نتیجه به نقش بور در تحریک جوانه‌زنی و رشد لوله کرده و بهبود پایداری لوله‌های گرده که باعث کاهش ریزش گل‌ها و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته و افزایش درصد باروری آن‌ها می‌شود، نسبت داده شد (Makhlouf & Aws, 2022). بنابراین، به نظر می‌رسد که تأثیر زمان کاشت در اوایل فصل بهار و مصادف شدن دوره رشد رویشی و زایشی گیاه با افزایش طول روز و شرایط مناسب تابش و دمای هوا و همچنین محلول‌پاشی بور، باعث افزایش میزان فتوسنتز و باروری گیاه شده و در نتیجه اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته افزایش یافت.

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

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

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه- های فرعی No. branches per plant	تعداد غلاف در بوته No. pods per plant	درصد باروری غلاف‌ها Pods fertility (%)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد زیستی Biological yield
زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)	1	129.36**	105.0208**	406.58**	84.270**	80.083**	851201.33**
فصل / تکرار Season/repeat	6	0.2220	0.3476	0.3154	4.618	0.256	127.555
آرایش کاشت Sowing pattern	2	21.631**	6.1702**	0.050 ^{ns}	1.633 ^{ns}	1.827*	344.33 ^{ns}
محلول‌پاشی بور Boron application	1	21.333**	0.4033 ^{ns}	62.335**	442.86**	67.687**	125665.33**
فصل × آرایش کاشت Season × sowing pattern	2	2.4414 ^{ns}	0.4352 ^{ns}	0.060 ^{ns}	17.619**	0.221 ^{ns}	250.33 ^{ns}
فصل × محلول‌پاشی بور Season × boron application	1	0.5208 ^{ns}	0.0675 ^{ns}	0.016 ^{ns}	1.920 ^{ns}	3.740*	300.00 ^{ns}
آرایش کاشت × محلول‌پاشی بور Boron application × sowing pattern	2	1.9752 ^{ns}	0.0077 ^{ns}	0.530 ^{ns}	11.851*	0.450 ^{ns}	596.33 ^{ns}
فصل × آرایش کاشت × محلول‌پاشی بور Season × sowing pattern × boron application	2	0.1477 ^{ns}	0.5418 ^{ns}	0.967*	2.780 ^{ns}	0.007 ^{ns}	481.00 ^{ns}
خطای آزمایش Error	30	0.8252	0.2126	0.2269	2.899	0.553	289.155
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		1.62	4.72	3.73	2.06	1.79	3.56

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

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

ادامه جدول ۴- تجربه واریانس مرکب صفات گیاهی لوبیای محلی (پاچ‌باقلا) در تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور
Table 4- Combined analysis of variance of local bean (Pach-Baghela) plant traits in sowing date, sowing pattern and boron application treatments, continued

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

^{ns}: غیرمعنی‌دار و * و **: معنی‌دار به ترتیب در سطوح احتمال پنج و یک درصد
^{ns}: is not significant and * and **: are significant at the five and one percent probability levels, respectively

درصد باروری غلاف‌ها

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، میزان باروری غلاف‌ها در فصل بهار با میانگین ۸۳/۹ درصد نسبت به تابستان با میانگین ۸۱/۳ درصد، دارای برتری معنی‌دار بود (جدول ۵). محلول‌پاشی بور با میانگین ۸۵/۶ درصد، برتری معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور نشان داد، ولی میانگین‌های درصد باروری غلاف‌ها در سطوح تیمار آرایش کاشت تفاوت معنی‌داری نداشتند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). نتایج حاصل از برهم‌کنش تیمارها بر درصد باروری غلاف‌های لوبیا نشان داد که بیشترین مقدار میانگین در برهم‌کنش محلول‌پاشی بور و آرایش کاشت مربع، معادل ۸۶/۴ درصد حاصل شد

(جدول ۷). تولید بذر در گیاهان وابسته به تشکیل گل‌ها، میزان باروری آن‌ها و پُر شدن بذور با عناصر غذایی کافی و مناسب است که برای این منظور نیاز به ذخیره کافی عنصر بور در گیاه است (Misagh et al., 2016). رشد زایشی در گیاهان همانند رشد رویشی به کمبود بور حساس است و کمبود بور به‌ویژه در گیاهان زراعی باعث کاهش تشکیل دانه می‌شود. در صورت کمبود بور، دانه‌های گرده خالی، چروکیده و بدشکل و یا طبیعی، اما فاقد ذخیره نشاسته به نظر می‌رسند. جوانه‌زنی گرده و رشد لوله گرده تحت شرایط کمبود بور مختل شده و در نتیجه باعث باروری ضعیف گیاه می‌شود (Abou Seeda et al., 2021).

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

زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی No. secondary branches	تعداد غلاف در بوته No. pod.plant ⁻¹	درصد باروری غلاف‌ها Pods fertility (%)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد زیستی (گرم بر مترمربع) Biological yield (g.m ⁻²)
بهار Spring	57.6 ^{a*}	11.2 ^a	15.6 ^a	83.9 ^a	42.8 ^a	610.3 ^a
تابستان Summer	54.3 ^b	8.2 ^b	9.8 ^b	81.3 ^b	40.2 ^b	344.0 ^b
آرایش کاشت Sowing pattern						
مستطیل Rectangle (20 × 31)	55.1 ^b	9.2 ^b	12.6 ^a	82.3 ^a	41.2 ^b	472.7 ^a
لوزی Rhombus (23 × 27)	55.6 ^b	9.5 ^b	12.7 ^a	82.9 ^a	41.3 ^{ab}	476.7 ^a
مربع Square (25 × 25)	57.3 ^a	10.4 ^a	12.8 ^a	82.6 ^a	41.8 ^a	482.0 ^a
محلول‌پاشی بور Boron application						
محلول‌پاشی بور Boron application	56.6 ^a	9.6 ^a	13.8 ^a	85.6 ^a	42.6 ^a	528.3 ^a
عدم مصرف بور No boron application	55.3 ^b	9.8 ^a	11.6 ^b	79.6 ^b	40.3 ^b	426.0 ^b

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

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

جدول ۶- مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته در برهم‌کنش تیمارهای زمان کاشت، آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور
Table 6- Mean comparison of the number of pod.plant⁻¹ in the interaction of sowing date, sowing pattern and boron application treatments

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

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

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

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد باروری غلاف‌ها در برهم‌کنش تیمارهای آرایش کاشت و محلول‌پاشی بور

Table 7- Mean comparison of pods fertility percent in the interaction of sowing pattern and boron application treatments

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

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

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

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج نشان داد که اثر زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۴۲/۸ گرم، برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۴۰/۲ گرم داشت و آرایش کاشت مربع نسبت به سطوح دیگر تیمار آرایش کاشت، میانگین وزن ۱۰۰ دانه بیشتری را حاصل نمود. محلول‌پاشی بور نیز باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه با میانگین ۴۲/۶ گرم نسبت به عدم مصرف بور شد (جدول ۵). بررسی برهم‌کنش سطوح مختلف تیمارها نشان داد که بیشترین مقدار وزن ۱۰۰ دانه در فصل بهار و محلول‌پاشی بور، معادل ۴۳/۷ گرم به دست آمد (جدول ۹). در بررسی اثر زمان و آرایش کاشت در کشت تابستانه لوبیا در منطقه کلاچای استان گیلان گزارش شد که برهم‌کنش اثر زمان و آرایش کاشت بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود و در تاریخ کاشت ۲۰ آگوست (۲۹ مرداد) و آرایش کاشت مربع، وزن ۱۰۰ دانه بیشتری به‌دست آمد (Esmailzadeh & Aminpanah, 2015). در آزمایشی دیگر، دو مرحله محلول‌پاشی بور با غلظت‌های ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین مقدار وزن ۱۰۰ دانه را داشت (Hamouda et al., 2018). به نظر می‌رسد که در زمان‌ها و آرایش‌های مختلف کاشت، عوامل محیطی نیز بر رشد و نمو گیاه اثرات متفاوتی داشته باشند و در زمان و آرایش کاشت مناسب، محلول‌پاشی بور نیز با تأثیرات فیزیولوژیکی بر گیاه، در مجموع می‌تواند باعث افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک در لوبیا و در نتیجه افزایش وزن ۱۰۰ دانه آن شوند.

عملکرد زیستی

طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، در زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۶۱۰/۳ گرم بر مترمربع، برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۳۴۴/۰ گرم بر مترمربع به دست آمد و اثر محلول‌پاشی بور بر عملکرد زیستی با میانگین ۵۲۸/۳ گرم بر مترمربع، اختلاف معنی‌داری با عدم مصرف بور با میانگین ۴۲۶/۰ گرم بر مترمربع داشت (جدول ۵). نتایج تحقیقات نشان داده است که انتخاب زمان کاشت مناسب با تأثیر بر مقدار عوامل محیطی مانند تابش، دما و رطوبت، تأثیر زیادی بر رشد و نمو گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد زیستی و اقتصادی آن

عملکرد دانه

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

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

	محتوای پروتئین دانه (درصد)	سرعت رشد رویشی (گرم در روز)	سرعت تشکیل عملکرد (گرم در روز)	سرعت پُر شدن دانه (میلی گرم در روز)	سرعت تشکیل دانه (دانه بر مترمربع در روز)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع)
	Seed protein content (%)	Vegetative growth rate (g.day ⁻¹)	Yield formation rate (g.day ⁻¹)	Seed filling rate (mg.day ⁻¹)	Seed formation rate (Seed.day ⁻¹ .m ⁻²)	Seed yield (g.m ⁻²)
زمان (فصل) کاشت Sowing date (season)						
بهار Spring	24.7 ^a	8.5 ^a	4.8 ^a	13.5 ^a	20.5 ^a	348.3 ^{a*}
تابستان Summer	24.6 ^a	4.2 ^b	2.5 ^b	9.8 ^b	12.3 ^b	204.0 ^b
آرایش کاشت Sowing pattern						
مستطیل Rectangle (20 × 31)	24.5 ^a	6.5 ^a	3.7 ^a	11.7 ^a	16.4 ^a	278.2 ^a
لوزی Rhombus (23 × 27)	24.7 ^a	6.4 ^a	3.6 ^a	11.6 ^a	16.5 ^a	274.7 ^a
مربع Square (25 × 25)	24.6 ^a	6.3 ^a	3.6 ^a	11.6 ^a	16.4 ^a	275.7 ^a
محلول‌پاشی بور Boron application						
محلول‌پاشی بور Boron application	24.9 ^a	7.0 ^a	4.1 ^a	12.1 ^a	17.9 ^a	307.9 ^a
عدم مصرف بور No boron application	24.3 ^b	5.8 ^b	3.2 ^b	11.2 ^b	14.9 ^b	244.5 ^b

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

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

جدول ۹- مقایسه میانگین وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، سرعت پُر شدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد در برهم‌کنش تیمارهای زمان کاشت و محلول‌پاشی بور
Table 9- Mean comparison of the 100 seed weight, seed yield, seed filling rate and yield formation rate in interaction of sowing date and boron application treatments

صفات گیاهی Plant traits	بهار Spring		تابستان Summer	
	محلول‌پاشی بور Boron application		محلول‌پاشی بور Boron application	
	عدم مصرف بور No boron application		عدم مصرف بور No boron application	
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-Seed weight (g)	43.7 ^{a*}	41.8 ^b	41.6 ^b	38.7 ^c
عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield (g.m ⁻²)	385.5 ^a	311.1 ^b	230.2 ^c	177.8 ^d
سرعت پُر شدن دانه (میلی گرم در روز) Seed filling rate (mg.day ⁻¹)	13.7 ^a	13.2 ^b	10.4 ^c	9.3 ^d
سرعت تشکیل عملکرد (گرم در روز) Yield formation rate (g.day ⁻¹)	5.4 ^a	4.3 ^b	2.8 ^c	2.1 ^d

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

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

سرعت تشکیل دانه

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

سرعت پُر شدن دانه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، سرعت پُر شدن دانه در فصل بهار با میانگین ۱۳/۵ میلی‌گرم در روز برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۹/۸ میلی‌گرم در روز داشت و در تیمار محلول‌پاشی بور با میانگین ۱۲/۱ میلی‌گرم در روز تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۱۱/۲ میلی‌گرم در روز حاصل شد (جدول ۸). بیشترین مقدار میانگین سرعت پُر شدن دانه، در برهم‌کنش زمان (فصل) کاشت بهار و محلول‌پاشی بور، معادل ۱۳/۷ میلی‌گرم در روز محاسبه شد (جدول ۹). در اکثر گیاهان زراعی، ظرفیت عملکرد عمدتاً ناشی از تعداد دانه در واحد سطح و دوره پُر شدن دانه است. زمانی که دسترسی کافی به کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز یا اندوخته‌شده در ساقه یا برگ‌ها وجود داشته باشد، پُر شدن سریع‌تر دانه و بهبود تحرک کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای می‌تواند اثرات نامناسب محیطی بر عملکرد را به حداقل برساند ([Ghanbari, 2015](#)). وزن بذر از طریق دو مؤلفه سرعت پُر شدن دانه و مدت پُر شدن دانه تأمین می‌شود. سرعت پُر شدن دانه نشان‌دهنده مقدار تجمع ماده خشک در طی مرحله نمو دانه است و بیشتر بودن وزن دانه‌ها با پُر شدن سریع دانه‌ها و طولانی شدن مدت آن همراه می‌باشد. در یک آزمایش روی گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) گزارش شد که با توجه به رابطه همبستگی منفی سرعت پُر شدن دانه با مدت پُر شدن دانه، دستیابی به عملکرد بالا از طریق افزایش سرعت پُر شدن دانه و کاهش طول مدت پُر شدن دانه امکان‌پذیر است ([Alipour Ghasem Abad Sofla et al., 2018](#)) و نتایج آزمایش حاضر نیز با این موضوع مطابقت دارد؛ با اینکه در کشت

بهاره دوره پُر شدن دانه نسبت به کشت تابستانه کوتاه‌تر بود (جدول ۳)، سرعت پُر شدن دانه در کشت بهاره بیشتر بود.

سرعت تشکیل عملکرد

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که زمان (فصل) کاشت بهار با میانگین ۴/۸ گرم در روز برتری معنی‌داری نسبت به تابستان با میانگین ۲/۵ گرم در روز داشت و در محلول‌پاشی بور سرعت تشکیل عملکرد با میانگین ۴/۱ گرم در روز تفاوت معنی‌داری نسبت به عدم مصرف بور با مقدار میانگین ۳/۲ گرم در روز نشان داد (جدول ۸). بیشترین سرعت تشکیل عملکرد در برهم‌کنش فصل بهار و محلول‌پاشی بور با میانگین ۵/۴ گرم در روز به‌دست آمد که نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت (جدول ۹). گزارش شده است که مصرف بور باعث افزایش میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها، افزایش تعداد و وزن دانه‌ها ([Uddin et al., 2020](#)) و باعث افزایش سرعت تشکیل عملکرد می‌شود. گزارش شد که در شرایط محیطی مناسب در طول دوره‌های کاشت تا گرده‌افشانی، گرده‌افشانی تا رسیدگی و کاشت تا رسیدگی، حداکثر سرعت تشکیل دانه، سرعت پُر شدن دانه و سرعت تشکیل عملکرد حاصل گردید و صفت سرعت تشکیل عملکرد با صفات تعداد دانه در مترمربع، عملکرد دانه و سرعت تشکیل دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت ([Moshatati et al., 2018](#)) که نتایج آزمایش حاضر نیز با این موضوع مطابقت دارد.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها برای محتوای پروتئین دانه نشان داد که فقط اثر تیمار محلول‌پاشی بور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز محلول‌پاشی بور بر محتوای پروتئین دانه با میانگین ۲۴/۹ درصد نسبت به عدم مصرف بور با میانگین ۲۴/۳ درصد تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۸). با توجه به نقش بور در سنتز اوراسیل که یکی از بازهای سازنده RNA است، مشخص شد که در اثر کمبود بور در گیاه، میزان فسفر که جزء اصلی ترکیبات نوکلئوتیدی است، کاهش یافت، ولی بعد از فراهم شدن بور، جذب فسفر در گیاه افزایش یافت و باعث تسریع در عمل پروتئین‌سازی گردید. به‌دلیل نقش بور در واکنش‌های متابولیکی و تسریع در سنتز پروتئین، فراهمی این عنصر بر مقدار محتوای پروتئین دانه مؤثر است ([Nasef et al., 2006](#)). نتایج یک آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت بور در برگ‌های لوبیا، محتوای پروتئین دانه افزایش یافت و بیشترین میزان پروتئین دانه از مصرف چهار کیلوگرم در هکتار اسیدبوریک به‌صورت کود آبیاری در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن و همچنین در بین سطوح محلول‌پاشی بور، بیشترین

دانه، به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد، مؤثر بوده و باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه لوبیا شد. نتایج آزمایش نشان داد که اثر محلول‌پاشی بور با غلظت ۰/۱ درصد بر عملکرد دانه بسیار معنی‌دار بود و در برهم‌کنش آن با سایر تیمارها نیز مقدار میانگین‌های بیشتری نسبت به عدم مصرف بور به دست آمد. براساس نتایج این آزمایش، زراعت لوبیای محلی در دو فصل بهار و تابستان همراه با محلول‌پاشی بور می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری تولید محصول این گیاه در شرایط اقلیمی استان گیلان شود که اقدام به توصیه آن، مستلزم تحقیقات تکمیلی است.

میزان پروتئین دانه از تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۰/۴ درصد اسیدبوریک در دو نوبت یک و دو ماه پس از سبز شدن حاصل شد (Hosseini, 2016).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، اثر زمان (فصل) کاشت بهار بر عملکرد دانه لوبیای محلی (پاچ‌باقلا) بسیار معنی‌دار بود و برتری قابل ملاحظه‌ای را نسبت به عملکرد دانه در کشت تابستانه داشت. همچنین آرایش کاشت مربع به‌طور معنی‌داری بر وزن ۱۰۰

References

- Abou Seeda, M. A., Abou El-Nour, E. A. A., Yassen, A. A., & Hammad, S. A. (2021). Boron, structure, functions and its interaction with nutrients in plant physiology. A review. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 10(1), 117-179. <http://dx.doi.org/10.36632/mejar/2021.10.1.9>
- Ali Hosseinpour, F., Rafiei, M., & Farnia, A. (2011). Studying the effect of foliar application of boron on quantitative and qualitative characteristics of soybean genotypes. *Scientific Research Journal of Crop Physiology*, 3(11), 33-46. (In Persian)
- 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 with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.57934>
- Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Science*, 21, 24. <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>
- Broughton, W. J., Blair, M., Beebe, S., & Vander Leyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.), model food legumes. *Plant and Soil*, 252(74), 55-128. <https://doi.org/10.1023/A:1024146710611>
- Dameto, L., Cardoso, M., Krzyzanowski, F., & Moreira, A. (2023). Boron sources and rates on soybean seed physiological quality and root system volume. *Journal of Seed Science*, 45, e202345019, 2023.
- Dapaah, H. K., McKenzie, B. A., & Hill, G. D. (2000). Influence of sowing date and irrigation on the growth yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a sub-humid temperate environment. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 134, 33-43.
- Didinger, C., Foster, M. T., Bunning, M., & Thompson, H. J. (2022). Nutrition and human health benefits of dry beans and other pulses. In: M. Siddiq, M. A. Uebersax (Eds.) *Dry Beans and Pulses, Production, Processing, and Nutrition, Second Edition*. John Wiley & Sons Ltd. New York, United States. p. 481-504. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776802.ch19>
- Esmailzadeh, S., & Aminpanah, H. (2015). Effects of planting date and spatial arrangement on common bean (*Phaseolus vulgaris*) yield under weed-free and weedy conditions. *Planta Daninha*, 33(3), 425-432.
- Fageria, N. K., & Santos, A. B. (2008). Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 983-1004. <https://doi.org/10.1080/01904160802096815>
- Getachew, E., Tesfaye, A., & Mulale, T. (2014). The effects of sowing date and spacing for yield of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties at Jimma, Southwestern Ethiopia. *Sky Journal of Agricultural Research*, 3(9), 174-180.
- Ghanbari, A. A. (2015). Developmental stages and phenology of common bean genotypes under normal irrigation and water deficit conditions. *Applied Field Crops Research*, 28(107), 190-199. (In Persian with English Abstract).
- Ghanbari, A. A., Gholami, M., & Ahmadi, M. (2023). Evaluation of adaptability and stability of yield of selected PachBaghela lines in spring cultivation (*Phaseolus vulgaris*) in Guilan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3), 27-40. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.348968.654943>
- Ghanbari, A., Mostafavi Rad, M., & Sekhavat, R. (2021). Determination of plant density and appropriate planting time of Lima bean (*Phaseolus lunatus*) in Guilan province. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 209-219. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.12808>

- Ghorbani, R., & Safarzadeh Vishkaei, M. N. (2019). The effect of planting dates and rice residue application (Mulch) on growth and yield of Cranberry bean. *Plant Ecophysiology*, 10(35), 267-279. (In Persian with English Abstract)
- Hamouda, H. A., Anany, T. G., & El-Bassyouni, M. S. S. (2018). Growth and yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by ZN and B foliar application. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(2), 639-649.
- Hosseini, S. M. (2016). Effect of different levels and application methods of boric acid on yield and protein content of common bean. *Iranian Journal of Soil Research*, 29(4), 383-394. (In Persian).
- İpekeşen, S., Biçer, B. T., & Bayrak, İ. H. (2022). Determination of the effect of different sowing dates on growth and yield parameters of some dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 482-491. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6979678>
- Jamalzehi, B., Mostafavi-Rad, M., & Ansary, M. H. (2017). Evaluation of seed protein content, yield and important agronomic traits of some determinate and indeterminate bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars as affected by different sowing dates in Talesh (Guilan). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 221-231. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.136778.653982>
- Kakon, S. S., Shawquat, M. D., Choudhury, J. A., Ali, M. Z., & Aziz, M. (2017). Influence of sowing time-based temperature on flowering and seed yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *SAARC Journal of Agriculture*, 15(1), 77-80.
- Kazemi Taskooh, N., Mostafavi Rad, M., & Ansari, M. H. (2017). Effect of row spacing on yield quantity and quality of some determinate and indeterminate growth bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties in Guilan climatic condition. *Journal of Plant Ecophysiology*, 29(9), 136-145. (In Persian with English Abstract)
- Khajehpour, M. R. (2022). *Principles and Fundamentals of Agriculture*. Jahad Daneshgahi Publications, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 622 p
- Mahadule, P. A., Jagdhani, A. D., Sawale, D. D., Jagtap, P. B., & Tamboli, B. D. (2020). Effect of foliar sprays of boron on quality and nutrient uptake of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Entisol. *South Asian Research Journal of Natural Products*, 3(3), 131-135.
- Makhlouf, S., & Aws, M. (2022). Response of faba bean to planting distance between plants and spraying with nano and traditional boron. *Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection*, 14((1), 84-93. <http://dx.doi.org/10.28936/jmracpc14.1.2022.9>
- Malakooti, M. J., & Tehrani, M. (2023). *Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products and Promoting the Health of Society "Micronutrients with a Macro effect"*. Tarbiat Modares University Publications, Tehran, Iran. 398 p.
- Meier, U. (2001). *Growth Stages of Mono-and Dicotyledonous Plants, BBCH*. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Bonn, Germany. 158 p.
- Misagh, M., Movahhedi Dehnavi, M., Yadavi, A., & Khadem Hamzeh, H. (2016). Improvement of yield, oil and protein percentage of sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress by foliar application of zinc and boron. *Journal of Crop Production*, 9(1), 163-180. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22069/ejcp.2016.2962>
- Moshatati, A., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., & Jalal-Kamali, M. R. (2018). The effect of growth and development periods on grain yield of spring bread wheat under terminal heat stress in Ahwaz. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 197-209. (In Persian) <https://doi.org/10.22077/escs.2017.355.1067>
- Mozumber, S. N., Moniruzzaman, M., Islam, M. R., & Alam, S. N. (2003). Effect of planting time and spacing on the yield performance of bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the eastern hilly area of Bangladesh. *Legume Research*, 26(4), 242-247.
- Nasef, M. A., Badran, N. M., & Abd El-Hamide, A. F. (2006). Response of peanut to foliar spray with boron and/or rhizobium inoculation. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(12), 1330-1337.
- Rabiee, M., & Ibrahimi, M. (2023). Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Production as Second Crop in Paddy Field. Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran. 116 p.
- Robertson, M. J., Silim, S., Chauhan, Y. S., & Ranganathan, R. (2001). Predicting of growth and development of pigeon pea: Biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Research*, 70, 89-100.
- Robinson, S. L., & Wilcox, J. R. (1998). Comparison of determinate and indeterminate soybean near isolines and their response to row spacing and planting date. *Crop Science*, 38, 1554-1557. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060024x>
- Saini, L., Kumar, P., & Upadhyay, H. (2024). Zinc and boron foliar application effects on primed mung bean (*Vigna radiata* L.) growth and productivity. *Nature Environment and Pollution Technology*, 23, 1407-1418. <http://dx.doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i03.012>

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



Studying the Effects of Seed Priming on Yield and Some Morphophysiological Traits of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Koosha under Water Deficit Stress Conditions

Mohammad Ghasabadi¹, Hamid Reza Eisvand^{1*}, Farhad Nazarian Firouzabadi¹, Adel Ghadiri²

Received: 07 April 2025

Revised: 25 May 2025

Accepted: 03 June 2025

Available Online: 03 June 2025

Cite this article:

Ghasabadi, M., Eisvand, H. R., Nazarian Firouzabadi, F., & Ghadiri, A. (2025). Studying the effect of seed priming on yield and some morphophysiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Koosha under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 265-275. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.92705.1108>

Introduction

Plants respond to drought by synthesizing osmo-protectants like proline and antioxidants, which help mitigate stress effects. This study was performed to evaluate effects of seed priming on yield, some morpho-physiological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar under water deficit stress. Drought is a major limiting factor in bean production worldwide. Given Iran's location in an arid and semi-arid climate and the sensitivity of bean growth stages to moisture stress, the adoption of mitigation strategies is essential. Therefore, this study aimed to investigate the effect of seed priming on yield and some morphophysiological traits of pinto bean under water stress conditions. The experimental design included drought stress at three levels: control (50 mm evaporation), moderate stress (75 mm evaporation), and severe stress (100 mm evaporation) from a class A evaporation pan. Seed priming treatments included four levels: no priming (control), priming with distilled water, priming with 0.5 mM salicylic acid, and priming with 100 ppm gibberellic acid. Optimal priming conditions (temperature, duration, and drying time) were determined in a preliminary study. The results showed that treatments significantly affected physiological, agronomical traits and antioxidant enzyme activities. Under drought stress, severe stress caused the greatest reductions in relative water content (RWC), chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids by 19%, 27%, 29%, 28%, and 28%, respectively. It also resulted in the largest decreases in pods per plant, seeds per pod, pod yield, 100-seed weight, seed yield, and biological yield, with reductions of 42%, 32%, 19%, 10%, 45%, and 15%, respectively, compared with the control. Priming with distilled water (optimal priming time, temperature, time and drying time were all determined in a pre-test), priming with 0.5 mM salicylic acid and priming with 100 ppm gibberellic acid and a new pinto bean cultivar, Koosha. In the case of priming, the gibberellic acid treatment had the highest mean RWC (60%), chlorophyll a (1.03 mg.g⁻¹ FW), total chlorophyll (1.63 mg.g⁻¹ FW), while the salicylic acid treatment had the highest mean chlorophyll b (0.61 mg.g⁻¹ FW) and carotenoids (2.59 mg.g⁻¹ FW). Regarding the interaction effects of treatments, priming reduced the negative effects of drought stress on physiological traits at all stress levels (control, mild and severe stress), such that salicylic acid treatment had the highest mean RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids. In the case of priming, salicylic acid treatment had the highest mean number of pods per plant (15.82), number of seeds per pod (3.81), pod yield (0.79 g.m⁻²), hundred seed weight (48.37 g), seed yield (30.1 g.m⁻²) and biological yield (79.4 g.m⁻²). Regarding drought stress, the most severe stress level showed the greatest reduction in the number of pods per plant, number of seeds per pod, pod yield, 100-seed weight, seed yield, and biological yield, which were 42, 32, 19, 10, 45, and 15 percent, respectively, compared to the control treatment.

Materials and Methods

The field experiment was performed in 2019 and 2020 in the field of Markazi Province Agricultural and Natural Resources Research Center, located in the northern belt of Arak (latitude 34° 5' N, longitude of 49°42' E), at an altitude of 1757 meters above sea level and with an average annual rainfall of 230 mm. A split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The experimental factors included drought stress at four levels (control, 50 mm evaporation, 75 mm evaporation, and 100 mm evaporation from the evaporation pan), and

1- Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

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

* Corresponding Author: eisvand.hr@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/).

seed priming at four levels (no priming [control], priming with distilled water, priming with 0.5 mM salicylic acid, and priming with 100 ppm gibberellic acid). The optimal priming duration, temperature, and drying time were determined in a pre-test, and the Koosha cultivar was used for the experiment. Field preparation, including plowing, disking, and land leveling, was carried out in early spring of both cropping years, following standard regional practices. Before planting, all the seeds were disinfected with benomyl fungicide at a ratio of two per thousand. Seeds were sown in six rows, each 4 meters long, with 50 cm spacing between rows ([Kamankesh & Shafiei, 2017](#)). The first irrigation was done immediately after planting and the subsequent irrigations were done according to the relevant treatments based on the plant's needs and environmental conditions.

Results and Discussion

The results showed that treatments significantly affected physiological traits. Regarding priming, Gibberellic acid treatment had the highest mean RWC (60%), chlorophyll a ($1.03 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), total chlorophyll ($1.63 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), and the salicylic acid treatment had the highest mean chlorophyll b ($0.61 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$), and carotenoid ($2.59 \text{ mg.g}^{-1} \text{ FW}$) values. Regarding treatment interaction, priming reduced the negative effects of drought stress on physiological traits, at all drought stress levels (control, mild and severe); salicylic acid treatment had the highest mean of RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids. Gibberellic acid (GA) priming significantly influences the activity of photosynthetic pigments in plants under drought stress by enhancing physiological and biochemical responses. This priming mechanism involves the regulation of key photosynthetic genes and the activation of protective pathways that mitigate stress effects. GA3 priming increases the net photosynthetic rate (P_n) and chlorophyll content, which are crucial for effective photosynthesis under drought conditions ([Xie et al., 2016](#); [Fu et al., 2023](#)). In maize, GA3 application improved photochemical efficiency and stomatal conductance, leading to better photosynthetic performance under drought stress ([Fu et al., 2023](#)). Regarding drought stress, the severe stress had the highest reduction of RWC, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids with 19, 27, 29, 28 and 28%, respectively compared to the control. Chlorophyll concentration has been known as an index to evaluate source activity, therefore a decrease in this can be considered a non-stomata limiting factor in the drought stress conditions ([Hasnain et al., 2023](#)). Chlorophyll concentration has been known as an index for evaluation of source, therefore decrease in this can be considered as a non-stomata limiting factor under drought stress conditions. There are reports of a decrease in chlorophyll under drought stress conditions. Also, it is reported that the chlorophyll content of resistant and sensitive cultivars to drought and thermal stress is reduced. However, resistant cultivars to drought and thermal stress had a high chlorophyll content ([Kausar et al., 2023](#)).

Conclusions

The results showed that treatments significantly affected agronomic traits. Regarding priming, Salicylic acid treatment had the highest mean pod per plant (15.82), seed per pod (3.81), pod yield (0.79 g.m^{-2}), 100-seed weight (48.37 g.m^{-2}), seed yield (30.1 g.m^{-2}) and biological yield (79.4 g.m^{-2}) values. Salicylic acid (SA) plays a crucial role in enhancing the yield of beans through various physiological and biochemical mechanisms. Its application has been shown to improve plant resilience against abiotic stresses such as waterlogging and salinity, leading to better growth and yield outcomes.

Keywords: Antioxidant enzyme, Environmental stress, Gibberellic acid, Salicylic acid



بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) رقم کوشا در شرایط تنش کم آبی

محمد غیاث آبادی^۱، حمیدرضا عیسوند^{۱*}، فرهاد نظریان فیروز آبادی^۱، عادل غدیری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳

چکیده

خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در جهان است و با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان و اثرات تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد این گیاه، اتخاذ روش‌های مقابله ضروری به نظر می‌رسد. از این رو، هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد و برخی صفات مورفو فیزیولوژیکی لوبیا چیتی در شرایط تنش کم آبی بود. آزمایش به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش کم آبی در سه سطح آبیاری منظم (شاهد، ۵۰ میلی‌متر تبخیر، ۷۵ میلی‌متر تبخیر و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، پرایمینگ در چهار سطح (عدم پرایم (شاهد)، پرایمینگ با آب مقطر (مدت زمان پرایمینگ، دما، زمان و مدت خشک شدن بهینه، همگی در یک پیش‌آزمایش مشخص شدند) پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار و پرایمینگ با اسیدجیبرلیک ۱۰۰ پی‌پی‌ام و رقم جدید لوبیا چیتی رقم کوشا بود. نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی داشتند. در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدجیبرلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی (۰/۶۰)، کلروفیل a (۱/۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تازه)، کلروفیل کل (۱/۶۳ میلی گرم بر گرم وزن تازه) را داشت، در حالی که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین کلروفیل b (۰/۶۱ میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کاروتنوئید (۲/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تازه) را نشان داد. در ارتباط با تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به طوری که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را داشت. به علاوه تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته (۱۵/۸۲)، تعداد دانه در هر غلاف (۳/۸۱)، عملکرد غلاف (۰/۷۹)، وزن ۱۰۰ دانه (۴۸/۳۷ گرم)، عملکرد دانه (۳۰/۱ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۷۹/۴ گرم) را داشت. در رابطه با تنش کم آبی، شدیدترین سطح تنش منجر به بیشترین کاهش در تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شد که این کاهش به ترتیب ۴۲، ۳۳، ۱۹، ۱۰، ۴۵ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بود. بر این اساس، پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در بهبود رشد و عملکرد لوبیا چیتی به ویژه در مناطق در معرض تنش خشکی پیشنهاد شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسیدجیبرلیک، اسیدسالیسیلیک، تنش محیطی

مقدمه

با توجه به اینکه تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی در بخش کشاورزی است، تلاش‌های زیادی برای حفظ عملکرد گیاهان تحت شرایط خشکی صورت گرفته است (Cattivelli et al., 2008). با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد زمین‌های زراعی کشورمان در محدوده مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است بنابراین استفاده از ارقام مقاوم به خشکی لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) در ایران از پتانسیل ویژه‌ای جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش را برخوردار می‌باشد (Rahimi et al., 2023)، بنابراین شناسایی و انتخاب ارقام متحمل به خشکی در گیاهانی چون لوبیا که در شرایط

محدودیت آب بتوانند عملکرد قابل قبولی داشته باشند از اهمیت خاصی دارد. پرایمینگ بذر روشی برای پیش‌جوانه‌زنی می‌باشد که باعث جوانه‌زنی سریع، همزمان و یکنواخت بذرها می‌گردد. گزارش‌های متعددی مبنی بر تأثیر مثبت پرایمینگ بر جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان مختلف وجود دارد (Fu et al., 2024; Chandel et al., 2024; Demir Kaya et al., 2006). پرایمینگ

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران
(eisvand.hr@lu.ac.ir)

و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ درجه شرقی با ارتفاع ۱۷۵۷ متر از سطح دریا و متوسط بارندگی سالانه ۲۳۰ میلی‌متر اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تنش خشکی در سه سطح آبیاری منظم (شاهد، ۵۰ میلی‌متر تبخیر)، ۷۵ میلی‌متر تبخیر و ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر، پرایمینگ در چهار سطح عدم پرایم (شاهد)، پرایمینگ با آب مقطر (مدت زمان پرایمینگ، دما، زمان و مدت خشک شدن بهینه، همگی در یک آزمایش مقدماتی مشخص شد)، پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک و پرایمینگ با اسیدجیرلیک به‌ترتیب در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ پی‌پی‌ام و رقم جدید لوبیا چیتی (رقم کوشا) بود.

قبل از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه انجام و نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. آماده‌سازی و عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین مطابق عرف منطقه در دو سال زراعی در اوایل بهار انجام گردید. کلیه بذرها قبل از کاشت با سم بنومیل به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردیده و سپس در هر کرت فرعی در شش ردیف به‌طول چهار متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در عمق پنج سانتی‌متر کاشته شدند (Kamankesh & Shafiee, 2018). اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی متناسب با تیمارهای مربوطه براساس نیاز گیاه و شرایط محیطی انجام گرفت. نیاز آبی گیاه با استفاده از تشتک تبخیر محاسبه و تبخیر روزانه از تشت اندازه‌گیری و براساس ضریب تشت و ضریب گیاهی، حجم آب مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری با استفاده از معادله ۱ تعیین می‌گردد.

$$V = PE \times KC \times A / Ei \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، V: حجم آبیاری برحسب مترمکعب، PE: تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A برحسب میلی‌متر، KC: ضریب گیاهی، A: مساحت آبیاری‌شده برحسب مترمربع و Ei: راندمان آبیاری می‌باشد. ضریب گیاهی لوبیا از ۰/۱۵ در اوایل رشد، ۱/۱۵ در اواسط رشد و از ۰/۲۶ در مرحله برداشت متفاوت است. آبیاری کرت‌ها توسط نوارهای تیپ و حجم آب ورودی به کرت با کنتور آب کنترل شد. بذر لوبیا چیتی رقم کوشا از استان مرکزی، مرکز تحقیقات ملی لوبیای شهرستان خمین تهیه گردید.

به روش‌های مختلفی و با اهداف خاصی انجام می‌شود که از میان آن‌ها مواردی مثل هیدرو پرایمینگ^۱، اُسموپرایمینگ^۲، ماتریک پرایمینگ^۳، هالو پرایمینگ^۴، ترمو پرایمینگ^۵، بیو پرایمینگ^۶ و پرایمینگ با هورمون‌های رشد گیاهی را می‌توان نام برد. در حال حاضر از چهار تکنیک هیدروپرایمینگ، اُسمو پرایمینگ، ماتریک پرایمینگ و پیش‌جوانه‌زنی، به‌طور تجاری برای پرایمینگ بذر استفاده می‌شود (Eisvand et al., 2008; Kaya., 2006). در روش پرایمینگ می‌توان از هورمون‌های گیاهی همچون اسیدسالیسیلیک و اسیدجیرلیک استفاده کرد. اسیدسالیسیلیک از جمله تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی قابل حل در آب و یک ترکیب آنتی‌اکسیدان به شمار می‌رود (Raafat & Radwan, 2011) این هورمون نقش محوری در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله رشد، تکامل گیاه، تعرق، جذب یون (Keikha et al., 2017) فتوسنتز و جوانه‌زنی بسته به غلظت مورد نظر، گونه گیاه، دوره رشدی و شرایط محیطی ایفا می‌کند (Iqbal & Ashraf, 2006) این ماده همچنین به‌عنوان یک سیگنال مولکولی مهم در نوسانات گیاهی در پاسخ به تنش‌های محیطی شناخته شده است (Senaratna et al., 2000) علاوه بر این، اسیدسالیسیلیک منجر به بروز تغییراتی خاص در آناتومی برگ و ساختار کلروپلاست می‌گردد (Zaki & Radwan, 2011). اسیدجیرلیک یکی از مهم‌ترین جیرلین‌هایی می‌باشد که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان نظیر فعالیت تقسیم سلولی مناطق مرستم، افزایش طولی سلول‌ها، افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی، افزایش رشد گیاهچه‌ای در شرایط مزرعه (Eisvand, 2012)، زودرسی، گل‌دهی و عملکرد دخال دارد (Nawaz et al., 2024). با توجه به اینکه در بین حبوبات، لوبیا از نظر سطح زیرکشت و تولید، مقام اول را در جهان دارا است و خشکی یکی از عوامل محدودکننده تولید لوبیا در جهان است، این تحقیق با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر بر عملکرد، برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و کارایی مصرف آب لوبیا چیتی در شرایط تنش کم‌آبی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، واقع در کمربندی شمالی اراک، با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه شمالی

- 1- Hydropriming
- 2- Osmopriming
- 3- Matric priming
- 4- Halopriming
- 5- Thermopriming
- 6- Biopriming

پرایمینگ با اسیدجیبرلیک تأثیر قابل توجهی بر فعالیت رنگدانه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی دارد، به گونه‌ای که پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را بهبود می‌بخشد. این سازوکار پرایمینگ شامل تنظیم ژن‌های کلیدی فتوسنتزی و فعال‌سازی مسیرهای حفاظتی است که اثرات تنش را کاهش می‌دهند (Zhang et al., 2024). پرایمینگ اسیدجیبرلیک، میزان فتوسنتز خالص و مقدار کلروفیل را که برای فتوسنتز مؤثر در شرایط خشکی ضروری هستند، افزایش می‌دهد (Xie et al., 2016; Fu et al., 2024). در گیاه ذرت، کاربرد اسیدجیبرلیک باعث بهبود کارایی فتوشیمیایی و هدایت روزنه‌ای شد که منجر به عملکرد بهتر فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی گردید (Fu et al., 2023). همچنین پرایمینگ اسیدجیبرلیک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز که از دستگاه فتوسنتزی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از خشکی محافظت می‌کنند را افزایش می‌دهد (Jaybhaye et al., 2024).

در مورد تنش خشکی، شدیدترین سطح تنش منجر به بیشترین کاهش در محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها شد که به ترتیب ۱۹، ۲۷، ۲۹، ۲۸ و ۲۸ درصد کمتر از مقدار مشاهده‌شده در شاهد بود. غلظت کلروفیل به عنوان یک شاخص برای ارزیابی منابع نوری شناخته شده است، بنابراین کاهش آن می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده غیرمرتبط با روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی در نظر گرفته شود (Hasnain et al., 2023). در همین راستا، گزارش‌هایی مبنی بر کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی وجود دارد. همچنین گزارش شده است که محتوای کلروفیل در ارقام مقاوم و حساس به تنش خشکی و گرما کاهش می‌یابد، اما ارقام مقاوم به این تنش‌ها دارای محتوای کلروفیل بالاتری بودند (Kausar et al., 2023).

به منظور نمونه‌گیری در هر کرت، دو ردیف کناری و ۳۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای ردیف‌های میانی به عنوان اثر حاشیه در نظر گرفته شد. به منظور تعیین اجزای عملکرد، در پایان فصل رشد تعداد پنج بوته به طور تصادفی از هر کرت برداشت و تعداد غلاف بارور، تعداد دانه در هر غلاف و وزن ۱۰۰ دانه اندازه‌گیری و ثبت شد. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز پس از حذف اثرات حاشیه‌ای با برداشت از وسط هر کرت به مساحت دو مترمربع تعیین گردید. علف‌های هرز غالب در مزرعه سلمه تره^۱، تاج خروس^۲، پنیرک^۳، پیچک^۴، توق^۵ و تاتوره^۶ بودند که به صورت دستی وجین شدند.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گردید. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب داده‌های این مطالعه نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی داشتند (جدول ۱). در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدجیبرلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی (60%)، کلروفیل a (1/03 میلی گرم بر گرم وزن تازه)، کلروفیل کل (1/63 میلی گرم بر گرم وزن تازه) را داشت، درحالی‌که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین کلروفیل b (0/61 میلی گرم بر گرم وزن تازه) و کاروتنوئید (2/59 میلی گرم بر گرم وزن تازه) را نشان داد. در ارتباط با تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به طوری که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین محتوای آب نسبی، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها را داشت (جدول ۲).

- 1- *Chenopodium album*
- 2- *Amaranthus spp*
- 3- *Malva spp*
- 4- *Convolvulus arvensis*
- 5- *Xanthium strumarium*
- 6- *Datura stramonium*
- 7- Relative Water Content (RWC)

جدول ۱- میانگین مربعات تأثیر تیمارهای آزمایش بر صفات مورد مطالعه لوبیا چیتی رقم کوشا
Table 1- Mean squares of the effect of experimental treatments on the studied traits of pinto bean cultivar Koosha

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب Relative Water Content	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height	نیام در بوته Number of pods per plant	نیام در بوته Number of seeds per pods	وزن دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
سال Year	1	5083**	0.008	0.001	0.004	88.88**	0.823	4.109**	154.4**	0.013	0.02
تکرار R (Year)	4	3.222	0.008	0.001	0.006	8.681	1.556	0.036	5.161	0.077**	0.089
پرایمینگ Priming	2	870.1**	0.492**	0.211**	3.295**	1270**	298.444**	10.72**	154.4**	14.938**	10.575**
سال × پرایمینگ Year × priming	2	49.84 ^{ns}	0.028**	0.001	0.001	0.928	0.017	0.208**	0.074	0.01	0.058
خطا Error	8	10.34	0.003	0.001	0.003	7.637	0.461	0.006	2.494	0.004	0.067
آبیاری Irrigation	3	31.60**	0.176**	0.053**	1.3**	386.5**	100.126**	2.419**	85.98**	1.019**	2.361**
آبیاری × سال Year × irrigation	3	48.56**	0.063**	0.012**	0.016	1.069	0.493	0.083	2.316**	0.002	0.026
آبیاری × پرایمینگ Priming × irrigation	6	18.27**	0.013**	0.012**	0.116**	7.896**	2.563**	0.264**	2.825**	0.044**	0.011
آبیاری × پرایمینگ × سال Year × priming × irrigation	6	12.90**	0.013**	0.003	0.024	0.375	0.457	0.051	0.336	0.009*	0.01
خطا Error	36	3.843	0.003	0.002	0.016	2.009	0.373	0.036	0.474	0.004	0.31
ضریب تغییرات CV (%)		11.7	13.3	12.2	17.6	14.1	13.6	11.3	14.1	13.7	10.5

ns, * and ** are respectively non-significant and significant at the probability level of 5% and %1
ns و **: به ترتیب غیرمعنی دار بودن و معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین محتوی آب نسبی و رنگزدهای فتوسنتزی لوبیا چیتی در پاسخ به تیمارهای آزمایش
Table 2- Comparison of average relative water content and photosynthetic pigments pinto bean in response to experimental treatments

سال Year	پرایمینگ Priming	آبیاری (میلی متر تبخیر از تشک) Irrigation (mm pan evaporation)	محتوای نسبی آب (%) Relative Water Content (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg.g ⁻¹ FW)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹ FW)
اول First	شاهد Control	50*	50.33 ^{hij*}	1.03 ^{cd}	0.64 ^{b^{cde}}	1.67 ^{cd}	2.46 ^{defg}
		75	48.67 ^{ij}	0.87 ^{fgh}	0.59 ^{cdef}	1.46 ^{fgh}	2.1 ^{hi}
		100	41.67 ^l	0.61 ^k	0.36 ^k	0.96 ⁿ	1.83 ^{ijkl}
	آب Water	50	53.67 ^{gh}	0.75 ^{ij}	0.57 ^{efg}	1.32 ^{ij}	2.42 ^{efg}
		75	50.33 ^{hij}	0.68 ^{jk}	0.47 ^{hij}	1.15 ^{lm}	1.99 ^{ijk}
		100	44.67 ^{kl}	0.7 ^{jk}	0.43 ^{jk}	1.13 ^{lm}	1.85 ^{ijkl}
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	58.67 ^{ef}	1.09 ^{bc}	0.67 ^{abc}	1.77 ^{abc}	2.92 ^a
		75	53.33 ^{gh}	0.96 ^{def}	0.57 ^{efg}	1.53 ^{ef}	2.63 ^{de}
		100	48.33 ^j	0.86 ^{fgh}	0.53 ^{fghi}	1.39 ^{ghi}	2.11 ^{hi}
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	56.33 ^{fg}	1.15 ^{ab}	0.74 ^a	1.89 ^a	2.89 ^{ab}
		75	52 ^{hi}	1.04 ^{cd}	0.66 ^{abcd}	1.7 ^c	2.66 ^{cd}
		100	47 ^{jk}	0.99 ^{cde}	0.5 ^{ghij}	1.49 ^{fg}	1.92 ^{ijkl}
دوم Second	شاهد Control	50	75 ^a	1.04 ^{cd}	0.61 ^{bcdef}	1.66 ^{cd}	2.36 ^{fg}
		75	69 ^c	0.95 ^{defg}	0.55 ^{fgh}	1.5 ^{fg}	2.06 ^{hij}
		100	58 ^{ef}	0.73 ^j	0.36 ^k	1.1 ^m	1.74 ^l
	آب Water	50	74 ^{ab}	1.07 ^{bc}	0.58 ^{defg}	1.65 ^{cde}	2.29 ^{gh}
		75	64 ^d	0.85 ^{gh}	0.5 ^{ghij}	1.35 ^{hij}	2.05 ^{ij}
		100	64 ^d	0.71 ^{jk}	0.46 ^{ij}	1.17 ^{klm}	1.78 ^{kl}
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	76.33 ^a	1.07 ^{bc}	0.68 ^{ab}	1.75 ^{bc}	2.87 ^{abc}
		75	63.33 ^d	0.91 ^{efgh}	0.64 ^{bcde}	1.55 ^{def}	2.69 ^{bcd}
		100	58.33 ^{ef}	0.67 ^{jk}	0.58 ^{defg}	1.24 ^{ijkl}	2.29 ^{gh}
	اسیدجبرلیک Gibberellic acid	50	74 ^{ab}	1.2 ^a	0.65 ^{bcde}	1.85 ^{ab}	3.06 ^a
		75	70.67 ^{bc}	0.95 ^{defg}	0.59 ^{cdef}	1.55 ^{def}	2.55 ^{def}
		100	60 ^e	0.84 ^{hi}	0.44 ^j	1.28 ^{ijk}	1.84 ^{ijkl}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the Duncan's test

نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشتند (جدول ۳). در مورد پرایمینگ، تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته (۱۵/۸۲)، تعداد دانه در هر غلاف (۳/۸۱)، عملکرد غلاف (۰/۷۹)، وزن ۱۰۰ دانه (۴۸/۳۷ گرم)، عملکرد دانه (۳/۰۱ گرم) و عملکرد بیولوژیکی (۷/۹۴ گرم) را داشت. اسیدسالیسیلیک نقش مهمی در افزایش عملکرد لوبیا از طریق سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف ایفا می‌کند. کاربرد آن موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی مانند غرق‌آبی و شوری شده و در نتیجه رشد و عملکرد بهتری را به همراه دارد. اسیدسالیسیلیک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش می‌دهد که موجب کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از عوامل محیطی می‌شود (Sultana et al., 2023). افزایش سطح فلاونوئیدهای کل و ترکیبات فنلی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را بهبود بخشیده و از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب محافظت می‌کند (Youssef et al., 2023). کاربرد اسیدسالیسیلیک همچنین موجب تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و اسیدهای آمینه آزاد می‌شود که در حفظ تعادل اسمزی در شرایط تنش مؤثر هستند (Sultana et al., 2023). این تنظیم اسمزی منجر به بهبود وضعیت آبی برگ و افزایش شادابی گیاه شده و در نتیجه سلامت کلی و پتانسیل عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Sultana et al., 2023). علاوه بر این، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک با افزایش محتوای کلروفیل، بهبود کارایی فتوسنتز و جذب عناصر غذایی همراه بوده که برای رشد و عملکرد مطلوب ضروری است (Sharma et al., 2023). در رابطه با تنش خشکی، شدیدترین سطح تنش، بیشترین کاهش را در تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی نشان داد که این کاهش به ترتیب ۴۲، ۳۲، ۱۹، ۱۰، ۴۵ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بود. در مورد تأثیرات متقابل تیمارها، پرایمینگ اثرات منفی تنش خشکی را در تمامی سطوح تنش (شاهد، تنش ملایم و شدید) کاهش داد، به‌طوری‌که تیمار اسیدسالیسیلیک بالاترین میانگین تعداد غلاف در هر بوته، تعداد دانه در هر غلاف، عملکرد غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی را داشت (جدول ۳). این نتایج را چنین می‌توان تفسیر نمود که اسیدسالیسیلیک از طریق فعال‌سازی مسیرهای سیگنال‌دهی خاص موجب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش می‌شود. همچنین این ترکیب به‌عنوان یک مولکول سیگنال‌دهنده، بیان ژن‌های مرتبط با پاسخ به تنش را تنظیم کرده و

ایمنی و تحمل گیاه به خشکی را افزایش می‌دهد (Song et al., 2023) و همچنین پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی محافظتی را فعال کرده که به حذف گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) تولیدشده در شرایط خشکی کمک می‌کند (Paul et al., 2024). اسیدسالیسیلیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود کارایی فتوسنتز می‌شود که برای حفظ رشد در شرایط محدودیت آبی حیاتی است و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در این تحقیق نیز در همین راستا می‌باشد (Paul et al., 2024; Chauhan et al., 2023). تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از غلظت‌های پایین اسیدسالیسیلیک (۰/۵-۰/۱ میلی‌مولار) از طریق پرایمینگ بذر یا محلول‌پاشی، به‌طور مؤثری تحمل گیاه را در برابر خشکی افزایش می‌دهد (Kavulych et al., 2023). مطالعات حاکی از آن است که کاربرد اسیدسالیسیلیک می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد محصولات زراعی را در شرایط تنش بهبود بخشد و به‌عنوان یک ابزار امیدبخش برای کشاورزی پایدار مطرح شود (Ansari et al., 2023).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی داده‌های دو سال زراعی نشان داد که تیمارهای پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و عملکرد لوبیا چیتی به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی داشتند. کاهش سطح آبیاری منجر به کاهش میزان آب نسبی برگ، کاهش کلروفیل‌ها و عملکرد دانه شد که نشان‌دهنده حساسیت بالای لوبیا چیتی به تنش خشکی است. اما تیمارهای اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک توانستند این اثرات منفی را کاهش داده و باعث حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش کاروتنوئیدها و بهبود تحمل گیاه به کم‌آبی شوند. از نظر عملکرد، مشخص شد که تنش خشکی موجب کاهش وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شد. بالین‌حال، تیمارهای پرایمینگ به‌ویژه اسیدسالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه و بهبود اجزای عملکرد شدند. این تیمارها در شرایط تنش آبی توانستند میزان تولید زیست‌توده و کارایی فتوسنتزی را افزایش داده و گیاه را در برابر شرایط نامطلوب مقاوم‌تر کنند. بر این اساس، پرایمینگ بذر با اسیدسالیسیلیک و اسیدجیبرلیک می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر در بهبود رشد و عملکرد لوبیا چیتی، به‌ویژه در مناطق مستعد تنش خشکی پیشنهاد شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی در پاسخ به تیمارهای آزمایش
Table 3- Comparison of yield and yield components pinto bean in response to experimental treatments

سال Year	پرایمینگ Priming	آبیاری (میلی متر تبخیر از تشتک) Irrigation (mm pan evaporation)	تیمار در بوته Number of pods per plant	دانه در نیام Number of seeds per pods	عملکرد نیام Pods yield (g.m ⁻²)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield(kg.ha ⁻¹)
اول First	شاهد Control	50	12.8h*	3.57de	0.72defg	46.47cde	3100e	7830abede
		75	11.47ij	3.17fg	0.66hijk	45.27ef	2640g	7390bcedef
		100	6.87n	2.6ij	0.58l	42.1i	1670k	6450f
	آب Water	50	16.07cde	4.37c	0.79bc	49.43b	3480	8260ab
		75	14.87fg	3.57de	0.74cde	47.27cd	2960f	7770abede
		100	8.73lm	3.03gh	0.68fghij	44.41fg	1870j	6820ef
دوم Second	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	19.2a	5.3a	0.9a	52.87a	3770a	8560a
		75	17.57b	3.83d	0.81b	50.13b	3240d	8100abcd
		100	11.3ij	3.27efg	0.73def	46.23de	2090h	7200bcedef
	اسیدجیرلیک Gibberellic acid	50	15.93cdef	4.7b	0.89a	50.21b	3570b	8540a
		75	14.47g	3.6de	0.75cde	47.7c	3020ef	8040abcd
		100	10.53jk	3.03gh	0.7defgh	45.63ef	1940ij	7110cedef
	شاهد Control	50	12hi	3.17fg	0.65hijk	43.93gh	2990ef	7520abcedef
		75	10.53jk	2.7hij	0.62kl	43.03hi	2550g	7270bcedef
		100	6.9n	2.37j	0.58l	38.83k	1730k	6450f
	آب Water	50	16.23cd	3.9d	0.76bcd	45.27ef	3420c	8210abc
		75	15.23defg	3.17fg	0.69efghi	43hi	2950f	7730abede
		100	8.63m	2.77hi	0.63jkl	40.93j	1940ij	7000def
	اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	50	18.9a	4.33c	0.87a	50.27b	3710a	8500a
		75	16.83bc	3.33efg	0.74cde	47.17cd	3300d	8110abc
		100	11.1ij	2.77hi	0.67ghijk	43.57gh	1970ij	7180bcedef
	اسیدجیرلیک Gibberellic acid	50	16.17cd	3.77d	0.88a	47.53c	3510bc	8490a
		75	15efg	3.4ef	0.75cde	45.2ef	2990ef	7950abcd
		100	9.7kl	2.63ij	0.64jkl	43.83gh	1990hi	7250bcedef

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.
* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the Duncan's test

References

- Ansari, Z. G., Sarma, H. H., Boruah, A., Doggalli, G., Bahadur, R., Tripathi, U., & Vijaya Rani, D. (2023). Efficacy of salicylic acid in response to plant stress tolerance, growth, and productivity: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 3924-3936. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113573>.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F. W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A. M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., & Stanca, A. M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>
- Chandel, N. S., Tripathi, V., Singh, H. B., & Vaishnav, A. (2024). Breaking seed dormancy for sustainable food production: Revisiting seed priming techniques and prospects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102976. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102976>
- Chauhan, J., Singh, P., & Choyal, P. (2023). Palant photosynthesis under abiotic stresses: Damages, adaptive, and signaling mechanisms. *Plant Stress*, 10(6), 100296. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100296>
- Demir Kaya, M., Okcu Gamze Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal Agronomy*, 24, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Eisvand, H. R., Azarnia, M., Nazarian Firoozabadi, F., & Sharafi, R. (2012). Effects of priming by gibberellin and abscisic acid on emergence and some physiological characters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedling under dry and irrigated conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(4), 789-797. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.4.14.6>
- Eisvand, H. R., Tavakkol Afshari, R., Sharifzadeh, F., Maddah Arefi, H., & Hesamzadeh Hejazi, S. M. (2008). Improvement of physiological quality of deteriorated tall wheat grass (*Agropyron elongatum* Host) seeds by hormonal priming for control and drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 39(1), 53-65. (In Persian).
- Fu, J. J., Li, L., Wang, S., Yu, N., Shan, H. S., Shi, Z., Hai, F., Li, X., & Zhong, M. (2023). Effect of gibberellic acid on photosynthesis and oxidative stress response in maize under weak light conditions. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1128780>.
- Fu, Y., Ma, L., Li, J., Hou, D., Zeng, B., Zhang, L., Liu, C., Bi, Q., Tan, J., Yu, X., & Bi, J., (2024). Factors influencing seed dormancy and germination and advances in seed priming technology. *Plants*, 13(10), 1319. <https://doi.org/10.3390/plants13101319>
- Hasnain, Z., Zafar, S., Usman, S., Zhang, L., & Elansary, H. O. (2023). Elucidating role of melatonin foliar spray in ameliorating adverse effects of drought stress on growth and physio-biochemical attributes of *Brassica rapa* plants. *Scientia Horticulturae*, 321, 112336. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112336>
- Iqbal, M., & Ashraf, M. (2006). Wheat seed priming in relation to salt tolerance, growth, yield and level of free salicylic acid and polyamines. *Annals of Botany*, 43(4), 250-259.
- Jaybhaye, S. G., Deshmukh, A. S., Chavhan, R. L., Patade, V. Y., & Hinge, V. R. (2024). GA3 and BAP phytohormone seed priming enhances germination and PEG-induced drought stress tolerance in soybean by triggering the expression of osmolytes, antioxidant enzymes, and related genes at the early seedling growth stages. *Environmental and Experimental Botany*, 226(C), 105870. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105870>
- Kamankesh, E., & Shafiee, E. (2018). *Practical Guide for Beans Growing*. First edition. Tehran: Amoozesh va Tarviji Keshavarzi Press, Tehran, Iran. 85 pp. (In Persian).
- Kavulych, Y., Kobyletska, M., Romanyuk, N., & Terek, O. (2023). Stress-protective and regulatory properties of salicylic acid and prospects of its use in plant production. *Studia Biologica* 17(2), 173-200. <https://doi.org/10.30970/sbi.1702.718>
- Kausar, A., Hussain, S., Javed, T., Zafar, S., Anwar, S., Hussain, S., Zahra, N., & Saqib, M. (2023). Zinc oxide nanoparticles as potential hallmarks for enhancing drought stress tolerance in wheat seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 195, 341-350. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.014>
- Kaya, M. D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., & Kolsarici, Ö. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24(4), 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Keikha, M., Noori, M., & Keshtehgar, A. (2017). Effect of salicylic acid and gibberellin on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2), 138-151. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.V7i2.45907>.
- Nawaz, H., Rehman, H. U., Ihsan, M. Z., Rizwan, M. S., Hussain, N., Ali, B., Iqbal, R., Hasnain, M. U., Elshikh, M. S., Alkahtani, J., & Arslan, M. (2024). Organic seed priming with curtailed seed rate

- compensated wheat grains productivity by upgrading anti-oxidant status against terminal drought at flowering and milking. *Scientific Reports*, 14(1), 4941. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54767-6>
- Paul, M., Datal, A., Jaaskelainen, M., Moshelion, M., & Schulman, A. H. (2024). Precision phenotyping of a barley diversity set reveals distinct drought response strategies. *Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1393991>.
- Raafat, N. Z., & Radwan, T. E. E. (2011). Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Apply Sciences Research*, 7(1), 42-55.
- Rahimi, H., Eshghizadeh, H. R., Razmjoo, J., Zahedi, M., GHadiri, A., & Asadi, M. (2023). Evaluation of yield and some morphophysiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 14(1), 19-33. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.V14i1.2206-1026>
- Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30(2), 157-161.
- Sharma, R. K., Magray, M. M., Narayan, S., & Bhat, S. A. (2023). Effect of foliar application of varying doses of salicylic acid at different growth stages on growth, quality, and nutrient uptake efficiency of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 1582-1589. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.V12.i2s.18618>
- Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., & Xu, Y. (2023). Advances in roles of salicylic acid in plant tolerance responses to biotic and abiotic stresses. *Plants. Physiology and Biochemistry*, 12(19), 3475; <https://doi.org/10.3390/plants12193475>
- Sultana, S., Rahman, M. M., Das, A. K., Haque, M. A., Rahman, M. A., Islam, S. M. N., Ghosh, P. K., Keya, S. S., Tran, L. P., & Mostofa, M. G. (2023). Role of salicylic acid in improving the yield of two mung bean genotypes under waterlogging stress through the modulation of antioxidant defense and osmoprotectant levels. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108230. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108230>
- Xie, J., Tian, J., Du, Q., Chen, J., Li, Y., Yang, X., Li, B., & Zhang, D. (2016). Association genetics and transcriptome analysis reveal a gibberellin-responsive pathway involved in regulating photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 67(11), 3325-38. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw151>
- Youssef, S. M., López-Orenes, A., Ferrer, M. A., & Calderón, A. A. (2023). Foliar application of salicylic acid enhances the endogenous antioxidant and hormone systems and attenuates the adverse effects of salt stress on growth and yield of French bean plants. *Horticulturae*, 9(1), 75. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010075>
- Zaki, R. N., & Radwan, T. E. (2011). Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Science Research*. 7, 42-55.
- Zhang, K., Khan, M. N., Luo, T., Bi, J., Hu, L., & Luo, L., (2024). Seed priming with gibberellic acid and ethephon improved rice germination under drought stress via reducing oxidative and cellular damage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(2), 2679-2693. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01691-3>



The Effect of Seed Priming and Foliar Application of Iron and Zinc Micronutrients on Growth and Yield of Lentil (*Lens culinaris* Medik) and Germination Characteristics of Produced Seeds under Dryland Conditions

Mohammad Vahdani Rashvanlou¹, Majid Jami Al-Ahmadi^{1*}, Mohammad Hassan Sayyari-Zahan¹, Hadi Shoorideh²

Received: 08 April 2025

Revised: 29 May 2025

Accepted: 02 July 2025

Available Online: 02 July 2025

Cite this article:

Vahdani Rashvanlou, M., Jami Al-Ahmadi, M., Sayyari-Zahan, M. H., & Shoorideh, H. (2025). The effect of seed priming and foliar application of iron and zinc micronutrients on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* Medik) and germination characteristics of produced seeds under dryland conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 277-295. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.92929.1110>

Introduction

One of the most important issues related to lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivation in Iran, which is often cultivated in less fertile soils under dryland conditions, is its low and unstable yield, which can be significantly improved with appropriate management methods, including proper plant nutrition. One of the problems of soils in arid and semi-arid regions is the reduced availability of micronutrients, especially Zn and Fe, and as a result, their deficiency in plants. The lack of organic matter, high pH, and high percentage of calcium carbonate in arid and semi-arid soils cause micronutrients, especially zinc (Zn) and iron (Fe), to stabilize in these soils and quickly become unavailable to the plant. Under such conditions, applying these micronutrients as seed priming or foliar sprays (or a combination of both) will be much more efficient than applying them to the soil.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of seed priming and foliar application of lentil plants by Zn and Fe micronutrient, a factorial experiment was conducted based on randomized complete blocks design with three replications and two factors. The first factor was nutritional priming in six levels [nutritional priming with FeSO₄ and ZnSO₄ each at two concentrations of 50 and 100 mM, along with no prime (dry seed) and hydro prime as controls]; The second factor was foliar spraying with four levels (no foliar spraying and spraying with distilled water, FeSO₄ and ZnSO₄ at 4‰ concentration). Nutritional priming of seeds was carried out for 12 hours at a temperature of 15 °C. Foliar spraying was carried out at two times, one at the 50% flowering stage and the other at the podding stage of lentils, using zinc sulfate fertilizer containing 21% zinc and iron sulfate fertilizer containing 19% iron at a concentration of 4‰. At the end of the experiment, plants were harvested from an area equivalent to 5 square meters and yield and yield components were determined. After that, a seed sample was randomly separated and 20 seeds were placed in 9 cm diameter Petri dishes containing 5 ml of distilled water. Then, the Petri dishes were placed in a germinator at 20°C and a 12-hour light/dark cycle. Finally, the germination and seedling growth characteristics of the seeds obtained from the mother plants were examined.

Results and Discussion

Based on the analysis of variance of the measured data, the main effects of seed priming and foliar spray were significant on all measured traits; however their interaction was significant only on grain yield. Almost the highest levels of all studied traits were observed in the priming with 50 mM FeSO₄ and then ZnSO₄. However, by increasing the concentration to 100 mM, there was a reduction in all studied traits. For example, grain yield decreased by 69.16 and 72.09 percent by 100 mM FeSO₄ and ZnSO₄, respectively. Foliar application of FeSO₄ and ZnSO₄ increased the number of pods per plant by 2.51 and 1.96 times, the number of seeds per pod by 1.24 and 1.33 times, and the 100-

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnord, Iran

* Corresponding Author: mjamialahmadi@birjand.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/).

kernel weight by 47.34 and 29.98%, respectively, compared to the control (non-foliar application), indicating a greater effect of plant nutrition with iron and zinc on seed weight, while priming had a greater effect on the number of pods. Also, foliar application of micronutrients increased lentil grain yield through improving yield components, and the highest yields were obtained from a combination of priming with 50 mM FeSO₄ and/or ZnSO₄ and foliar application of these micronutrients. Priming did not affect the germination traits of the harvested seeds; nevertheless seeds from plants foliar sprayed with FeSO₄ were superior regarding germination traits and seedling vigor.

Conclusions

Overall, the results indicate that using management operations such as nutritional priming and foliar spraying with micronutrients may be a suitable solution to improve plant growth and production, as well as germination and seedling establishment of produced seeds. In this study, hydropriming did not have a significant difference with no-priming in most traits, and priming with iron- and zinc sulfates, through improving height and lateral branches, caused the most tremendous increase in the number of pods per plant among yield components, while later applying of these micronutrients through foliar spraying had the most significant effect on grain weight. Choosing the appropriate concentration of these micronutrients (50 mM) and their application at the right time had an effective role in increasing the vegetative and reproductive traits of lentil crops. In comparison, the high concentration of priming agents (100 mM) had the opposite effect on all measured traits, and therefore, care should be taken in the amount of these micronutrients.

Keywords: FeSO₄, Micronutrients, Nutritional priming, ZnSO₄



اثر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر رشد و عملکرد عدس (*Lens culinaris Medik*) و ویژگی‌های جوانه‌زنی بذور تولیدی در شرایط دیم

محمد وحدانی رشوانلوئی^۱، مجید جامی الاحمدی^{۱*}، محمد حسن سیاری زهان^۱، هادی شوریده^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

چکیده

یکی از مشکلات خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاهش فراهمی عناصر ریزمغذی به‌خصوص روی و آهن است که سبب بروز کمبود آن‌ها در گیاهان می‌شود. به‌منظور ارزیابی اثر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی بر گیاه عدس (*Lens culinaris Medik*)، آزمایشی فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و دو عامل در شرایط دیم در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در شهرستان بجنورد انجام شد. عامل اول پرایمینگ تغذیه‌ای در شش سطح (بدون پرایم (بذور خشک)، عدم پرایمینگ تغذیه‌ای (هیدروپرایم) و پرایمینگ تغذیه‌ای با سولفات آهن و سولفات روی هر کدام در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و عامل دوم محلول‌پاشی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب تصفیه‌شده، سولفات آهن چهار در هزار و سولفات روی چهار در هزار) بود. تقریباً بالاترین میزان همه صفات مورد بررسی در تیمار پرایمینگ با ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و سپس سولفات روی مشاهده شد. کاربرد غلظت بالاتر از هر دو ماده پرایمینگ موجب کاهش در تمام صفات مورد بررسی شد، به‌نحوی که با افزایش کاربرد سولفات آهن و سولفات روی از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، عملکرد دانه به‌ترتیب ۶۹/۱۶ و ۷۲/۰۹ درصد کاهش یافت. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی از طریق بهبود اجزای عملکرد سبب افزایش عملکرد دانه عدس گردید، درحالی که پرایمینگ تأثیری بر صفات جوانه‌زنی بذور حاصل نداشت، بذور حاصل از گیاهان محلول‌پاشی‌شده با سولفات آهن از لحاظ ویژگی‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برتری داشتند. نتایج نشان داد که کاربرد ۵۰ میلی‌مولار هر یک عناصر ریزمغذی روی یا آهن به‌صورت پرایمینگ بذر به همراه محلول‌پاشی این دو عنصر می‌تواند یک راهکار مدیریتی کارآمد در تولید عدس تحت شرایط دیم باشد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ تغذیه‌ای، سولفات آهن، سولفات روی، عناصر ریزمغذی

مقدمه

عدس (*Lens culinaris Medik*) از جمله مهم‌ترین حبوبات سرمدوست محسوب می‌شود که به‌دلیل ارزش غذایی بالای خود (پروتئین بالا، اسیدهای آمینه ضروری، فولات، فیبر و مواد معدنی به‌ویژه آهن) یک غذای کاربردی محسوب شده و پروتئین گیاهی با کیفیتی را برای مردم کشورهای کم‌درآمد فراهم می‌کنند (Alexander et al., 2024). از جمله مهم‌ترین مسائل مربوط به زراعت عدس در ایران که اغلب در خاک‌های نه‌چندان حاصلخیز و به‌صورت دیم کشت می‌شود، پایین بودن و عدم ثبات عملکرد این محصول است (Hagigati Maleki et al., 2014) که با شیوه مناسب مدیریتی از جمله تغذیه مناسب گیاه می‌توان عملکرد محصول را تا حد زیادی افزایش داد.

گیاهان برای دستیابی به رشد مطلوب خود به چندین عنصر غذایی نیاز دارند که در این بین عموماً توجه کمتری به عناصر کم‌مصرف می‌شود، این در حالی است که کمبود ریزمغذی‌ها در اغلب گیاهان، گسترش جهانی دارد. از مهم‌ترین این عناصر غذایی کم‌مصرف می‌توان به روی و آهن اشاره کرد (Farooq et al., 2012). عنصر روی (Zn) از جمله عناصر ضروری و کم‌مصرف برای گیاهان است (Rudani et al., 2018) که کمبود آن در گیاهان زراعی، به‌ویژه در خاک‌های آهکی بسیار شایع بوده و می‌تواند رشد و عملکرد گیاهان زراعی را محدود کند. در این خاک‌ها، روی اغلب توسط کلسیم کربنات‌ها جذب شده یا رسوب داده می‌شود (Martínez-Ríos et al., 2024). عنصر روی در تشکیل اکسین دخالت نموده و بدین صورت رشد گیاه را تنظیم می‌کند (Rudani et al., 2018). به‌علاوه روی در ساختمان و فعالیت بسیاری از آنزیم‌های دخیل در سنتز

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان شمالی، بجنورد، ایران

(*- نویسنده مسئول: mjamialahmadi@birjand.ac.ir)

(Kordi et al., 2016) است. در عدس نیز دیده شده است که محلول‌پاشی عنصر روی سبب افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده و نیز اجزای عملکرد گردید (Dhaliwal et al., 2021). به‌طور مشابه، واکنش مثبت گیاهانی همچون ذرت (*Zea mays* L.) (Amanullah et al., 2012)، لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris*) (Iranshahi et al., 2014) و لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris*) (Borowski & Michalek, 2011) به محلول‌پاشی این عناصر مشاهده شده است. گزارش شده است که در سویا، کاربرد آهن به‌صورت محلول‌پاشی نسبت به مصرف آن به‌صورت جامد سبب بهبود گل‌دهی، افزایش ارتفاع، عملکرد و اجزای عملکرد در سویا شده است (Sadiqpoor et al., 2025).

گزارش شده است که محلول‌پاشی آهن سبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد و پروتئین دانه عدس می‌شود (Mehraban, 2017). با توجه به اثرات سودمند این دو عنصر، دور از انتظار نخواهد بود که کاربرد ترکیبی آهن و روی اثر بیش‌تری را نسبت به مصرف جداگانه آن‌ها به همراه داشته باشد، همان‌طور که در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Abdel-Motagally et al., 2016) و گندم (*Triticum aestivum* L.) (Shoormij et al., 2022) تأیید شده است. در گیاه زیره (*Cuminum cyminum* L.) نیز گزارش شده است که محلول‌پاشی توأم سولفات آهن و سولفات روی (۵/۰ درصد) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد (Sayyari Zahan et al., 2024). بنابراین با توجه به اینکه نیاز عدس به آهن و روی معمولاً بیشتر از سایر بقولات است (Ray et al., 2014)، واکنش بهتر آن به کاربرد توأم این دو ریزمغذی دور از انتظار نخواهد بود، به‌ویژه اینکه آهن و روی بر جذب یکدیگر و سایر عناصر ریزمغذی در گیاهان زراعی مؤثرند (Fageria, 2016).

پرایمینگ با مواد مغذی، روش سودمند و مقرون‌به‌صرفه برای تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است، زیرا در این روش به عناصر غذایی بسیار کمی نیاز است (Moradi & Siosemardeh, 2023). پرایمینگ با عناصر ریزمغذی همچون آهن و روی می‌تواند منجر به بهبود سبز شدن و استقرار گیاهچه، افزایش عملکرد و غلظت عناصر ریزمغذی در دانه شود (Farooq et al., 2012). اثرات مثبت پرایمینگ تغذیه‌ای با روی در بهبود جوانه‌زنی، رشد و عملکرد در گندم دیم (Moradi & Siosemardeh, 2023) و لوبیاقرمز (Tahmasebi et al., 2017) نشان داده شده است. پرایمینگ بذور عدس با محلول سولفات روی نیز اثرات مثبتی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد عدس داشته است (Aboutalebian & Mohagheghi, 2015). اثرات مشابهی در پرایمینگ بذر با آهن در بارهنگ (*Plantago major*) (Badiri, 2013) نیز دیده شده است. هرچند گزارش‌هایی در خصوص اثرات منفی پرایمینگ با غلظت‌های

اکسین، کلروفیل، DNA و RNA و نیز در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، روغن‌ها و پروتئین‌ها نقش دارد (Adhikari et al., 2016; Rengel et al., 2023). روی همچنین نقش مهمی در متابولیسم کربن (Tsonev & Lidon, 2012)، عمل گرده‌افشانی، لقاح و جوانه‌زنی (Cakmak, 2008)، متابولیسم اسیدنوکلئیک گیاه (Umair Hassan et al., 2020) فتوسنتز، طولی شدن سلول، حفظ ساختمان و کارکرد غشاء سلولی (Potarzycki & Grzebisz, 2009) و مقاومت گیاهان به تنش‌ها (Umair Hassan et al., 2020) نقش دارد. ثابت شده است که کاربرد روی در بهبود عملکرد و کیفیت محصول نیز مفید است (Chattha et al., 2017; Hassan et al., 2019)، درحالی‌که کمبود آن باعث کاهش عملکرد و بدتر شدن کیفیت محصول می‌شود (Mousavi et al., 2007).

کمبود آهن قابل استفاده گیاه و کلروز آهن یکی دیگر از مشکلات اغلب خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است (Jokar et al., 2015). آهن در ساخت کلروفیل و اجزای انتقال الکترون در فتوسنتز (مانند فریدوکسین) نقش حیاتی دارد و می‌تواند سبب افزایش میزان کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی شود (Nam et al., 2021; Rengel et al., 2023). آهن همچنین کوفاکتور بیش از ۱۴۰ آنزیم گیاه است و همچنین در تنظیم بسیاری از فرآیندهای گیاه از جمله تنفس، فتوسنتز، احیای نیترات‌ها و سولفات‌ها، تثبیت نیتروژن و ساخت پروتئین‌ها دخالت دارد (Rengel et al., 2023). ازاین‌رو، کمبود آهن می‌تواند ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد. کاهش عملکردی تا ۲۵ درصد به‌دلیل کمبود آهن در گیاهان زراعی مانند بقولات (سویا (*Glycine max* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.)) گزارش شده است (Mehrotra et al., 2022). دستیابی به دانش میزان و شیوه مناسب مصرف کودهای مؤثر در رشدونمو گیاهان زراعی، فرصت‌های جدیدی را برای افزایش کارایی مصرف کودها و بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی به وجود می‌آورد. در مجموع، ریزمغذی‌ها را می‌توان در کشاورزی از سه طریق کاربرد در خاک، محلول‌پاشی اندام‌های هوایی و پیش‌تیمار بذر در اختیار گیاه قرار داد (Choukri et al., 2022). در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌دلیل کمبود مواد آلی، بالا بودن pH و درصد بالای کلسیم کربنات، عناصر ریزمغذی به‌خصوص روی، آهن و منگنز در خاک تثبیت شده و در شرایط عادی برای گیاهان در دسترس نیستند (Shakeri & Safari, 2019; Shakeri & Azadi, 2022). در چنین شرایطی، تغذیه برگی این عناصر کارآمدتر از مصرف خاکی خواهد بود (Yaseen et al., 2013).

گزارش‌های متعددی حاکی از تأثیرات مثبت محلول‌پاشی روی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مانند پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Yaseen et al., 2013) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)

به منظور کاهش درصد خطا، زمین مورد نظر جهت کاشت در سال قبل به صورت آیش قرار داده شد. عملیات آماده سازی بستر بذر مطابق با عرف محل در اوایل اسفندماه انجام و قبل از کاشت، سه نمونه خاک جداگانه از قسمت های مختلف مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری برداشت و پس از ترکیب و گرفتن یک نمونه فرعی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱).

درصد جوانه زنی بذر محلی که به صورت دیم کاشت می شدند با آزمون استاندارد جوانه زنی تعیین شد (حدود ۷۰٪) و در محاسبه میزان بذر لازم لحاظ گردید. پیش از کاشت، پرایمینگ بذر با سولفات آهن و روی براساس مقادیر مورد نظر صورت گرفت. برای این کار، بذر به طور مستقیم در محلول آبی هوادهی شده حاوی غلظت های مختلف سولفات آهن و یا روی (مطابق سطوح تعیین شده) در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد پرایم شدند. نسبت وزن بذر به حجم محلول یک به پنج (گرم در میلی لیتر) در نظر گرفته شد (Haider et al., 2020). پس از ۱۲ ساعت پرایمینگ، بذرها از محلول غذایی خارج شده و پس از شست و شوی کامل با آب مقطر، برای خشک شدن در دمای اتاق قرار داده شدند (Moaaz et al., 2020). با توجه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۱)، کود مصرفی برای هر کرت بر مبنای ۷۵ کیلوگرم در هکتار پتاسیم سولفات و ۷۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل محاسبه و برای هر کرت پیش از کاشت بذر استفاده و با خاک مخلوط گردید. همچنین مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره دیرتر و همزمان با عملیات تنک به خاک داده شد. عملیات کاشت با تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع، پس از آماده سازی بستر بذر در نیمه دوم اسفند به صورت خطی و در عمق سه سانتی متری خاک صورت گرفت. هر کرت شامل هفت ردیف کاشت به طول شش متر و فاصله بین خطوط ۲۰ سانتی متر منظور گردید و فاصله بین کرت ها یک متر و بین بلوک ها دو متر در نظر گرفته شد. کاشت به صورت دیم بوده و در طول انجام آزمایش هیچ گونه آبیاری صورت نگرفت.

بالای این عناصر نیز وجود دارد که احتمالاً به دلیل سمیت ناشی از غلظت های بالا است (Hoseinpour Askarian et al., 2019). از آنجاکه روی و آهن جزء عناصر ریزمغذی ضروری در رشد و نمو گیاهان محسوب می شوند، کاربرد کارآمد آن ها می تواند اثرات مثبتی بر گیاهان به ویژه در خاک های ایران داشته باشد. با این وجود اطلاعات محدودی در مورد اثرات کاربرد همزمان پرایمینگ بذر و محلول پاشی با عناصر آهن و روی بر رشد و عملکرد و خصوصیات بذر تولیدی عدس در شرایط دیم وجود دارد. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی اثر تأمین عناصر روی و آهن از طریق پرایمینگ بذر و محلول پاشی بر رشد و عملکرد عدس و ویژگی های بذر تولیدی آن در شرایط دیم انجام شد، با این هدف که اطلاعات و داده های حاصل از آن بتواند برای مدیریت عناصر ریزمغذی در جهت بهبود عملکرد گیاه عدس در شرایط دیم مفید باشد.

مواد و روش ها

محل اجرای آزمایش، مزارع دیم روستای رشوانلو در ۱۰ کیلومتری شهرستان بجنورد با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۰۷۰ متر و با متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۲ میلی متر بود. آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و دو عامل انجام شد. عامل اول پرایمینگ تغذیه ای در شش سطح (بدون پرایم (بذر خشک)، عدم پرایمینگ تغذیه ای (هیدروپرایم) و پرایمینگ تغذیه ای با سولفات آهن و یا سولفات روی در دو غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار) و عامل دوم محلول پاشی در چهار سطح (عدم محلول پاشی و محلول پاشی با آب تصفیه شده، سولفات آهن چهار در هزار یا سولفات روی چهار در هزار) بودند. (Mehraban, 2017)

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی قطعه خاک مورد استفاده برای آزمایش مزرعه ای

Table 1- Physicochemical properties of the soil of experimental site used for the field experiment

بافت	شن	سیلت	رس	pH	هدایت الکتریکی	درصد اشباع	مواد خنثی شونده
Texture	Sand	Silt	Clay		EC	SP	TNV
		(%)			(دسی زیمنس بر متر) (dS.m ⁻¹)		(%)
Loam	28	43	23	7.67	1.78	40.43	28.10
ماده آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	مس	منگنز
Organic C	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn
					(پی پی ام) (ppm)		
0.309	0.039	4.45	215	1.98	0.23	0.69	5.45

EC: electrical conductivity; SP: saturation percentafe; TNV: total neutralizing value

استفاده از خط کش اندازه‌گیری گردید و براساس داده‌های حاصل، شاخص طولی بنیه بذر محاسبه شد (Abdul-Baki & Anderson, 1973) و در نهایت وزن خشک گیاهچه‌ها پس از قرارگیری در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت به دست آمد.

محاسبات آماری با استفاده از ماکروی DSAASTAT Ver.1.101 در محیط Excel و رسم نمودارها نیز توسط نرم‌افزار Excel انجام گردید. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD محافظت‌شده در سطح پنج درصد با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

بر مبنای تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی بر کلیه صفات اندازه‌گیری‌شده معنی‌دار شدند، اما اثر متقابل پرایمینگ و محلول‌پاشی تنها بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۲).

ارتفاع و تعداد شاخه فرعی

بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی تحت تأثیر پرایمینگ بذور با غلظت ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن به دست آمد که نسبت به شاهد بدون پرایم به ترتیب ۱۵/۴۹ و ۶۰/۷۱ درصد بیشتر بودند، هرچند ارتفاع بوته از نظر آماری با غلظت ۵۰ میلی‌مولار سولفات روی و هیدروپرایم اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش غلظت سولفات آهن و روی از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، ارتفاع بوته به ترتیب ۱۸/۶۰ و ۲۰/۹۴ درصد و تعداد شاخه فرعی به ترتیب ۴۰/۷۴ و ۲۶/۴۱ درصد کاهش نشان دادند. از نظر تعداد شاخه، پرایمینگ روی برتری چندانی نسبت به هیدروپرایم نداشت (جدول ۳).

بیشترین ارتفاع بوته در بین سطوح تیمار محلول‌پاشی، به ترتیب با کاربرد سولفات آهن و سولفات روی حاصل شد که به ترتیب افزایش ۴۲/۹۹ و ۳۵/۱۹ درصدی نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی نشان داد (جدول ۳). محلول‌پاشی آهن و روی همچنین تعداد شاخه فرعی را به ترتیب ۸۸/۲۴ و ۵۷/۸۴ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند که نشانگر برتری واضح سولفات آهن است. چنین تأثیر مثبت محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر رشد گیاه و ارتفاع بوته (Shabanzadeh & Galavi, 2011; Kamaraki & Galavi, 2012; Ghaffari Malayeri et al., 2012) ناشی از نقش‌های خاص این عناصر در گیاه می‌باشد. برای مثال، عنصر روی از طریق تأثیرگذاری بر تولید هورمون اکسین، تقسیم و طویل شدن سلولی می‌تواند باعث افزایش رشد رویشی، شاخه‌بندی و ارتفاع بوته شود (Rengel et al., 2023). وجود آهن در ساختار کلروفیل و تأثیر آن بر افزایش فعالیت فتوسنتزی و کارایی جذب نیتروژن (Rengel et al.,

محلول‌پاشی در دو نوبت یکی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی و دیگری در مرحله نیام‌دهی عدس با استفاده از سم‌پاش پشتی بعد از کالیبره کردن با فشار یک اتمسفر انجام شد (Mehraban, 2017). جهت محلول‌پاشی روی از کود سولفات روی محتوی ۲۱ درصد روی و کود سولفات آهن محتوی ۱۹ درصد آهن شرکت مرک آلمان با غلظت چهار در هزار استفاده گردید.

یک ماه پس از سبز شدن گیاهچه‌های عدس، به منظور دستیابی به فراوانی مورد نظر، بوته‌های اضافی حذف شدند. در طول فصل رشد، چهار مرتبه عملیات وجین دستی در کرت‌ها جهت مبارزه با علف‌های هرز صورت گرفت. در پایان فصل و پیش از برداشت، صفات ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته در سه ردیف وسطی و روی سه بوته متوالی از ردیف اول، چهار بوته متوالی از ردیف دوم و سه بوته متوالی از ردیف سوم اندازه‌گیری شدند و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع ساقه عدس منظور گردید. سپس تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و پس از شمارش تعداد غلاف و محاسبه میانگین آن در هر بوته، تعداد دانه در آن‌ها شمارش شد و متوسط تعداد دانه در غلاف به دست آمد. جهت اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه در هر تیمار تعداد سه تکرار ۱۰۰ تایی بذر عدس شمارش و توزین شد و میانگین آن‌ها ثبت گردید.

در نهایت، پس از حذف حاشیه، بوته‌های موجود در سطحی معادل پنج مترمربع از بخش مرکزی هر کرت برداشت شدند. بوته‌های برداشت‌شده به مدت سه روز جهت خشک شدن در معرض آفتاب قرار گرفتند و پس از محاسبه عملکرد بیولوژیک (هواخشک) (Ahmad et al., 2025)، تفکیک دانه‌ها از کاه و کلش به صورت دستی انجام شد. دانه‌های جداساده جهت تثبیت وزن به مدت ۷۲ ساعت در آون با دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به بیولوژیک به دست آمد.

در انتهای آزمایش، به منظور تعیین خصوصیات جوانه‌زنی بذور تولیدشده در آزمون جوانه‌زنی استاندارد، از هر کرت به صورت تصادفی یک نمونه بذر جدا شد. پس از ضدعفونی با استفاده از محلول سدیم هیپوکلریت یک درصد، تعداد ۲۰ عدد بذر درون پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر محتوی پنج میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند و پس از بستن درب پتری‌دیش‌ها با پارافیل، به ژرمیناتوری با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تناوب نوری ۱۲ ساعت (روشنایی و تاریکی) منتقل شدند. ارزیابی بذرهای جوانه‌زده هر ۲۴ ساعت یک‌بار به مدت ۱۰ روز صورت گرفت. بذوری که ریشه‌چه آن‌ها به اندازه دو میلی‌متر و بیشتر از بذر خارج شده بود به عنوان بذور جوانه‌زده مدنظر قرار گرفت (Soltani et al., 2006). در نهایت، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی (Maguire, 1962) محاسبه شد. در ادامه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با

۱۰۰ میلی مولار سولفات آهن دیده شد (جدول ۳). در بین اجزای عملکرد، تنها تعداد غلاف در بوته تفاوت معنی داری بین سطوح هیدروپرایم و عدم پرایم نشان داد و تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه گیاهان حاصل از بذر هیدروپرایم شده با بذر بدون پرایم تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۳)، بیشترین تأثیر پرایمینگ تغذیه ای بذر بر صفت تعداد غلاف در بوته مشاهده شد که احتمالاً متأثر از تعداد شاخه بیشتر است. تعداد غلاف در بوته در غلظت ۵۰ میلی مولار سولفات روی و سولفات آهن به ترتیب افزایش ۳۴ و ۵۶ درصدی نسبت به بذر پرایم نشده نشان داد. این افزایش برای تعداد دانه در غلاف به ترتیب ۲۰/۶ و ۱۲/۵ درصد و برای وزن دانه به ترتیب ۷ و ۱۹ درصد بود (جدول ۳).

پرایمینگ بذر، رشد ریشه را بهبود بخشیده و در نتیجه جذب عناصر غذایی و آب را افزایش می دهد و منجر به بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد می شود (Rehman et al., 2021). در عدس دیده شده است که کمبود روی باعث کاهش اندازه بساک ها، ظرفیت تولید گرده و اندازه و قوه نامیه دانه های گرده و منجر به کاهش تشکیل دانه ها و قوه نامیه آن ها نیز می شود (Pandey et al., 2006) که دلیل آن تا حدی ناشی از اثر این عنصر بر فرآیند رشد زایشی و افزایش تولید کربوهیدرات و پروتئین است (Rengel et al., 2023) که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر همبستگی دارد. از سوی دیگر، افزایش فعالیت مخزن در گیاهان پرایم شده نسبت به گیاهان بدون پرایم نیز یکی دیگر از عوامل بهبود عملکرد و وزن هزار دانه است (Aboutalebian & Mohagheghi, 2015).

نیز عاملی جهت بهبود رشد گیاه و در نهایت افزایش ارتفاع است (Heidarzade et al., 2016). افزایش غلظت آهن همچنین موجب افزایش سنتز کارتنوئیدها می شود که نقش حفاظتی برای گیاه در برابر رادیکال های آزاد اکسیژن داشته و مانع تخریب کلروفیل می شود (Roosta & Jafari, 2017). بر طبق نتایج کوشکی و همکاران (Kooshki et al., 2014)، به نظر می رسد که محلول پاشی روی می تواند سبب افزایش نسبی تعداد شاخه های فرعی گیاه شود و از این رو به ویژه در شرایط تنک بودن مزرعه، می تواند تأثیرات مثبتی بر روی عملکرد به جا بگذارد.

اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه)

تعداد غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه تحت تأثیر معنی دار اثرات اصلی پرایمینگ بذر و محلول پاشی قرار گرفتند، در حالی که اثر متقابل این تیمارها بر هیچ یک از این صفات معنی دار نشد (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته و نیز وزن ۱۰۰ دانه با اختلاف قابل توجهی با سایر تیمارها، در شرایط پرایم بذر با غلظت ۵۰ میلی مولار سولفات آهن حاصل شد. بالاترین تعداد دانه در غلاف به ترتیب با کاربرد ۵۰ میلی مولار سولفات روی و سولفات آهن به دست آمد (جدول ۳). افزایش غلظت هر دو ماده پرایمینگ از ۵۰ به ۱۰۰ میلی مولار، کاهش این اجزای عملکرد را در پی داشت، به نحوی که برخلاف روند مقادیر حداکثر، کمترین میزان تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه در پرایمینگ با غلظت ۱۰۰ میلی مولار سولفات روی و کمترین میزان تعداد دانه در غلاف در پرایم با غلظت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد اندازه گیری عدس تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی و آهن
Table 2- Results of analysis of variance of measured traits of lentil plants as affected by seed priming and foliar spraying by zinc and iron sulfate

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه فرعی Axillary branches no.	تعداد غلاف در بوته Pods.plant ⁻¹	تعداد غلاف در متر مربع Pods.m ⁻²	تعداد دانه در غلاف Seeds.pod ⁻¹
بلوک Replication	2	46.13 ^{ns}	58.38 ^{**}	571.79 ^{**}	13917724.75 ^{**}	0.02 ^{ns}
پرایمینگ Priming (P)	5	94.70 ^{**}	39.21 ^{**}	1209.19 ^{**}	83712883.86 [*]	0.55 ^{**}
محلول پاشی Foliar spray (F)	3	326.52 ^{**}	85.19 ^{**}	3465.16 ^{**}	206960346.8 ^{**}	0.52 ^{**}
پرایمینگ × محلول پاشی P × F	15	15.63 ^{ns}	7.28 ^{ns}	57.50 ^{ns}	3346385.53 ^{ns}	0.06 ^{ns}
خطا Error	46	16.24	5.05	31.01	17073736.53	0.09
ضریب تغییرات CV%		15	27.76	14.97	16.75	15.59

ادامه جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد اندازه گیری عدس تحت تأثیر تیمارهای پرایمینگ و محلول پاشی سولفات روی و آهن

Table 2- Results of analysis of variance of measured traits of lentil plants as affected by seed priming and foliar spraying by zinc and iron sulfate, continued

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		وزن ۱۰۰ دانه 100-seeds Weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Replication	2	0.03 ^{ns}	571129.82 ^{ns}	173671.42 ^{ns}	114.63 ^{ns}
پرایمینگ Priming (P)	5	0.47 ^{**}	14082965.63 ^{**}	83985973.03 ^{**}	327.10 ^{**}
محلول‌پاشی Foliar spray (F)	3	1.29 ^{**}	25619516.7 ^{**}	109655305.9 ^{**}	664.33 ^{**}
پرایمینگ × محلول‌پاشی P × F	15	0.07 ^{ns}	1548149.20 ^{**}	2628728.29 ^{**}	77.77 ^{ns}
خطا Error	46	0.05	249894.38	555489.83	61.86
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		14.26	24.39	11.97	25.83

^{ns}، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

درصدی تعداد دانه در غلاف و ۴۷/۳۴ و ۲۹/۹۸ درصدی وزن ۱۰۰ دانه نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی شد. در کل به نظر می‌رسد که هم محلول‌پاشی گیاه با آهن و روی (جدول ۴) و هم پرایمینگ (جدول ۳) بیشترین اثر را به ترتیب بر تعداد غلاف در بوته و وزن دانه گذاشتند. یکی از عوامل اصلی مؤثر بر عملکرد حبوبات، تعداد غلاف در گیاه است و در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شده است که محلول‌پاشی روی و آهن تأثیر قابل توجهی بر تعداد غلاف‌های تولیدشده توسط گیاه داشتند (Usman et al., 2023). افزایش تعداد دانه در اثر محلول‌پاشی با آهن و روی احتمالاً ناشی از بهبود گرده‌افشانی و افزایش توان تولید و اختصاص مواد فتوسنتزی کافی برای حفظ و در ادامه رشد اجزای عملکرد است (Rengel et al., 2023)؛ در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده شده است که تعداد دانه گیاهان زراعی تحت تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی قرار گرفته و به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش نشان داد (Shabanzadeh & Galavi, 2011; Ghaffari Malayeri et al., 2012). افزایش وزن هزار دانه از طریق مصرف ریزمغذی نیز در گیاهان زراعی متعددی همچون سویا (Heidarian et al., 2011)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Kamaraki & Galavi, 2012) و ذرت (Ghaffari Malayeri et al., 2012) گزارش شده است.

افزایش غلظت پرایم سولفات آهن و روی از سطح ۵۰ به سطح ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب موجب کاهش ۲۵/۲۲ و ۲۱/۶۷ درصدی در وزن ۱۰۰ دانه گردید (جدول ۳). در تحقیق دیگر، کاربرد سولفات روی موجب افزایش وزن هزار دانه به میزان ۸/۲ درصد نسبت به شاهد شد (Asadi & Malakouti, 2004). توکلو (Toklu, 2015) گزارش کرد که تیمار بذور عدس با سولفات روی درصد موجب بهبود سبز شدن، عملکرد و اجزای عملکرد عدس گردید. یکی از علل اصلی اثرات منفی غلظت‌های بالای آهن و بروز سمیت آن، تجمع سریع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ناشی از تجمع رادیکال هیدروکسیل مضر (OH^{*}) است که هنگام وجود آهن آزاد در سلول‌های زنده تولید شده و ضمن تأثیرگذاری بر تجمع مواد در بذر، حتی می‌تواند موجب سقط دانه شود (Sun et al., 2021).

در بین سطوح تیمار محلول‌پاشی، کمترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه در شرایط بدون محلول‌پاشی حاصل شد. بیشترین مقادیر تعداد غلاف و وزن دانه در شرایط محلول‌پاشی با سولفات آهن و بیشترین تعداد دانه در غلاف از محلول‌پاشی سولفات روی حاصل شد که البته تفاوت معنی‌داری با سولفات آهن نداشت (جدول ۴).

محلول‌پاشی با سولفات آهن و روی به ترتیب موجب افزایش ۱۵۱/۷ و ۹۵/۶ درصدی تعداد غلاف در بوته، افزایش ۲۴/۶ و ۳۳/۱

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مختلف عدس تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف پرایمینگ بذر

Table 3- Mean comparison of the different lentil traits as affected by the different levels of seed priming

صفات Traits	سطوح تیمار پرایمینگ بذر Seed priming levels					
	بدون پرایم No-prime	هیدروپرایم Hydroprime	سولفات روی Zinc sulfate		سولفات آهن Iron sulfate	
			50 mM	100 mM	50 mM	100 mM
ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	26.26 ^{bc*}	28.27 ^{ab}	28.85 ^{ab}	22.81 ^d	30.33 ^a	24.68 ^{cd}
تعداد شاخه فرعی Axillary branch no.	7.00 ^{bc}	8.33 ^{bc}	8.83 ^b	6.50 ^c	11.25 ^a	6.67 ^c
تعداد غلاف در بوته Pods.plant ⁻¹	33.33 ^d	38.67 ^c	44.67 ^b	24.50 ^e	52.00 ^a	30.08 ^d
تعداد دانه در غلاف Seeds.pod ⁻¹	1.36 ^b	1.38 ^b	1.64 ^a	1.36 ^b	1.53 ^{ab}	1.01 ^c
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seeds weight (g)	1.58 ^{bc}	1.60 ^b	1.69 ^b	1.33 ^d	1.88 ^a	1.41 ^{cd}
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	1743.14 ^b	1838.89 ^b	3295.00 ^a	919.71 ^c	3436.08 ^a	1059.85 ^c
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)	6219.83 ^c	6659.72 ^c	7613.21 ^b	2833.00 ^e	10187.08 ^a	3842.93 ^d
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	26.59 ^b	26.64 ^b	39.47 ^a	32.18 ^b	31.86 ^b	25.92 ^b

* در هر ردیف، حروف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است.

* In each row, common letters means no significant difference.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مختلف عدس تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف محلول پاشی

Table 4- Mean comparison of the different lentil traits as affected by different levels of foliar spraying

صفات Traits	تیمارهای محلول پاشی Foliar spray			
	بدون محلول پاشی No foliar spray	آب تصفیه شده Purified water	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات آهن Iron sulfate
ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	21.80 ^{c*}	25.02 ^b	29.47 ^a	31.17 ^a
تعداد شاخه فرعی Axillary branch no.	5.67 ^c	7.11 ^c	8.94 ^b	10.67 ^a
تعداد غلاف در بوته Pods.plant ⁻¹	21.39 ^d	31.78 ^c	41.83 ^b	53.83 ^a
تعداد دانه در غلاف Seeds.pod ⁻¹	1.18 ^c	1.31 ^{bc}	1.57 ^a	1.47 ^{ab}
وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seeds weight (g)	1.29 ^d	1.45 ^c	1.68 ^b	1.91 ^a
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	719.31 ^c	1373.12 ^b	2917.88 ^a	3184.81 ^a
عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)	3506.53 ^d	4829.10 ^c	7805.90 ^b	8762.32 ^a
شاخص برداشت Harvest index	22.85 ^c	28.23 ^b	35.30 ^a	35.40 ^a

* در هر ردیف، حروف مشترک، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است.

* In each row, common letters means no significant difference.

در تحقیق حاضر، عنصر آهن نسبت به عنصر روی تأثیر بیشتری در افزایش وزن دانه داشت (جدول ۳ و ۴) که احتمالاً به دلیل نقش آن در تشکیل دانه از طریق اثرگذاری بر جنین‌زایی و نمو جنین (Grillet et al., 2014) و افزایش وزن دانه از طریق کمک به ماده‌سازی و تولید کربوهیدرات و پروتئین دانه است (Razmjoo & Ghafari, 2015). در گندم نیز یک افزایش وزن هزار دانه در شرایط کاربرد مجزا و یا ترکیبی عناصر آهن، روی و منگنز دیده شده است (Pourjamshid, 2021).

چنین بیان شده که در واکنش به مصرف عناصر ریزمغذی، مقدار کلروفیل برگ‌ها، میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن در واحد سطح برگ افزایش می‌یابد (Amanullah et al., 2012; Mehrotra et al., 2022). بدیهی است که افزایش توان منبع و میزان مواد فتوسنتزی تولیدی در نهایت موجبات بهبود وزن هزار دانه و عملکرد دانه را فراهم می‌کند (Wu et al., 2022).

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای پرایمینگ و محلول‌پاشی و نیز اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که پرایمینگ با آهن و روی تنها در غلظت‌های پایین (۵۰ میلی‌مولار در این آزمایش) مؤثر بود و افزایش غلظت ماده پرایمینگ از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار منجر به تولید کمترین میزان عملکرد دانه گردید (جدول ۳). هیدروپرایم نیز برتری معنی‌داری نسبت به بذر خشک (عدم پرایمینگ) از نظر تولید عملکرد نداشت (جدول ۳، شکل ۱). مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی بر عملکرد دانه عدس نشان داد که محلول‌پاشی با سولفات آهن و روی سبب حصول بیشترین عملکرد دانه نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی و محلول‌پاشی با آب شدند (جدول ۴).

مشهودترین اثر محلول‌پاشی در ترکیب پرایم بذر با غلظت‌های پایین سولفات آهن و روی بود و بیشترین عملکرد دانه در ترکیب سطوح تیماری محلول‌پاشی آهن و یا روی بر گیاهان حاصل از بذور پرایم‌شده با غلظت ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و یا روی به دست آمد (شکل ۱). در سطح پرایمینگ با ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و روی، محلول‌پاشی با سولفات آهن به‌ترتیب ۱/۹ و ۱/۹۹ برابر و محلول‌پاشی با سولفات روی به‌ترتیب ۲/۱۱ و ۲/۰۹ برابر عملکرد دانه را نسبت به محلول‌پاشی با آب بهبود بخشیدند (شکل ۱). این در حالی است که پرایمینگ با غلظت بالاتر آهن و روی (۱۰۰ میلی‌مولار) منجر به کمترین سطح عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط عدم محلول‌پاشی شد. در همین بالاترین غلظت پرایمینگ آهن و روی، محلول‌پاشی با این عناصر توانست تا حدی عملکرد را بهبود بخشد، با این‌وجود حتی در ترکیب محلول‌پاشی با هر یک از این دو عنصر و پرایمینگ با ۱۰۰

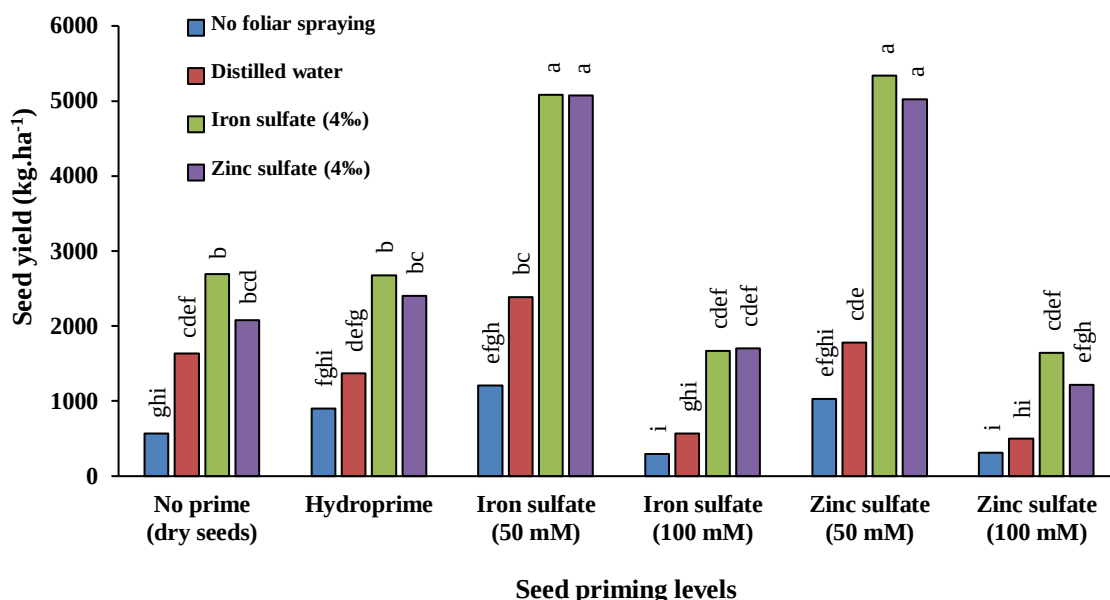
میلی‌مولار نیز عملکرد کمتر از محلول‌پاشی در شرایط عدم پرایم و هیدروپرایم بود که نشان می‌دهد احتمالاً اثرات منفی پرایمینگ با غلظت بالای عناصر روی و آهن بر رشد اولیه گیاهچه شدیدتر بوده و در چنین شرایطی گیاهان قادر به بازیابی کامل خود نمی‌باشند (شکل ۱). با توجه به این نتایج، نمی‌توان استفاده از غلظت‌های ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات آهن و روی را برای پرایمینگ بذر توصیه نمود، اگرچه در همه سطوح پرایمینگ بذر، محلول‌پاشی توانست سبب بهبود عملکرد دانه شود. آهن و روی در اعمال متابولیکی مهمی نقش دارند که بر عملکرد مؤثرند. به‌طور خاص، روی و آهن نقش مهمی در محتوای کلروفیل برگ و فتوسنتز گیاه دارند. آهن تقریباً در تمام اجزای زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست‌ها وجود دارد و تا ۸۰ درصد آهن موجود در برگ‌ها در کلروپلاست‌ها یافت می‌شود و کمبود آن به‌شدت بازدارنده فتوسنتز در برگ‌ها است (Nam et al., 2021). همچنین در گیاهان دچار کمبود روی، کلروپلاست‌ها متورم شده و تغییر شکل می‌دهند، محتوای کلروفیل کاهش می‌یابد و فعالیت فتوسیستم II بازداشته می‌شود (Zhang et al., 2019). (بنابراین در نتیجه کاربرد این عناصر، میزان فتوسنتز و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن در واحد سطح برگ بیشتر شده و در نهایت به بهبود عملکرد منجر می‌شود (Broadley et al., 2012). افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد را همچنین می‌توان به اثر مثبت پرایم در استقرار سریع‌تر و رشد بهتر گیاهچه، گسترش سطح برگ و غلظت کلروفیل و افزایش سرعت رشد گیاه (Haider et al., 2020; Mehrotra et al., 2022; Moradi & Siosemardeh, 2023) نسبت داد.

براساس پژوهش شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Galavi, 2011)، بیشترین عملکرد دانه در سطوح محلول‌پاشی آهن و مخلوط عناصر ریزمغذی و کمترین آن از شاهد به دست آمد. کاربرد عناصر ریزمغذی موجب بهبود سرعت فتوسنتز و افزودن به دوام سطح برگ، تولید کربوهیدرات‌ها و مواد پروتئینی در برگ‌ها و تسهیم و تجمع آن‌ها در دانه‌ها می‌شود (Fageria, 2016) و گمان می‌رود به همین دلیل است که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی همچون آهن باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Sun et al., 2021; Usman et al., 2023). از سوی دیگر، با توجه به برهم‌کنش عناصر ریزمغذی با یکدیگر، به نظر می‌رسد که تلفیق دو تیمار پرایم کردن و محلول‌پاشی سولفات روی از یک‌سو به افزایش تعداد دانه‌ها انجامیده و از سوی دیگر ظرفیت هر دانه را در جذب آسیمیلات‌های عرضه‌شده افزایش می‌دهد (Asadi & Malakouti, 2004). به نظر می‌رسد که گیاهان حاصل از بذور پرایم‌شده با داشتن ریشه گسترده‌تر، درصد جذب روی بیش‌تری از خاک دارند. همچنین بیان شده است که کاربرد عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت پرایم به علت تأثیر مثبت بر افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی باعث می‌شود که گیاه بهتر و بیشتر از

گیاه، کاهش رشد، عملکرد و تأثیر منفی بر سلامت کلی گیاه شده و ضمن اینکه بر جنبه‌های مختلف رشدونمو گیاهان تأثیر منفی می‌گذارد، می‌تواند عملکرد محصولات زراعی را تا ۷۸ درصد کاهش دهد (Harish et al., 2023). علاوه بر این، محتوای بالای روی اثرات سمی بر گیاهان دارد و منجر به سرکوب تقسیم و طویل شدن سلولی می‌شود و بر تولید زیست‌توده تأثیر منفی می‌گذارد (Tsonev & Lidon, 2012). غلظت‌های بالای این عناصر همچنین می‌تواند اثرات نامطلوبی بر جذب و تعادل سایر عناصر غذایی حیاتی در گیاهان داشته باشد (Vasilachi et al., 2023).

شرایط محیطی استفاده کند و سرعت رشد محصول افزایش یابد (Badiri, 2013). نتایج حاصل با تحقیقات انجام گرفته توسط حیدریان و همکاران (Heidarian et al., 2011) در سویا، غفاری ملایری و همکاران (Ghaffari Malayeri et al., 2012) در ذرت، و کمرکی و گلوی (Kamaraki & Galavi, 2012) در گلرنگ مطابقت دارد.

با تمام این تفاسیل، همان‌طور که پیش از این اشاره شد، به نظر می‌رسد که برآیند اثرات منفی غلظت‌های بالای مواد پرایم بر صفات رشدی و اجزای عملکرد (جدول ۳) در نهایت در افت شدید عملکرد دانه در این غلظت‌ها نمود پیدا کرده است. ثابت شده است که جذب بیش از حد آهن می‌تواند منجر به سمیت آهن، آسیب به غشاء سلولی



شکل ۱- مقایسه عملکرد دانه عدس تحت تأثیر برهم‌کنش سطوح مختلف تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول پاشی
Figure 1- Comparison of lentil seed yield as affected by the interaction of different levels of seed priming and plant foliar spray treatments

حروف نامشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.
Different letters on the bars indicate a significant difference at the 5% level.

همانند عملکرد دانه، کمترین میزان عملکرد بیولوژیک در ترکیب تیماری پرایمینگ با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار هر دو عنصر، در شرایط عدم محلول پاشی مشاهده شد (شکل ۲)، همان‌طور که در خصوص عملکرد دانه گفته شد، بیشتر نشانگر اثرات منفی غلظت‌های بالای این عناصر است (جدول ۳)، به‌نحوی که با افزایش سطح کاربرد سولفات آهن و روی از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۶۲/۲۸ و ۶۲/۷۹ درصد کاهش نشان داد. در شرایط محلول پاشی با سولفات آهن، پرایمینگ بذور با ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و روی به‌ترتیب موجب افزایش ۶۶/۹۶ و ۳۲/۴۰ درصدی و در

عملکرد بیولوژیک

بر طبق نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، عملکرد بیولوژیک (هواخشک) تحت تأثیر تمام اثرات ساده و اثر متقابل تیمارها قرار گرفت. بیشترین عملکردهای بیولوژیک به‌ترتیب در ترکیب تیماری پرایمینگ با ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و سولفات روی همراه با محلول پاشی با سولفات آهن حاصل شد. به عبارت دیگر، برخلاف عملکرد دانه، گیاهان حاصل از بذرهای پرایم‌شده با غلظت ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و یا روی، در شرایط محلول پاشی با سولفات آهن نسبت به سولفات روی برتری نشان دادند (شکل ۲). همچنین

(به‌ویژه میزان پروتئین، روی، آهن و منگنز) گندم شد، احتمالاً به این دلیل که این عناصر با افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، موجب بهبود فتوسنتز و در نهایت تولید ماده خشک و عملکرد بیش‌تر می‌شوند.

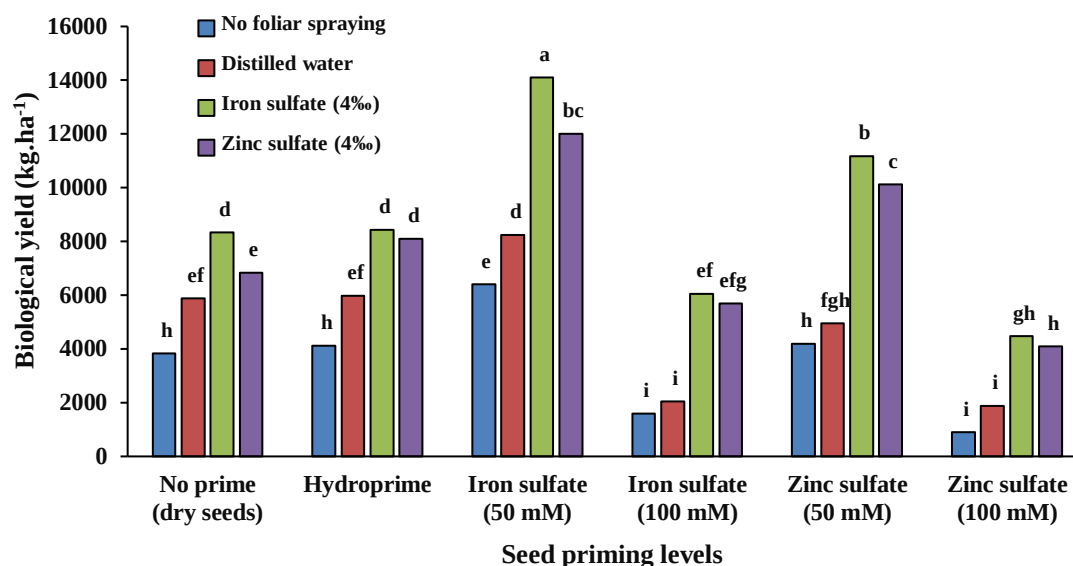
شاخص برداشت

شاخص برداشت تنها تحت تأثیر اثرات ساده پرایمینگ بذور و محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). روند تأثیرپذیری شاخص برداشت از سطوح پرایمینگ تا حدی متفاوت از عملکردهای بیولوژیک و دانه بود، به‌نحوی که بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت به‌ترتیب در سطوح پرایم با ۵۰ میلی‌مولار سولفات روی و ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات آهن مشاهده شد (جدول ۳). با افزایش میزان کاربرد سولفات آهن و روی از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌مولار، شاخص برداشت ۱۸/۶۴ و ۱۸/۴۸ درصد کاهش یافت (جدول ۳). وزن دانه به‌هنگام برداشت تابعی از تسهیم مواد فتوسنتزی، از فتوسنتز جاری یا از انتقال مجدد، در طول پُر شدن دانه است. تسریع در مراحل نمو و بهبود رشد گیاه در اثر پیش‌تیمار بذور ممکن است زمان بیشتری را برای انتقال و ذخیره مواد پرورده در اختیار دانه قرار داده و همچنین ضریب انتقال مجدد مواد به دانه را افزایش دهد و بدین ترتیب موجب افزایش شاخص برداشت شود (Farooq et al., 2012). در ذرت نیز پرایم کردن با محلول سولفات روی، شاخص برداشت را به‌صورت معنی‌داری افزایش داده است (Musavi et al., 2012).

محلول‌پاشی با آب موجب افزایش ۲۳/۵ درصدی شاخص برداشت شد و تفاوت معنی‌داری بین شاخص برداشت در سطوح محلول‌پاشی با سولفات روی و آهن مشاهده نشد. به‌طور کلی، شاخص برداشت در شرایط محلول‌پاشی با سولفات آهن و سولفات روی به‌طور متوسط حدود ۵۵ درصد در مقایسه با شرایط عدم محلول‌پاشی و حدود ۲۵ درصد در مقایسه با محلول‌پاشی با آب افزایش نشان داد (جدول ۴). در تحقیق شعبان زاده و گلوی (Shabanzadeh & Galavi, 2011) نیز بالاترین شاخص برداشت از تیمار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و کمترین آن از شاهد به دست آمد و اختلاف بین تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی، بور و آهن از نظر آماری معنی‌دار نبود. در پنبه نیز اثرات مثبت محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت گزارش شده است.

محلول‌پاشی با سولفات روی در همین سطح پرایمینگ به‌ترتیب موجب افزایش ۴۸/۱۱ و ۲۵/۱۱ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد هیدروپرایم گردید؛ هرچند در زمان پرایمینگ بذور با ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات آهن و روی، محلول‌پاشی با سولفات آهن موجب کاهش ۲۸/۲۸ و ۴۷/۰۱ درصدی و محلول‌پاشی با سولفات روی موجب کاهش ۲۹/۸۲ و ۴۹/۵۷ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد آب شد (شکل ۲)؛ با وجود این، حتی در همین غلظت‌های بالای پرایمینگ نیز محلول‌پاشی با عناصر آهن و روی موجب بازیابی عملکرد بیولوژیک شد، به‌نحوی که در شرایط پرایم با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات آهن، محلول‌پاشی با سولفات آهن و روی به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک را ۲۷۹/۵ و ۲۵۶/۳ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی افزایش دادند. این مقادیر در شرایط پرایم با غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار سولفات روی به‌ترتیب ۳۹۹/۰ و ۳۵۵/۷ درصد افزایش یافتند که اثرگذاری قابل توجه محلول‌پاشی را نشان می‌دهد (شکل ۲). همچنین در اغلب موارد، تفاوت چندانی بین هیدروپرایمینگ و شرایط عدم پرایم مشاهده نشد (جدول ۳، شکل ۲) که نشان می‌دهد اثرات مثبت پرایمینگ تغذیه‌ای بیشتر ناشی از خود عناصر به‌کاررفته است، نه عمل پرایم با آب. همچنین هر دو تیمار هیدروپرایم و عدم پرایم به‌تنهایی (جدول ۳) و یا در ترکیب با محلول‌پاشی (شکل ۲) نسبت به پرایمینگ با غلظت‌های بالای دو عنصر برتری نشان دادند. تأثیر نسبی بالاتر کاربرد آهن نسبت به روی در سطوح محلول‌پاشی ترکیب سولفات این عناصر نیز مشاهده شد (جدول ۴)، به‌نحوی که در نتیجه محلول‌پاشی با سولفات آهن و روی، عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۲/۵ و ۲/۲۳ برابر نسبت به شرایط بدون محلول‌پاشی افزایش یافت که این مورد می‌تواند از بهبود ویژگی‌های رویشی و افزایش اجزای مهم و تأثیرگذار در عملکرد گیاه (جدول ۴) منشأ گرفته باشد.

کمبود عناصر ریزمغذی همچون روی و آهن سبب کاهش غلظت کلروفیل و فعالیت ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز و در نهایت افت شدید فتوسنتز و به‌دنبال آن کاهش وزن خشک گیاهان می‌گردد (Fageria, 2016)، همان‌طور که در این آزمایش نیز کمترین عملکرد بیولوژیکی در شاهد عدم محلول‌پاشی این عناصر به دست آمد (جدول ۴). نتایج مشابهی در زیره (Sayyari Zahan et al., 2024) گلرنگ (Kamaraki & Galavi, 2012) و عدس (Dhaliwal et al., 2021) مشاهده شده است. مارالیان و همکاران (Maralian et al., 2012) گزارش کردند که محلول‌پاشی آهن و روی سبب بهبود صفات زراعی (مانند تعداد پنجه، تعداد پنجه بارور و عملکرد) و افزایش کیفیت دانه



شکل ۲- مقایسه عملکرد بیولوژیک (هواخشک) عدس تحت تأثیر برهم کنش سطوح مختلف تیمارهای پرایمینگ بذر و محلول پاشی
Figure 2- Comparison of lentil biological yield (air-dried) as affected by the interaction of different levels of seed priming and plant foliar spray treatments

حروف نامشابه روی ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است.
Different letters on the bars indicate a significant difference at the 5% level.

آزمون جوانه‌زنی بذرهای برداشت‌شده

بر طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر تمامی صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذور حاصل معنی‌دار شد (جدول ۵). با توجه به اینکه محلول پاشی در طی فصل رشد دیرتر نسبت به پرایمینگ و در مراحل آغازین رشد زایشی صورت گرفته است، دور از انتظار نبود که در خصوصیات بذور تولیدی و بنیه آن‌ها مؤثرتر بوده باشد.

به‌طور کلی، ترتیب اثرگذاری سطوح محلول پاشی بر صفات جوانه‌زنی و رشد گیاهچه به‌ترتیب سولفات آهن < سولفات روی < آب < بدون محلول پاشی بود (جدول ۶). محلول پاشی با سولفات آهن به‌ترتیب موجب افزایش ۳۹/۱۱ و ۳۳/۱۶ درصدی درصد و سرعت جوانه‌زنی، ۵۴/۴۸ درصدی شاخص طولی بنیه بذر، ۳۰/۹۹ درصدی طول ریشه‌چه، ۳۰/۵۴ درصدی طول ساقه‌چه و ۱۸/۱۵ درصدی وزن خشک گیاهچه نسبت به شاهد بدون محلول پاشی گردید. تنها در صفت طول ساقه‌چه، اختلاف معنی‌داری بین کاربرد سولفات آهن و روی مشاهده نشد، ولی در بقیه صفات این اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۶). چنین تأثیر مثبتی از محلول پاشی بر صفات گیاه و بذرهای حاصل تا حدی می‌تواند ناشی از محدودیت جذب عناصر، به‌ویژه از طریق جریان توده‌ای، در شرایط محدودیت رطوبت مانند شرایط دیم مطالعه حاضر باشد؛ به‌ویژه اینکه جریان توده‌ای وابستگی زیادی به

مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، جذب عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند منفی نشان می‌دهد (Taiz et al., 2015) و عرضه این عناصر از طریق محلول پاشی می‌تواند این نقصان را جبران نماید، زیرا دیده شده است که محلول پاشی عناصر ریز مغذی سبب افزایش غلظت این عناصر در بافت گیاه شده (Moradi & Siosemardeh, 2023) و می‌تواند غلظت این عناصر در دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دهد (Saeidi et al., 2015). گمان می‌رود که وجود غلظت‌های بالاتر این عناصر در بذر با تأمین نیازهای متابولیسمی گیاه، سبب می‌شود تا گیاهچه‌های قوی‌تری تولید شوند؛ از همین رو محلول پاشی با عناصر ریز مغذی می‌تواند بر جوانه‌زنی و بنیه بذرهای تولیدی نیز مؤثر باشد (Mahlooji & Jenab, 2021)، مطابق با آنچه در این آزمایش نیز دیده شد. محلول پاشی گیاهان با عناصر غذایی مورد نیاز گیاه احتمالاً سلامت کلی و قدرت گیاه مادری را بهبود می‌بخشند که خود می‌تواند منجر به بهبود کیفیت بذر، از جمله ذخایر بیشتر مواد مغذی در بذر که برای جوانه‌زنی موفق و رشد اولیه گیاهچه‌ها حیاتی هستند، شود. علاوه بر این، ریز مغذی‌ها ممکن است بر فرآیندهای فیزیولوژیکی بذر تأثیر بگذارند و از این طریق سرعت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه را افزایش دهند (Boonchuay et al., 2013; Saleem et al., 2023).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذور عدس حاصل از گیاهان تیمار شده با پرایمینگ تغذیه‌ای و محلول‌پاشی سولفات روی و آهن

Table 5- Results of analysis of variance of traits related to germination of lentil seeds from parental plants treated with nutritional priming and foliar spraying by zinc and iron sulfate

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص طولی بنيه Longitudinal vigour index	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Epicotyl length	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
پرایمینگ Priming (P)	5	44.8889 ^{ns}	20.7133 ^{ns}	9055.6289 ^{ns}	0.0593 ^{ns}	0.1008 ^{ns}	0.00002 ^{ns}
محلول‌پاشی Foliar spray (F)	3	2469.3333 ^{**}	795.2881 ^{**}	594795.2207 ^{**}	8.2928 ^{**}	7.4005 ^{**}	0.0003 ^{**}
پرایمینگ × محلول‌پاشی P × F	15	24.8000 ^{ns}	13.7828 ^{ns}	4431.4790 ^{ns}	0.0484 ^{ns}	0.0112 ^{ns}	0.00001 ^{ns}
خطا Error	46	89.7222	31.3315	7760.8678	0.1507	0.2126	0.00002
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		13.70	15.21	15.29	8.57	12.63	17.22

^{ns}, *, ** : به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

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

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مرتبط با جوانه‌زنی بذور عدس حاصل از گیاهان مادری تیمار شده با سطوح محلول‌پاشی سولفات روی و آهن

Table 6- Mean comparison of traits related to the germination of seeds harvested from parental plants treated with foliar spraying by zinc and iron sulfate

صفات Traits	تیمارهای محلول‌پاشی Foliar spray			
	بدون محلول‌پاشی No foliar spray	آب Distilled water	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات آهن Iron sulfate
درصد جوانه‌زنی (%) Germination percentage (%)	53.78 ^{d*}	67.33 ^c	74.43 ^b	81.33 ^a
سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed.day ⁻¹)	30.21 ^c	32.97 ^c	38.81 ^b	45.20 ^a
شاخص طولی بنيه Longitudinal vigour index	354.73 ^d	519.84 ^c	651.40 ^b	779.31 ^a
طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	3.63 ^c	4.50 ^b	4.71 ^b	5.26 ^a
طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Epicotyl length (cm)	2.98 ^b	3.23 ^b	4.09 ^a	4.29 ^a
وزن خشک گیاهچه (میلی‌گرم) Seedling dry weight (mg)	23.8 ^c	27.0 ^{bc}	30.2 ^b	33.6 ^a

* در هر ردیف، حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

* In each row, common letters means no significant difference.

نتیجه‌گیری

در تعداد غلاف در بوته ایجاد کردند، درحالی‌که تغذیه دیرتر این عناصر از طریق محلول‌پاشی، بیشترین اثر را بر روی وزن دانه داشت. انتخاب غلظت مناسب این مواد (۵۰ میلی‌مولار) و کاربرد آن در زمان مناسب، نقش مؤثری بر افزایش صفات رویشی و زایشی گیاه زراعی عدس

در این تحقیق در اکثر صفات، هیدروپرایم اختلاف معنی‌داری با عدم پرایمینگ نداشت و پرایمینگ با سولفات آهن و روی از طریق بهبود ارتفاع و تعداد شاخه جانبی، بیشترین افزایش در بین اجزای عملکرد را

گردید. محلول پاشی گیاهان مادری با سولفات آهن سبب شد که بذرهایی حاصله از توان رویش و بنیه بالاتری نیز برخوردار باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، به نظر می‌رسد که به کارگیری عملیاتی نظیر پرایمینگ تغذیه‌ای و محلول پاشی با ریزمغذی‌ها، راهکاری مناسب جهت بهبود رشد و تولید گیاه و نیز شاخص‌های جوانه‌زنی و استقرار بذر تولیدشده باشد.

داشت، درحالی‌که غلظت بالای ماده پرایمینگ (۱۰۰ میلی‌مولار) اثر عکس بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده داشت و از این رو باید در میزان مصرف این عناصر دقت شود. استفاده از غلظت ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن و یا سولفات روی به همراه محلول پاشی هر یک از این عناصر موجب بالاترین عملکرد دانه در عدس در شرایط دیم شد. همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک در ترکیب تیماری پرایمینگ با ۵۰ میلی‌مولار سولفات آهن به همراه محلول پاشی با همین عنصر حاصل

References

- Abdel-Motagally, F. M. F., Mahmoud, M. W. Sh., & Ahmed, E. M. (2016). Response of two peanut varieties to foliar spray of some micronutrients and sulphur application under east of El-Ewinat conditions. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 47(1), 14-30.
- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13(6), 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Aboutalebian, M. A., & Mohagheghi, A. (2015). Influence of different seed priming treatments on yield and yield components of lentil under terminal drought stress condition. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(15), 129-141. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.15.129>
- Adhikari, T., Kundu, S., & Rao, A. S. (2016). Zinc delivery to plants through seed coating with nano-zinc oxide particles. *Journal of Plant Nutrition*, 39(1), 136-146. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1087562>
- Ahmad, B., Rahim, H. U., Mian, I. A., & Ali, W. (2025). Synergistic biochar--nitrogen application enhances soil fertility and compensates for nutrient deficiency, improving wheat production in calcareous soil. *Sustainability*, 17(5), 2321. <https://doi.org/10.3390/su17052321>
- Alexander, R., Khaja, A., Debiec, N., Fazioli, A., Torrance, M., & Razzaque, M. S. (2024). Health-promoting benefits of lentils: Anti-inflammatory and anti-microbial effects. *Current Research in Physiology*, 7, 100124. <https://doi.org/10.1016/j.crphys.2024.100124>
- Amanullah, M. M., Archana, J., Manoharan, S., & Subramanian, K. S. (2012). Influence of iron and AM inoculation on metabolically active iron, chlorophyll content and yield of hybrid maize in calcareous soil. *Journal of Agronomy*, 11(1), 27-30. <https://doi.org/10.3923/ja.2012.27.30>
- Asadi, A., & Malakouti, M. J. (2004). Determination of zinc critical level and its effects on the yield of soybean. In: M. J. Malakouti & E. Sepehr (Eds.), *Balanced Nutrition of Oil Crops: An Approach Towards Self-Sufficiency in Oil*, Khaniran Press, Tehran, Iran. p. 379-390. (In Persian)
- Badiri, A. (2013). The effect of seed priming with micronutrients on germination, growth, and yield indices of the medicinal plant plantain (*Plantago major*). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Karaj Branch, Iran. (In Persian with English Abstract).
- Boonchuay, P., Cakmak, I., Rerkasem, B., & Prom-U-Thai, C. (2013). Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(2), 180-188. <https://doi.org/10.1080/00380768.2013.763382>
- Borowski, E., & Michalek, S. (2011). The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 10, 183-193.
- Broadley, M., Brown, P. I. C., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Function of nutrients: Micronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd ed. pp. 191-248. Elsevier.
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Mahmood, A., Chattha, M. U., Nawaz, M., Subhani, M. N., Kharal, M., & Khan, S. (2017). Biofortification of wheat cultivars to combat zinc deficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8, 281. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00281>
- Choukri, M., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Abd-Elkader, O. H., Pacioglu, O., Boufahja, F., & Bouriou, M. (2022). Zn application through seed priming improves productivity and grain nutritional quality of silage corn. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 103456. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103456>
- Dhaliwal, S. S., Sharma, V., Shukla, A. K., Kaur, J., Verma, V., Singh, P., Singh, H., Abdel-Hafez, S. H., Sayed, S., Gaber, A., Ali, R., & Hossain, A. (2021). Enrichment of zinc and iron micronutrients in lentil

- (*Lens culinaris* Medik.) through biofortification. *Molecules*, 26(24), 7671. <https://doi.org/10.3390/molecules26247671>
- Fageria, N. K. (2016). *The Use of Nutrients in Crop Plants*, (1st ed.). CRC Press, Boca Raton, USA. 448 p. <https://doi.org/10.1201/9781420075113>
- Farooq, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M., & Siddique, M. (2012). Micronutrient application through seed treatments - a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125-142. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011>
- Ghaffari Malayeri, M., Akbari, G. A., & Mohammadzadeh, A. (2012). Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2), 368-373. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v10i2.16239>
- Grillet, L., Mari, S., & Schmidt, W. (2014). Iron in seeds—Loading pathways and subcellular localization. *Frontiers in Plant Science*, 4, 535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00535>
- Hagigati Maleki, A., Attarilar, J., & Khorsandi, H. (2014). Effects of manganese sulfate application on seed yield of safflower genotypes under dryland conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 3(1), 33-39. (In Persian with English Abstract).
- Haider, M. U., Hussain, M., Farooq, M., & Nawaz, A. (2020). Optimizing zinc seed priming for improving the growth, yield and grain biofortification of mungbean (*Vigna radiata* (L.) wilczek). *Journal of Plant Nutrition*, 43(10), 1438-1446. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1730895>
- Harish, V., Aslam, S., Chouhan, S., Pratap, Y., & Lalotra, S. (2023). Iron toxicity in plants: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 1894-1900. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i82145>
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Ullah, A., Khan, I., Qadeer, A., Aamer, M., Khan, A. U., Nadeem, F., & Khan, T. A. (2019). Agronomic biofortification to improve productivity and grain Zn concentration of bread wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21, 615-620. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0936>
- Heidarian, A. R., Kord, H., Mostafavi, K., Lak, A. P., & Amini Mashhadi, F. (2011). Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* (L) Merr.) at different growth stages. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 3(9), 189-197.
- Heidarzade, A., Esmaeili, M., & Abbasi, R. (2016). Response of soybean to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 4(1), 37-46. [https://doi.org/10.18006/2015.4\(1\).37.46](https://doi.org/10.18006/2015.4(1).37.46)
- Hoseinpour Askarian, E., Abbasi Surki, A., & Danesh Shahraki, A. (2019). Effect of seed priming with ZnSO₄ and FeSO₄ on dormancy break optimization and germination traits of shallot (*Allium hirtifolium*). *Iranian Journal of Seed Research*, 6(1), 33-49. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.29252/yujs.6.1.33>
- Iranshahi, Sh., Sajedi, N. A., & Changizi, M. (2014, February 26). The effect of foliar spraying of nanoparticles and iron sulfate on the yield and yield components of pinto beans [Conference presentation]. 5th Iranian Pulses Symposium, Agricultural Campus, University of Tehran, Iran. (In Persian). https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/s_pdf/6791392H0590.pdf
- Jokar, L., Ronaghi, A., Karimian, N., & Ghasemi-Fasaei, R. (2015). Effects of different Fe levels from Fe-nano-chelate and Fe-EDDHA sources on growth and some nutrients concentrations in cowpea in a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 6(2), 9-19. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1394.6.2.2.3>
- Kamaraki, H., & Galavi, M. (2012). Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, 4(3), 201-206. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v4i3.15308>
- Kooshki, M. H., Kordi Bairanvand, Y., Jafarzadeh Sarkenari, M., & Beizae, E. (2014). Study of effect of foliar boron on yield and yield components of white bean promising lines [Conference presentation]. 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran, August 24-26. (In Persian)
- Kordi, S., Marsafari, M., Tahmasebi, Z., Shahkarami, G., Gerami, L., Taghizadeh, A. A., & Ghanbari, F. (2016). Effect of foliar application of zinc on yield, grain and straw protein of bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficit stress in Ilam weather conditions. *Applied Field Crops Research*, 29(2), 105-114. (In Persian with English Abstract).
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

- Mahlooji, M., & Jenab, M. (2021). Effect of water deficit stress and foliar application of maternal plant on germination characteristics of three barley (*Hordeum vulgare*) cultivars. *Iranian Journal of Seed Research*, 8(1), 137-150. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.52547/yujs.8.1.137>
- Maralian, H., Didar Taleshmikail, R., Shahbazi, K., & Torabi Giglou, M. (2012). Study of the effects of foliar application of Fe and Zn on wheat quality and quantity properties. *Agricultural Research*, 9(5), 47-60. (In Persian with English Abstract).
- Martínez-Ríos, O., Bravo-Vinaja, Á., San-Martín-Hernández, C., Hidalgo-Moreno, C. I., Sánchez-de-Jesús, M. A., Llampallas-Díaz, J. D., Santillan-Balderas, D. R., & García-Preciado, J. C. (2024). Zinc deficiency in calcareous soils: A bibliometric analysis from 1989 to 2024. *Agriculture*, 14(12), 2285. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122285>
- Mehraban, A. (2017). The effect of iron foliar application on yield, yield components and protein of lentil grain. *Vegetative Environmental Physiology*, 12(45), 27-37.
- Mehrotra, R., Verma, R. K., & Pal, A. (2022). Iron deficiency chlorosis in aromatic grasses—A review. *Environmental Challenges*, 9, 100646. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100646>
- Moaaz, A., Javed, M. T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, 10(11), 498. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110498>
- Moradi, L., & Siosemardeh, A. (2023). Combination of seed priming and nutrient foliar application improved physiological attributes, grain yield, and biofortification of rainfed wheat. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1287677. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1287677>
- Mousavi, S. R., Galavi, M., & Ahmadvand, G. (2007). Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(8), 1256-1260. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.1256.1260>
- Musavi, R., Aboutalebian, M. A., & Sepehri, A. (2012). The effects of on-farm seed priming and planting date on emergence characteristics, yield and yield components of a corn cultivar (SC. 260) in Hamedan. *Annals of Biological Research*, 3(9), 4427-4434.
- Nam, H. I., Shahzad, Z., Dorone, Y., Clowez, S., Zhao, K., Bouain, N., Lay-Pruitt, K. S., Cho, H., Rhee, S. Y., & Rouached, H. (2021). Interdependent iron and phosphorus availability controls photosynthesis through retrograde signaling. *Nature Communications*, 12, 7211. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27548-2>
- Pandey, N., Pathak, G. C., & Sharma, C. P. (2006). Zinc is critically required for pollen function and fertilisation in lentil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20(2), 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.09.006>
- Potarzycki, J., & Grzebisz, W. (2009). Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant, Soil and Environment*, 55(12), 519-527. <https://doi.org/10.17221/95/2009-PSE>
- Pourjamshid, S. A. (2021). Study the effect of iron, zinc and manganese foliar application on morphological and agronomic traits of bread wheat (Chamran cultivar) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 109-118. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2448.1643>
- Ray, H., Bett, K., Tar'an, B., Vandenberg, A., Thavarajah, D., & Warkentin, T. (2014). Mineral micronutrient content of cultivars of field pea, chickpea, common bean, and lentil grown in Saskatchewan, Canada. *Crop Science*, 54, 1698-1708. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.08.0568>
- Razmjoo, J., & Ghafari, H. (2015). Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 321-331. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.2.21.4>
- Rehman, A., Nadeem, F., & Farooq, M. (2021). Role of seed priming in root development and crop production. In Z. Rengel & I. Djalovic (Eds.), *The Root Systems in Sustainable Agricultural Intensification*. pp. 221-243. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119525417.ch8>
- Rengel, Z., Cakmak, I., & White, P. J. (2023). *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4th ed.). Academic Press. London, United Kingdom. 816 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00023-X>
- Roosta, H. R., & Jafari, H. (2017). Effect of different iron sources on the growth and physiological characteristics of two cultivars of lettuce in a hydroponic culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 8(1), 21-33. (In Persian with English Abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1396.8.1.6.9>
- Rudani, K., Patel, V., & Prajapati, K. (2018). The importance of zinc in plant growth - A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 5(2), 38-48. <https://www.aarf.asia/current/2018/Feb/p4TrUEdfPkzaxsI.pdf>

- Sadiqpoor, M. A., Aytekin, R. İ., Yavuz, C., & Çalışkan, S. (2025). Effect of different application methods of iron chelate (EDDHA Na Fe) on agronomic, yield, and quality characteristics of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 56(10), 1483--1499. <https://doi.org/10.1080/00103624.2025.2458734>
- Saeidi Aboueshaghi, R., & Yadavi, A. (2015). Effects of irrigation levels and foliar application with iron and zinc on quantitative and qualitative traits of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 6(1), 54-65. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.49008>
- Saleem, S., Mushtaq, N. U., Rasool, A., Shah, W. H., Tahir, I., & Rehman, R. U. (2023). Plant nutrition and soil fertility: Physiological and molecular avenues for crop improvement. In T. Aftab & K. R. Hakeem (Eds.), *Sustainable Plant Nutrition*. pp. 23-49. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18675-2.00009-2>
- Sayyari Zahan, M. H., Norozi, Z., & Mahmoodi, S. (2024). Biological yield and harvest index of *Cuminum cyminum* L. affected by diatomite foliar application [Conference presentation]. 2nd National Conference on Medicinal Plants, Entrepreneurship and Commercialization, University of Jiroft, Iran. (In Persian with English Abstract).
- Shabanzadeh, S., & Galavi, M. (2011). Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(1), 1-9. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2011.94>
- Shakeri, S., & Azadi, A. (2022). The effect of land use change on chemical forms and availability of iron and manganese in arid and semi-arid region of southwestern Iran. *Desert*, 27(1), 69-80. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2022.88510>
- Shakeri, S., & Saffari, M. (2019). Distribution of zinc and copper chemical forms and their relationship with some physico-chemical properties and clay minerals in some calcareous soils. *Iranian Agricultural Research*, 38(2), 71-82. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22099/iar.2020.34620.1362>
- Shoormij, F., Mirlohi, A., Saeidi, G., & Shirvani, M. (2022). Combined foliar application of Zn and Fe increases grain micronutrient concentrations and alleviates water stress across diverse wheat species and ploidal levels. *Scientific Reports*, 12, 20328. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24868-1>
- Soltani, A., Gholipoor, M., & Zeinali, E. (2006). Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 55(1-2), 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.10.012>
- Sun, L., Wei, Y. Q., Wu, K. H., Yan, J. Y., Xu, J. N., Wu, Y. R., Li, G. X., Xu, J. M., Harberd, N. P., Ding, Z. J., & Zheng, S. J. (2021). Restriction of iron loading into developing seeds by a YABBY transcription factor safeguards successful reproduction in *Arabidopsis*. *Molecular Plant*, 14(10), 1624-1639. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.06.005>
- Tahmasebi, R., Sajedi, N. A., & Shoaee, S. (2017). Evaluation effect of different solutions and seed priming treatments on germination, agronomic and quality characteristics of red bean genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 60-72. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.26145>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts U.S.A. 761p.
- Toklu, F. (2015). Effects of different priming treatments on seed germination properties, yield components and grain yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(1), 153-158. <https://doi.org/10.15835/nbha4319832>
- Tsonev, T., & Lidon, F. J. C. (2012). Zinc in plants—An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(4), 322-333.
- Umair Hassan, M., Aamer, M., Umer Chattha, M., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Guoqin, H. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture*, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
- Usman, M., Khalid, M. U., Soomro, M. A., Panhwar, S. A., Panhwar, A., Riaz, U., Iqbal, H. M. W., & Haq, I. U. (2023). Unlocking chickpea potential: Zinc and iron foliar treatments for enhanced growth and yield. *Plant Bulletin*, 2(2), 104-111. <https://doi.org/10.55627/pbulletin.002.02.0518>
- Vasilachi, I. C., Stoleru, V., & Gavrilescu, M. (2023). Analysis of heavy metal impacts on cereal crop growth and development in contaminated soils. *Agriculture*, 13(10), 1983. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101983>
- Wu, X. L., Liu, M., Li, C. S., McHugh, A. D. J., Li, M., Xiong, T., Liu, Y. B., & Tang, Y. L. (2022). Source-sink relations and responses to sink-source manipulations during grain filling in wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(6), 1593-1605. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63640-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63640-7)

- Yaseen, M., Ahmed, W., & Shahbaz, M. (2013). Role of foliar feeding of micronutrients in yield maximization of cotton in Punjab. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37(4), 420-429. <https://doi.org/10.3906/tar-1206-56>
- Zhang, J., Wang, S., Song, S., Xu, F., Pan, Y., & Wang, H. (2019). Transcriptomic and proteomic analyses reveal new insight into chlorophyll synthesis and chloroplast structure of maize leaves under zinc deficiency stress. *Journal of Proteomics*, 199, 123-134.



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.94275.1113>

Investigating the Morphological Variation in Cultivars and Lines of Lentil (*Lens* sp. Medik.) Based on the Agronomic Traits

Hajar Badri¹, Zahra Tahmasebi^{1*} , Mahdi Geravandi²

Received: 08 July 2025

Revised: 26 August 2025

Accepted: 16 September 2025

Available Online: 16 September 2025

Cite this article:

Badri, H., Tahmasebi, Z., & Geravandi, M. (2025). Investigating the morphological variation in cultivars and lines of lentil (*Lens* sp. Medik) based on the agronomic traits. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 297-314. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.94275.1113>

Introduction

Lentil, known as *Lens culinaris* Medik., is an annual legume belonging to the family Fabaceae. In 2020, lentil global production reached to 5.6 million tons when Canada located in first place with 45%, followed by India with 18%. Iran ranks 12th in the world while has less than 1.2% share in production of this important crop. There is a high diversity of agronomic traits in lentil, the study of which is of great importance. Determining the characteristics of germplasm in terms of desired traits facilitates the creation of breeding populations designed to achieve specific goals.

Materials and Methods

In this study, 70 international genotypes and three control varieties (Bile-Sawar, Kimia, and Mahali) were cultivated in the first year in an augmented design with three replications for controls and in the second year in an alpha-lattice design with replication. The experiment was conducted under autumn cultivation conditions at the Dryland Agriculture Research Institute (DARI), Sararood, Kermanshah, during the crop seasons of 2022-23 and 2023-24. The traits studied under field conditions included plant height, number of days to flowering and maturity, number of pods per plant, grain filling period, grain weight, and yield. The data were used for multivariate analysis by using GEA-R. Cluster analysis was done by Ward's method with the Euclidean distance criterion by hclust function in R software. Regarding the day to flowering and maturity with the grain filling period, lower values were the selection criteria. For the other characteristics, high values were desirable. Selection intensity was considered 15% for all MGIDI traits. For indexing estimation, the R item in the metan software package was used.

Results and Discussion

The results of analysis of variance (ANOVA) showed the difference between the genotypes and controls. For investigation significant difference among the other genotypes with the controls, the value of LSD should be the given. Based on this, for all of traits except PH, DM, and NPP, the differences were significant at the level of 1% and 5%. According to the results, there was significant variation in yield-related traits among the studied genotypes. About the plant height (genotypes G21 and G8), number of days to flowering “genotypes G13, G17 and M2, M12”, number of days to maturity “genotypes M20 and M7, M12, M33, M24, G4”, number of pods per plant “genotypes G30 and G1”, grain filling period “genotypes G32 and G4, M29”, grain weight “genotypes M24 and M31”, and yield “genotypes M22 and M26” showed a favorable situation compared to the others in the two seasons, respectively. Based on cluster analysis, two different groups (29 to 44 and 17 to 56) were formed in the two seasons, respectively, which were different from each other. In general, the Mediterranean genotypes showed better position than the globals and controls in terms of studied traits. In addition, there was a significant variation in terms of grain yield-related traits in the studied genotypes, which allows the selection of superior genotypes from among them. Results of correlation coefficient of the studied traits are also given. Yield in the first year was positively correlated with the number of days to maturity and grain weight and in the second year with plant height and number of pods per plant, and negatively correlated with other traits. The number of pods per plant, a key determinant of yield, was positively correlated with days to maturity, grain filling period, plant height, and plant weight in the first year, and with the grain filling period in the second year. Across both seasons, this trait showed negative correlations with other measured parameters. A dendrogram of cluster analysis based on the morphological and agronomic traits of the lentil genotypes is also presented. In this dendrogram, a total of

1- Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2- Sararood Branch, Dryland Agriculture Research Institute (DARI), AREEO, Kermanshah, Iran

* Corresponding Author: z.tahmasebi@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/)..

two groups were made and different genotypes were placed inside them. The number of genotypes in each group differs each season (44 to 29 and 56 to 17 in two seasons), which are shown with different colors. In this case, genotypes that were closest in terms of height, flowering and maturity period, number of pods per plant, weight, and yield were placed in one cluster, and those that were more different were placed in the opposite cluster.

Conclusions

According to the results of this study, the trait of pod number per plant plays an important role in lentil grain yield under autumn cultivation conditions.

Keywords: Agronomic characteristics, Augmented and Lattice designs, Dryland conditions, Legumes



بررسی تنوع مورفولوژیک ارقام و لاین‌های عدس (*Lens sp. Medik.*) براساس صفات زراعی

هاجر بدری^۱، زهرا طهماسبی^{۱*}، مهدی گراوندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

چکیده

عدس (*Lens culinaris Medik.*) گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده بقولات است که پیدا کردن روابط بین صفات در افزایش عملکرد آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق، ۷۰ ژنوتیپ بین‌المللی و سه رقم شاهد (بیل‌سوار، کیمیا و محلی) در سال اول در قالب طرح آگمنت با سه تکرار برای شاهدها و در سال دوم در قالب طرح آلفا-لاتیس کشت شدند. آزمایش در شرایط کشت پاییزه در معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود کرمانشاه) طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ اجرا شد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی، تعداد غلاف در بوته، دوره پُر شدن دانه، وزن و عملکرد دانه بودند. تنوع معنی‌داری در صفات مرتبط با عملکرد در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه وجود داشت. در مورد ارتفاع بوته "ژنوتیپ‌های G21 و G8"، تعداد روز تا گل‌دهی "ژنوتیپ‌های G13 و G17، M2 و M12"، تعداد روز تا رسیدگی "ژنوتیپ‌های M20 و M7، M12، M24، M33، G4"، تعداد غلاف در بوته "ژنوتیپ‌های G30 و G1"، دوره‌ی پُر شدن دانه "ژنوتیپ‌های G4، G32 و M29"، وزن دانه "ژنوتیپ‌های M24 و M31" و عملکرد "ژنوتیپ‌های M22 و M26" به ترتیب در دو فصل، وضعیت بهتری نسبت به سایرین نشان دادند. براساس تجزیه خوشه‌ای، دو گروه متفاوت "۲۹ به ۴۴ و ۱۷ به ۵۶" در دو فصل تشکیل شد که نسبت به هم تفاوت داشتند. به‌طور کلی، ژنوتیپ‌های مدیریت‌شده از نظر صفات مورد مطالعه وضعیت بهتری نسبت به ژنوتیپ‌های جهانی و ارقام شاهد نشان دادند. بر این اساس، صفت تعداد غلاف در بوته نقش مهمی در عملکرد دانه در شرایط کشت پاییزه داشت.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، شرایط دیم، طرح‌های آگمنت و لاتیس، ویژگی‌های زراعی

مقدمه

در مورد عدس، ویژگی‌های زراعی-ریخت‌شناسی مانند ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی، تعداد و وزن غلاف در بوته، وزن و عملکرد دانه از جمله صفات بسیار مهم محسوب می‌شوند (Toklu et al., 2009). مطالعات مختلفی برای شناسایی ژرم‌پلاسما عدس با خصوصیات ریشه بهتر، کارایی مصرف آب بالاتر، کاهش تعرق، راندمان مصرف مواد معدنی بهتر، خصوصیات زایشی مطلوب‌تر، کیفیت دانه و عملکرد بالا انجام شده است (Datta et al., 2013). ویژگی‌های ریخت‌شناسی امکان شناسایی منابع ناشناخته تنوع ژنتیکی را فراهم می‌کنند که اغلب آن‌ها برای سازگاری گیاه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی مهم هستند. برای این منظور، بررسی دقیق این صفات ضروری است. طبیعتاً مطالعات ریخت‌شناسی با وجود ارزش بسیار زیاد به‌تنهایی کافی نیستند و بررسی‌های تکمیلی مانند مرور جنبه‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی نیز حائز اهمیت می‌باشد. عملکرد دانه، صفت تا حدی پیچیده است که تا حد زیادی تحت تأثیر ژنوتیپ، حاصلخیزی خاک، نور، دما و بسیاری از عوامل محیطی قرار دارد. با توجه به تعداد زیاد ژن‌های مهارکننده‌ی عملکرد و تأثیر عوامل محیطی، وراثت‌پذیری آن پایین است. بنابراین، بهبود عملکرد در روش‌های اصلاحی براساس اجزاء و صفات مرتبط اهمیت دارد

بقولات (Fabaceae) یک تیره مهم با ۶۵۰ جنس و ۱۲۰۰۰ گونه است که در سراسر عالم پراکنده شده‌اند (Hasanuzzaman et al., 2020). عدس (*Lens culinaris Medik.*) یکی از حبوبات یک‌ساله متعلق به این خانواده است که به دلیل دانه عدسی‌شکل خود مشهور است. دانه‌های عدس بیشتر در صنایع غذایی استفاده می‌شوند و علوفه آن نیز برای تغذیه دام‌ها کاربرد دارد (Sadras & Calderini, 2020). عدس سومین حبوبات مهم فصل سرد در جهان محسوب می‌شود (Yadav et al., 2007; Badri & Simorgh, 2023). در سال ۲۰۲۰، تولید جهانی آن به ۵/۶ میلیون تن رسید که کانادا با ۴۵ درصد در رتبه اول و هند با ۱۸ درصد در رتبه دوم قرار داشتند (Bedasa, 2021). ایران در رتبه دوازدهم جهان قرار دارد، درحالی‌که سهم تولید این محصول در کشور ما کمتر از ۱/۲ درصد است (Zyaie et al., 2014).

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سرارود، کرمانشاه، ایران
*- نویسنده مسئول: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

کرت (یک در چهار متر) با فاصله خطوط کاشت (۲۵ سانتی‌متر) و تراکم ۲۰۰ بذر در مترمربع بود. براساس تجزیه خاک که در **جدول ۲** ذکر شده است، مقادیر توصیه‌شده کود به خاک اضافه گردید. بر این اساس، ۴۰ کیلوگرم اوره به همراه ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل به‌طور یکنواخت در طرح آزمایشی توزیع شد. کاشت بذور به‌صورت ماشینی و مه‌ار علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی انجام گردید.

صفات مورد مطالعه

صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه شامل موارد زیر بود: ارتفاع بوته، تعداد روز تا گل‌دهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد غلاف در بوته، دوره پُر شدن دانه، وزن دانه و عملکرد دانه.

این صفات از پنج بوته که به‌طور تصادفی در داخل هر کرت انتخاب شده بودند، بررسی گردید. اطلاعات هواشناسی ایستگاه سرارود طی دو سال زراعی در **جدول ۳** ارائه شده است. در هر دو سال، مجموع بارندگی ایستگاه ۴۵۰/۵ به دست آمده است که برای شرایط استان کرمانشاه نسبتاً مطلوب می‌باشد.

جدول ۱- کد ژنوتیپ‌های بررسی‌شده

Table 1- Characteristics of the genotypes studied

اختصار ژنوتیپ Abbreviations	نوع ژنوتیپ Type
MED35 تا MED1	سازگار با شرایط مدیترانه‌ای Compatible with the Mediterranean conditions
GLO35 تا GLO1	ژنوتیپ جهانی Compatible with the global conditions
بیله سوار (B)	رقم سازگار با شرایط ایران Compatible with Iran conditions
کیمیا (K)	رقم سازگار با شرایط ایران Compatible with Iran conditions
محلی (M)	رقم سازگار با شرایط ایران Compatible with Iran conditions

MED: مدیترانه‌ای و GLO: جهانی

MED: Mediterranean and GLO: Global

جدول ۲- نتایج آزمون خاک مزرعه تحقیقاتی معاونت مؤسسه

تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود)

Table 2- Soil test results of the research farm of dryland agricultural research institute (Sararood)

مس Cu (ppm)	روی Zn (ppm)	پتاسیم K (ppm)	کربن آلی Organic C (%)	آهن Fe (ppm)	منگنز Mn (ppm)	فسفر P (ppm)
0.42	1.54	540	1.12	5.20	12.60	11.6

(Parveen & Bhuiya, 2010; Barrero et al., 2011; Kayan & Olgun, 2012; Datta et al., 2013).

مطالعات مختلفی در ایران و سایر کشورها برای گزینش ژنوتیپ‌های مناسب عدس انجام شده است (Azizi Chakhrachman et al., 2010; Saman et al., 2013; Nouri Goghari et al., 2014; Majnoun Hosseini & Naghavi, 2017; Moradi et al., 2020). مطالعات محققان خارجی نیز در این زمینه موجود است (Barrero et al., 2011; Choudhary et al., 2017; Datta et al., 2013; Kayan & Olgun, 2012; Mekonnen et al., 2014; Mishra et al., 2022; Nabati et al., 2021; Preiti et al., 2024; Sadeghzadeh-Ahari & Farayedi, 2020). با توجه به اهمیت عدس، مطالعات بیشتری مورد نیاز است و تحقیق حاضر به‌خاطر پر کردن این خلأ و بررسی ژنوتیپ‌های بیشتری از این محصول ارزشمند طراحی گردید. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و زراعی در ژنوتیپ‌های بین‌المللی عدس که تحت سامانه‌های کشاورزی کشت می‌شوند یا در بانک‌های ژن ذخیره می‌شوند، امکان شناسایی منابع ناشناخته‌ی تنوع را فراهم می‌کند. بنابراین، بررسی دقیق این ویژگی‌ها ضروری است. هدف اصلی این تحقیق، مقایسه ژنوتیپ‌های جدید عدس از نظر صفات ریخت‌شناسی بود. نتایج این تحقیق می‌تواند در تعیین ژنوتیپ‌های برتر برای تحقیقات بیشتر در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش و نحوه اجرا

در این تحقیق، ۷۰ ژنوتیپ بین‌المللی (۳۵ ژنوتیپ جهانی و ۳۵ ژنوتیپ مدیترانه‌ای) و بذر سه رقم شاهد (بیله‌سوار، کیمیا و محلی) از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم^۱، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سرارود (۳۴/۳۳ درجه شمالی و ۴۷/۳۳ درجه شرقی)، کرمانشاه، ایران، طی سال‌های زراعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳ در شرایط کشت پاییزه ارزیابی شدند. کد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در **جدول ۱** ارائه شده است. این لاین‌ها متعلق به یک‌کاردا هستند و در قالب برنامه‌های مشترک به‌نژادی (آزمایش‌های بین‌المللی) وارد شده‌اند. نصف آن‌ها برای شرایط مدیترانه‌ای و نصف دیگر در مقیاس جهانی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. آزمایش سال اول به علت کمبود بذر به‌صورت آگمنت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بدون تکرار با پنج بلوک و سه شاهد اجرا شد. در سال دوم برای افزایش دقت مقایسه‌ها از طرح تکراردار آلفا-لاتیس در دو تکرار و پنج بلوک استفاده گردید. روش‌های کاشت، داشت و برداشت طبق دستورالعمل‌های DARI انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل یک

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی ایستگاه سرارود در دو سال زارعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳
Table 3- Meteorological information of Sararood station during 2022-23 and 2023-24

ماه Month	بارندگی Final fall (mm)	حداقل دمای مطلق Min absolute temperature (°C)	حداکثر دمای مطلق Max. absolute temperature (°C)	متوسط دما Aver. temperature (°C)	تعداد روز زیر صفر No. of days below 0 °C	رطوبت نسبی (درصد) Aver. of relative humidity (%)	متوسط دمای حداقل Min. of mean temperature (°C)	متوسط دمای حداکثر Max. of mean temperature (°C)	سال زارعی Season
مهر October	9.3	4.7	34.7	19.2	0	37.6	10.6	27.8	2022-23
آبان November	38.8	1.9	25.7	13.1	0	60.0	5.6	20.6	
آذر December	18.1	-3.4	18.8	8.0	18	62.8	0.4	15.6	
دی January	21.1	-5.7	16.8	6.2	15	74.1	0.6	11.8	
بهمن February	103.3	-5.9	16.4	5.5	16	74.4	-0.4	11.5	
اسفند March	76.4	-7.3	20.8	7.0	14	63.0	0.8	13.3	
فروردین April	66.3	-0.7	25.3	11.8	2	59.3	3.9	19.7	
اردیبهشت May	111.8	3.4	28.5	15.4	0	61.0	8.2	23.3	
مهررداد June	5.4	6.2	38.4	23.1	0	33.7	13.0	33.4	
تیر July	0	12.6	41.7	27.2	0	22.2	16.0	38.3	
مرداد August	0	14.6	41.8	28.3	0	22.4	17.1	39.5	
جمع Total	450.5								

ادامه جدول ۳- اطلاعات هواشناسی ایستگاه سرارود در دو سال زارعی ۱۴۰۱-۰۲ و ۱۴۰۲-۰۳
Table 3- Meteorological information of Sararood station during 2022-23 and 2023-24, continued

سال زارعی ۱۴۰۲-۰۳								
Season 2023-24								
ماه Month	بارندگی Final fall (mm)	حداقل دمای مطلق Min absolute temperature (°C)	حداکثر دمای مطلق Max. absolute temperature (°C)	متوسط دما Aver. temperature (°C)	تعداد روز زیر صفر No. of days below 0 °C	رطوبت نسبی (درصد) Aver. of relative humidity (%)	متوسط دمای حداقل (درجه سانتی گراد) Min. of mean temperature (°C)	متوسط دمای حداکثر (درجه سانتی گراد) Max. of mean temperature (°C)
مهر October	9.8	2.8	28.8	16.6	0	43.6	8.0	25.3
آبان November	43.3	-2.1	23.9	11.3	5	67.0	4.4	18.2
آذر December	29.0	-3.1	18.8	7.4	17	69.6	0.9	13.8
دی January	33.0	-5.6	16.8	6.0	17	69.0	-0.2	12.2
بهمن February	78.3	-5.9	16.4	5.0	16	73.8	-0.5	10.6
اسفند March	102.4	-7.3	22.1	8.8	10	62.4	1.8	15.7
فروردین April	56.2	1.0	28.8	14.2	0	54.8	6.3	22.7
اردیبهشت May	94.3	3.4	36.8	16.9	0	57.2	8.5	25.4
مرداد June	4.2	6.9	39.2	25.5	0	25.7	15.3	35.7
تیر July	0	13.0	41.7	27.7	0	23.2	16.5	39.0
مهراد August	-	-	-	-	-	-	-	-
جمع Total	450.5							

تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه چندمتغیره، داده‌ها با استفاده از GEA-R مورد تجزیه قرار گرفتند (Pacheco et al., 2016; Yan & Rajcan, 2002). تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به‌روش وارد^۱ با معیار فاصله اقلیدسی توسط تابع hclust در نرم‌افزار R انجام شد. در مورد تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی با دوره پُر شدن دانه، مقادیر پایین‌تر معیار انتخاب ژنوتیپ بودند. برای سایر صفات، مقادیر بالا مطلوب بودند. شدت انتخاب برای همه صفات^۲ ۱۵ درصد در نظر گرفته شد (Olivoto et al., 2020). مقایسه میانگین‌ها نیز به‌وسیله آزمون LSD انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) داده‌ها طی دو سال زراعی در **جدول ۴** ارائه شده که روش تجزیه آن‌ها متفاوت بوده است. بر این اساس، در سال اول و دوم برای همه صفات به‌جز ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی و تعداد غلاف در بوته، تفاوت‌ها در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار تعیین شدند.

حداقل و حداکثر مقادیر به دست‌آمده برای صفات مورد مطالعه، میانگین آن‌ها، به همراه دامنه و ضریب آن‌ها نیز در **جدول ۵** ارائه شده است. بر این اساس، در مورد عملکرد و روزهای گل‌دهی به‌ترتیب بیشترین و کمترین ضریب تغییرات مشاهده شد.

مقادیر به‌دست‌آمده برای صفات در **جدول ۶** ارائه شده است. در مورد ارتفاع بوته "ژنوتیپ‌های G21 و G8" تعداد روز تا گل‌دهی "ژنوتیپ‌های G13، G17 و M2، M12"، تعداد روز تا رسیدگی "M20 و M7، M12، M33، M24، G4"، تعداد غلاف در بوته "ژنوتیپ‌های G30 و G1"، دوره‌ی پُر شدن دانه "ژنوتیپ‌های G32 و G4، M29"، وزن دانه "ژنوتیپ‌های M24 و M31" و عملکرد "ژنوتیپ‌های M22 و M26" به ترتیب در دو فصل، وضعیت مناسبی نسبت به سایرین داشتند. مقادیر LSD برای هر صفت نیز ذکر شده است.

نتایج ضریب همبستگی صفات مورد مطالعه در **جدول ۷** ارائه شده است. عملکرد دانه در سال اول با تعداد روز تا رسیدگی و وزن دانه و در سال دوم با ارتفاع و تعداد غلاف در بوته همبستگی مثبت و با سایر صفات همبستگی منفی داشت. تعداد غلاف در بوته نیز که بر عملکرد تأثیرگذار است در سال اول با تعداد روز تا رسیدگی، دوره پُر شدن دانه، ارتفاع و وزن دانه و در سال دوم با دوره پُر شدن دانه

همبستگی مثبت نشان داد. در دو سال ذکرشده، این صفت با سایر پارامترها همبستگی منفی نشان داد.

نمایش چندضلعی ژنوتیپ × صفت برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در **شکل ۱** ارائه شده است که نتایج فوق را تأیید می‌کند. در این شکل، صفات ذکرشده که با هم‌دیگر دارای زاویه حاده هستند همبستگی مثبت و صفات با زاویه بیشتر دارای عدم همبستگی یا همبستگی منفی هستند. در این شکل، ارتفاع و تعداد غلاف در بوته در موقعیت مشابهی قرار گرفتند. در سال اول تعداد روز تا گل‌دهی، وزن دانه و عملکرد وضعیت مشابهی را نشان دادند که نشان‌دهنده نقش مهم این دو صفت در بهبود عملکرد عدس است. در نهایت، روز تا رسیدگی و دوره پُر شدن دانه ارتباط نزدیکی با هم داشتند که نشان‌دهنده رابطه نزدیک آن‌ها است. در سال دوم نیز تعداد روز تا گل‌دهی با ارتفاع و صفات عملکرد با وزن دانه دارای همبستگی مثبت بودند و در مورد سایر صفات این همبستگی کمتر یا منفی بود. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس براساس صفات ریخت‌شناسی-زراعی در **شکل ۲** نشان داده شده است. در هر دندروگرام، در مجموع دو گروه تشکیل شد و ژنوتیپ‌های مختلف در داخل آن‌ها قرار گرفتند. تعداد ژنوتیپ‌ها در هر گروه در هر سال متفاوت است (۲۹ در برابر ۴۴ و ۱۷ در برابر ۵۶ به‌ترتیب در دو فصل) که با رنگ‌های مختلف نشان داده شده‌اند. در این مورد، ژنوتیپ‌هایی که از نظر ارتفاع، طول دوره گل‌دهی و رسیدگی، تعداد غلاف در بوته، وزن و عملکرد به هم نزدیک‌تر بودند درون یک خوشه و آن‌هایی که اختلاف بیشتری داشتند در خوشه مقابل قرار گرفتند.

برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از فاصله وارد برای تجزیه و تحلیل خوشه‌ها با استفاده از روش حداقل واریانس اقلیدسی استفاده شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز در **شکل ۳** آمده است. در این شکل، ژنوتیپ‌های مختلف در دو گروه قرار گرفتند که با رنگ‌های جداگانه نشان داده شده‌اند. خوشه‌بندی براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام گردید. در مجموع، در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲، ژنوتیپ‌های بیشتری در خوشه ۱ نسبت به خوشه ۲ وجود داشت (۴۴ ژنوتیپ در مقابل ۲۹ ژنوتیپ). ژنوتیپ‌های بیل‌سوار و محلی در خوشه ۱ و کیمیا در خوشه ۲ قرار گرفتند. در خوشه ۱، ژنوتیپ‌های مدیترانه‌ای بیشتری مشاهده شد، درحالی‌که در خوشه ۲، ژنوتیپ‌های جهانی غالبیت نشان دادند. در سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳، توزیع ژنوتیپ‌ها ناهموارتر بود (۱۷ در مقابل ۵۶ ژنوتیپ) که ژنوتیپ محلی در خوشه ۱ و بیل‌سوار و کیمیا در خوشه ۲ قرار گرفتند.

1- Ward

2- Multi-trait Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI)

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) صفات مختلف در ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 3- Results of analysis of variance (ANOVA) of different traits in the studied genotypes

سال زراعی ۱۴۰۱/۰۲ در قالب طرح آگمنت Season 2022-23 based on Augment design								
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته PH	تعداد روز تا گل‌دهی DF	تعداد روز تا رسیدگی DM	تعداد غلایف در بوته NPP	دوره پُر شدن دانه SFP	وزن دانه SW	عملکرد YLD
ژنوتیپ Genotype	2	0.67	42.46**	2.86	419.58	34.40**	7.82**	363833.75**
تکرار Replication	4	3.28*	4.76	1.76	192.06	3.90	0.66	28436.45*
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	--	2.37	0.87	0.64	21.18	2.57	20.23	5.50
سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ در قالب طرح لاتیس Season 2023-24 based on Lattice design								
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته PH	تعداد روز تا گل‌دهی DF	تعداد روز تا رسیدگی DM	تعداد غلایف در بوته NPP	دوره پُر شدن دانه SFP	وزن دانه SW	عملکرد YLD
ژنوتیپ Genotype	68	8.60	22.99**	9.92	196.72	25.88**	1.19**	1201393**
تکرار Replication	4	4.28	0.49	0.97	767.69	0.08	0.02	72539.45
تکرار در بلوک Replication: Blocks	8	9.44	20.44*	19.29*	291.60	6.82*	0.92	46572.79
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	--	8.60	2.03	1.31	22.78	2.95	17.48	15.62

PH: ارتفاع بوته، DF: تعداد روز تا گل‌دهی، DM: تعداد روز تا رسیدگی، NPP: غلایف در بوته، SFP: دوره پُر شدن دانه، SW: وزن دانه و YLD: عملکرد دانه.
PH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, NPP: number of pod per plant, SFP: seed filling period, SW: seed weight and YLD: yield.

*: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج درصد و **: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح یک درصد است.

*: indicates significance at 5% and **: in 1%.

جدول ۵- حداقل، حداکثر، دامنه، میانگین و ضریب تغییرات صفات مورد مطالعه

Table 4- Minimum, maximum, range, mean and coefficient of variation of the studied traits

سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ Season 2022-23							
صفت Trait	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) PH (cm)	تعداد روز تا گل‌دهی (روز) DF (day)	تعداد روز تا رسیدگی (روز) DM (day)	تعداد غلاف در بوته NPP	دوره پر شدن دانه (روز) SFP (day)	وزن دانه (گرم) SW (g)	عملکرد (کیلوگرم) YLD (Kg)
حداقل Min.	27.00	133.00	177.00	49.67	38.00	2.81	185.00
حداکثر Max.	37.67	140.60	183.00	149.67	49.00	5.92	2255.00
دامنه Range	10.67	7.00	6.00	100.00	11.00	3.11	2070.00
میانگین Average	31.99	136.90	180.29	70.68	43.38	4.14	1092.4
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	1.39	0.71	5.33	5.50	16.32	26.50	37.62
سال زراعی ۱۴۰۲-۰۳ Season 2022-23							
صفت Trait	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) PH (cm)	تعداد روز تا گل‌دهی (روز) DF (day)	تعداد روز تا رسیدگی (روز) DM (day)	تعداد غلاف در بوته NPP	دوره پر شدن دانه (روز) SFP (day)	وزن دانه (گرم) SW (g)	عملکرد (کیلوگرم) YLD (kg)
حداقل Min.	33.31	143.00	202.00	31.44	50.00	3.00	71.30
حداکثر Max.	44.33	155.00	212.00	74.06	65.00	6.40	3001.3
دامنه Range	11.01	12.00	10.00	11.01	15.00	3.40	2930.0
میانگین Average	38.78	147.77	205.62	52.77	57.85	4.31	1695.3
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	5.86	2.26	1.04	20.75	6.22	18.32	46.64

PH: ارتفاع بوته، DF: تعداد روز تا گل‌دهی، DM: تعداد روز تا رسیدگی، NPP: تعداد غلاف در بوته، SFP: دوره پر شدن دانه، SW: وزن دانه و YLD: عملکرد دانه.
PH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, NPP: number of pod per plant, SFP: seed filling period, SW: seed weight and YLD: yield.

جدول ۶- مقادیر صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های مختلف

Table 5- Values of studied traits in different genotypes

ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته (سانتی متر) PH (cm)		ارقایع بوته (روز) DF (day)		تعداد روز تا تک‌دهی (روز) DM (day)		تعداد روز تا رسیدگی (روز) NPP		تعداد غلاف در بوته (روز) SFP (day)		دوره پر شدن دانه (روز) SW (g)		وزن دانه (گرم) YLD (kg)		عملکرد (کیلوگرم) YLD (kg)	
	۱۴۰۱-۲	۱۴۰۲-۳	۲۰۲۲-۲۳	۲۰۲۳-۲۴	۱۴۰۱-۲	۱۴۰۲-۳	۲۰۲۲-۲۳	۲۰۲۳-۲۴	۱۴۰۱-۲	۱۴۰۲-۳	۲۰۲۲-۲۳	۲۰۲۳-۲۴	۱۴۰۱-۲	۱۴۰۲-۳	۲۰۲۲-۲۳	۲۰۲۳-۲۴
M1	27.00	39.50	138	148	179	204	52.67	72.78	41	56	5.09	5.30	1312.50	1271.25	1312.50	1271.25
M2	32.67	36.17	138	143	179	206	70.33	54.44	41	63	4.27	5.00	1150.00	1493.75	1150.00	1493.75
M3	35.00	39.00	139	153	180	205	76.67	45.11	41	52	4.59	5.00	1805.00	2423.75	1805.00	2423.75
M4	33.67	36.00	135	144	180	204	65.33	34.50	45	60	4.21	5.10	1155.00	1491.25	1155.00	1491.25
M5	31.00	37.00	137	146	180	205	60.33	51.33	43	59	4.33	5.00	1057.50	897.50	1057.50	897.50
M6	30.33	38.00	136	145	181	204	79.33	63.11	45	59	4.96	5.20	1027.50	1491.25	1027.50	1491.25
M7	29.33	38.33	137	145	180	202	61.00	56.28	43	57	4.30	5.00	1120.00	1185.00	1120.00	1185.00
M8	31.67	43.17	138	145	181	204	57.67	60.83	43	59	4.61	4.40	1170.00	1662.50	1170.00	1662.50
M9	30.00	39.00	135	148	181	204	68.33	50.06	46	56	4.51	5.20	835.00	1818.75	835.00	1818.75
M10	31.00	38.33	136	145	179	207	84.00	55.06	43	62	3.78	4.00	690.00	603.75	690.00	603.75
M11	30.00	36.17	139	145	182	203	66.33	69.61	43	58	4.86	5.00	1205.00	1310.00	1205.00	1310.00
M12	32.67	34.83	136	143	178	204	56.00	54.44	42	61	4.79	5.00	1112.50	1493.75	1112.50	1493.75
M13	31.00	39.83	139	144	179	206	55.00	49.94	40	62	4.61	5.00	1225.00	975.00	1225.00	975.00
M14	32.33	39.67	139	151	181	204	57.67	44.72	42	53	4.40	4.60	1210.00	2000.00	1210.00	2000.00
M15	30.67	40.50	139	144	181	205	78.33	65.89	42	61	4.28	5.00	1160.00	1146.25	1160.00	1146.25
M17	32.00	-	135	-	180	-	78.00	-	45	-	3.54	-	722.50	-	722.50	-
M18	29.67	35.67	137	153	180	206	51.33	56.67	43	53	5.11	4.00	1182.50	441.25	1182.50	441.25
M19	29.00	41.17	136	153	182	204	59.00	59.17	46	51	4.32	4.80	1295.00	1728.75	1295.00	1728.75
M20	31.33	40.17	136	153	177	207	53.00	44.78	41	54	3.22	4.30	1285.00	1698.75	1285.00	1698.75
M21	30.00	38.83	139	146	179	206	56.67	48.61	40	60	5.78	3.50	1622.50	1226.25	1622.50	1226.25
M22	32.00	37.50	138	149	180	204	68.00	49.78	42	55	4.56	6.20	2255.00	1962.50	2255.00	1962.50
M23	30.67	38.00	139	146	180	203	89.67	34.61	41	57	5.58	4.40	1572.50	2957.50	1572.50	2957.50
M24	32.00	40.67	139	147	183	202	76.33	54.11	44	55	5.92	6.30	1400.00	2561.25	1400.00	2561.25
M25	31.67	38.33	139	153	182	205	49.67	69.00	43	52	4.86	4.30	1490.00	2711.25	1490.00	2711.25
M26	30.00	40.67	136	145	179	205	86.33	46.67	43	60	4.64	4.30	1660.00	3001.25	1660.00	3001.25
M27	30.00	38.67	138	145	180	208	54.00	52.78	42	63	4.71	4.40	1057.50	2747.50	1057.50	2747.50
M28	32.67	38.33	137	147	180	206	62.33	47.50	43	59	4.56	5.30	2110.00	1703.75	2110.00	1703.75
M29	30.00	41.68	135	153	180	203	52.67	36.94	45	50	4.40	4.30	920.00	2798.75	920.00	2798.75
M30	32.67	34.17	140	145	183	206	49.67	57.94	43	61	5.46	4.60	1397.50	2078.75	1397.50	2078.75
M31	32.67	38.17	139	146	179	204	93.33	39.67	40	58	4.34	6.40	415.00	2703.75	415.00	2703.75
M32	32.67	38.33	136	152	179	212	71.33	43.28	43	60	4.01	4.30	1262.50	162.50	1262.50	162.50
M33	33.67	35.50	140	146	183	202	59.67	54.00	43	56	3.74	5.00	217.50	2255.00	217.50	2255.00
M34	35.00	37.67	139	144	179	209	56.00	46.39	40	65	4.42	4.30	1405.00	130.00	1405.00	130.00

Table 5. Values of studied traits in different genotypes, continued

PH ارتفاع پوتاسیم، DF تعداد روز تا گل دهی، DM تعداد روز تا رسیدگی، NPP غلاف در پوتاسیم، SFP دوره پر شدن دانه، SW وزن دانه و YLD عملکرد دانه

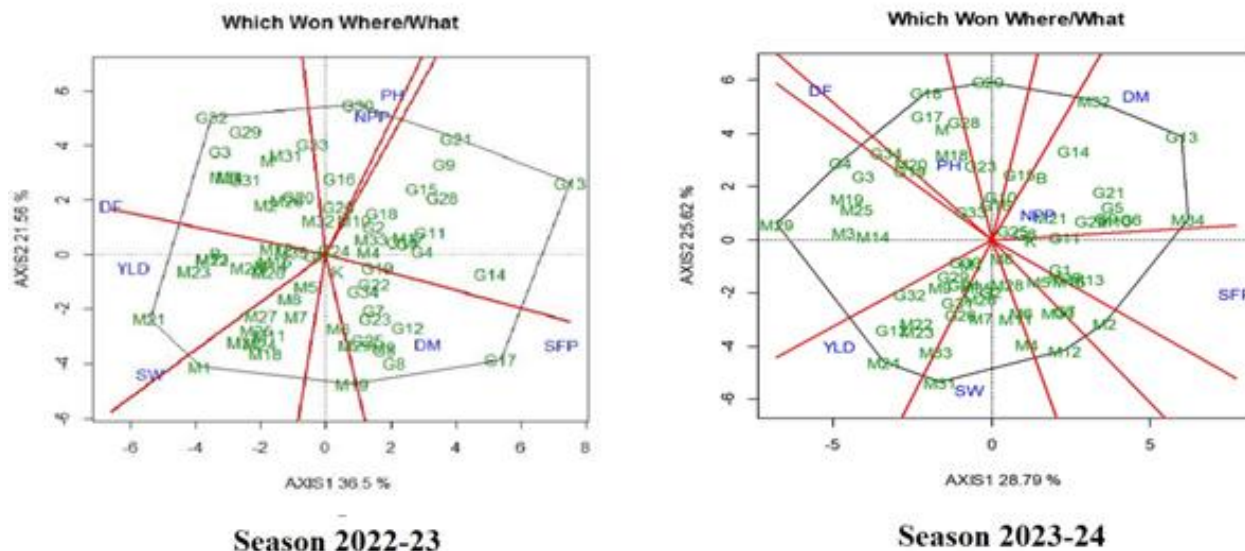
APH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, NPP: number of pod per plant, SFP: seed filling period, SW: seed weight and YLD: yield.

جدول ۷- نتایج همبستگی صفات مطالعه‌شده در دو فصل زراعی
Table 6- Results of correlation of studied traits in two cropping seasons

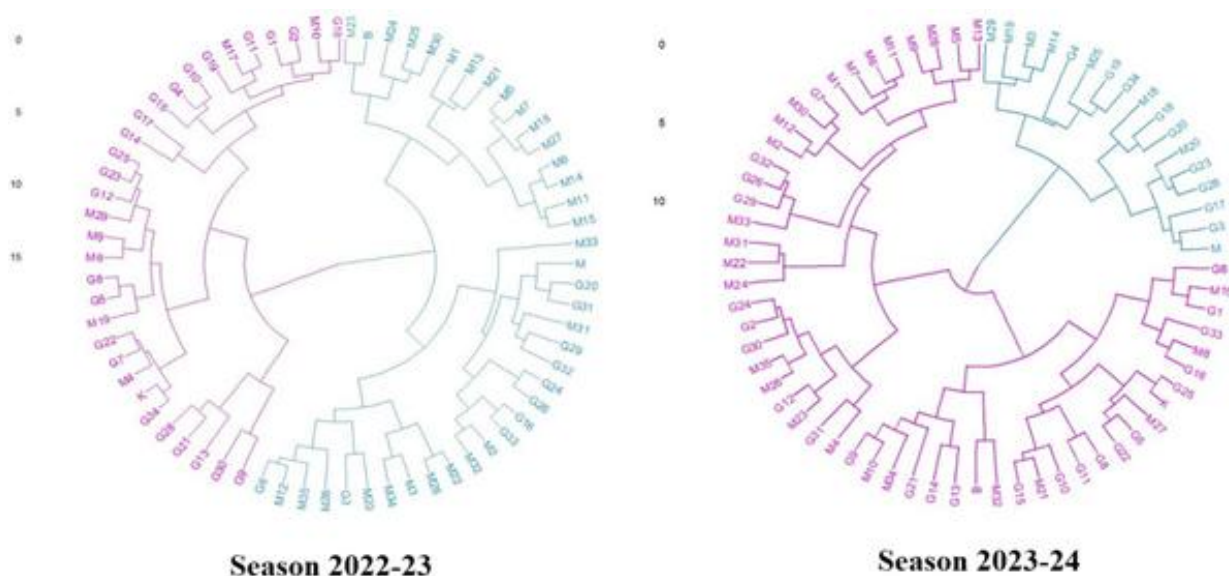
	روز تا گلدهی DF (day)	روز تا رسیدگی DM (day)	دوره پر شدن دانه SFP (day)	ارتفاع بوته PH (cm)	وزن دانه SW (g)	تعداد غلاف در بوته NPP
-	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23	۱۴۰۱-۰۲ 2022-23
روز تا رسیدگی	0.000					
DM	0.998					
دوره پر شدن دانه	-0.831*	0.556*				
SFP	0.000	0.000				
ارتفاع بوته	0.019	0.063	0.019			
PH	0.876	0.606	0.875			
وزن دانه	0.392*	0.083	-0.270	-0.371	0.052	
SW	0.001	0.495	0.024	0.002	0.671	
تعداد غلاف در بوته	-0.021	0.013	0.027	0.307*	-0.157	-0.024
NPP	0.863	0.913	0.828	0.010	0.197	0.843
عملکرد	0.373*	-0.200	-0.417*	-0.090	0.535*	-0.009
YLD	0.001	0.098	0.019	0.459	0.639	0.943
					0.000	0.085
					0.072	0.183
					0.535*	0.133

PH: plant height, DF: days to flowering, DM: days to maturity, NPP: number of pod per plant, SFP: seed filling period, SW: seed weight and YLD: yield.
عدد بالا ضرب و عدد پایین معنی داری را نشان می‌دهد. * بیانگر معنی داری در سطح یک درصد است.

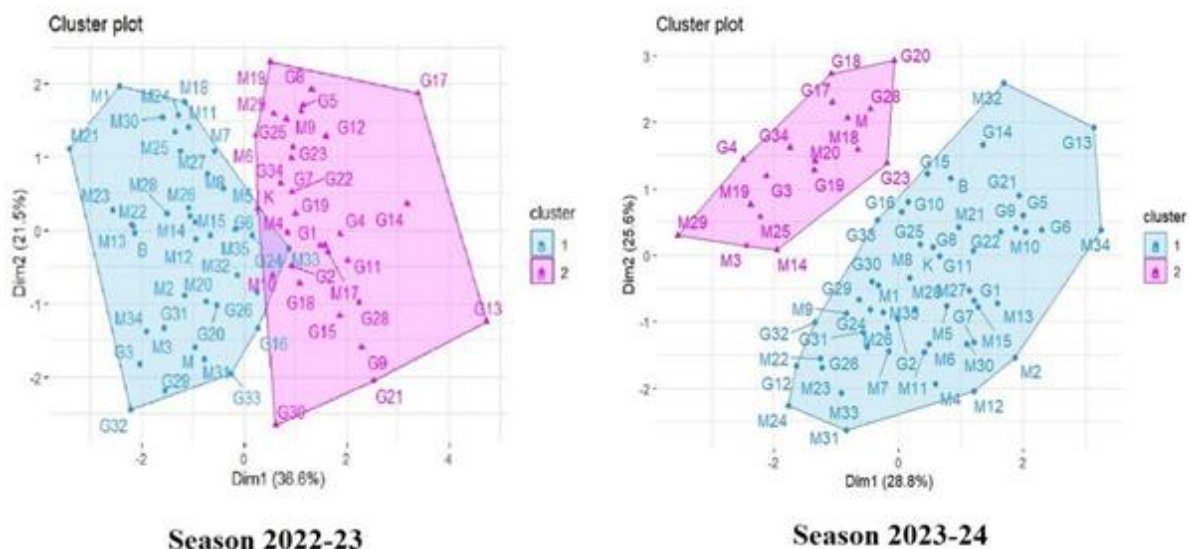
The upper number indicates the coefficient and the lower shows significance. *: indicate the significance at 1% level



شکل ۱- نمودار چندضلعی ژنوتیپ × صفت در دو سال زراعی
Figure 1- Polygonal diagram of genotype × trait in two crop years



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای برای ژنوتیپ‌های عدس طی دو سال زراعی
Figure 2- Cluster analysis dendrogram for lentil genotypes over two crop years

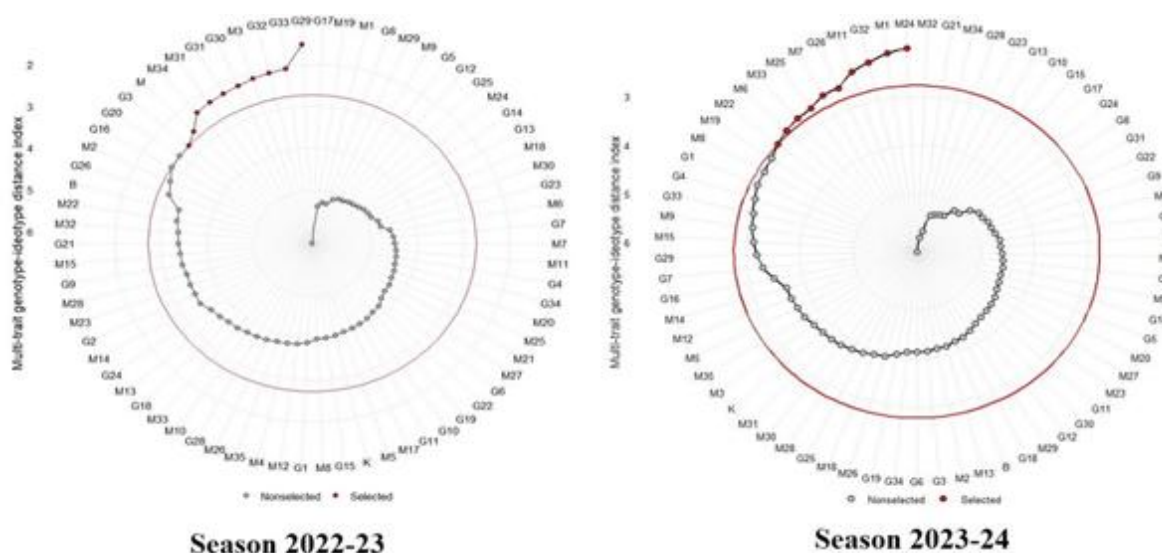


شکل ۳- نتایج تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های عدس براساس مؤلفه‌های اصلی طی دو سال زراعی

Figure 3- Results of cluster analysis of lentil genotypes based on principal components during two crop years

۴ نشان داده شده است. براساس ویژگی‌های زراعی شامل مراحل رشد رویشی و زایشی به همراه عملکرد، ژنوتیپ‌هایی که در مرتبه بالاتر قرار گرفته وضعیت بهتری نسبت به بقیه داشته و انتخاب‌های مطلوبی هستند و آن‌هایی که در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند مطوبیت کمتری داشتند. طبق نتایج این شاخص، در سال اول ژنوتیپ G29 و در سال دوم ژنوتیپ M24 منتخب بودند.

اجرای آزمون شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌ها، تمام صفات اندازه‌گیری شده را به‌طور همزمان در نظر گرفته و براساس مقادیر عددی، بهترین ژنوتیپ‌ها را معرفی می‌کند. در واقع، ارزش ژنوتیپ‌ها براساس عملکرد، وزن دانه و ارتفاع با تعداد دانه بیشتر در بوته، گل‌دهی و رسیدگی زودرس و دوره پُر شدن کوتاه دانه تعیین می‌شود. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از شاخص MGIDI در شکل



شکل ۴- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس با استفاده از شاخص MGIDI در دو سال زراعی

Figure 4- Ranking of lentil genotypes using the MGIDI index in two crop years

توان خصوصیات ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط تنش خشکی که ایران نیز در سال‌های اخیر به‌شدت با آن مواجه است را بررسی کرد. این خصوصیت مهم به‌دلیل محدودیت‌های زمانی و مالی بر روی ۷۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در تحقیق حاضر انجام نشد، اما امیدواریم در آینده نزدیک مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود و اثرات تنش و پارامترهای مختلف آن روی ۷۰ ژنوتیپ تهیه‌شده بررسی گردد. صفات ریخت‌شناسی و زراعی ژرم‌پلاسِم عدس بومی استان زنجان برای انتخاب ژرم‌پلاسِم برتر در شرایط خشک توسط مرادی و همکاران (Moradi et al., 2020) بررسی شد. آن‌ها گزارش دادند که تنوع بالایی بین ژنوتیپ‌ها براساس تعداد غلاف و وزن دانه وجود دارد. تغییرات زیادی از نظر ارتفاع اولین شاخه، تعداد غلاف با تعداد و وزن دانه مشاهده شد. بنابراین، انتخاب این صفات در ژنوتیپ‌های ارزیابی‌شده مؤثر به نظر می‌رسد. در نهایت، ۴۹۲ ژنوتیپ برتر برای بررسی در شرایط خشک در طرح آزمایشی براساس صفات عملکردی و صفات مؤثر در برداشت مکانیزه انتخاب شدند. در تحقیق حاضر، ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط مدیریت‌های نسبتاً بهتر از ژنوتیپ‌های بومی ایران بودند. بر این اساس، نتایج این مطالعه با تحقیق حاضر در مورد سازگاری ژنوتیپ‌ها تا حدودی متناقض است.

در پژوهش حاضر، تفاوت در عملکرد ۷۰ ژنوتیپ و ۳ رقم قابل توجه بود و ژنوتیپ‌های سازگار با مناطق مدیریت‌های وضعیت بهتری را نسبت به سایرین نشان دادند. ژنوتیپ‌های عدس با ارزیابی فنولوژیکی، ریخت‌شناسی، عملکرد و اجزای آن توسط نباتی و همکاران (Nabati et al., 2021) مورد بررسی قرار گرفتند و آن‌ها اظهار داشتند که MLC454 و MLC47 عملکرد خوبی دارند و می‌توانند در تحقیقات آینده برای انتخاب ژنوتیپ برتر مورد استفاده قرار گیرند. ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو مطالعه با هم تفاوت داشتند، اما صفات کلیدی مانند عملکرد و شاخص برداشت می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی آن‌ها استفاده شوند. علاوه بر این، صادق زاده اهری و فرایندی (Sadeghzadeh-Ahari & Farayedi, 2020) برخی از صفات زراعی و عملکرد دانه ۱۲۰ ژنوتیپ عدس از منطقه کوهین قزوین را بررسی کردند و دریافتند که بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه به‌جز زیست‌توده عملکرد و شاخص برداشت تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در تحقیق حاضر، عملکرد دانه در بین صفات مورد مطالعه در دو سال، بیشترین تنوع را نشان داد که با نتایج آن‌ها مطابقت دارد. به‌طور کلی، عملکرد صفت مهمی است که می‌تواند در اکثر مطالعات به‌عنوان معیاری برای ارزیابی ژنوتیپ‌های منتخب در هر منطقه استفاده می‌شود.

در مورد ارزیابی تنوع ژنوتیپ‌های عدس از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی - زراعی، مطالعات مختلفی در ایران و سایر کشورها انجام شده است. در تحقیق حاضر، صفات مختلفی بررسی گردید و عملکرد که برآیند کلی آن‌ها است، به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد. در مورد عملکرد، تعداد غلاف در بوته و وزن دانه‌ها مهم‌ترین عوامل هستند. در همین زمینه، عملکرد و اجزای عدس در شرایط خشک توسط عزیزچی چخراچمن و همکاران (Azizi Chakhrachman et al., 2010) بررسی گردید و گزارش شد که ژنوتیپ‌های ILL8095، ILL9893 و ILL6031 عملکرد بالاتری نسبت به سایرین داشتند. در شرایط خشک، استفاده از حداقل رطوبت و زودرسی محصول برای فرار از گرمای آخر فصل برای دستیابی به بهترین نتایج در اولویت است. نتایج این دو مطالعه می‌تواند با یکدیگر مطابقت داشته باشد، زیرا استان کرمانشاه نیز در شرایط نیمه‌خشک کشور قرار دارد. اگرچه ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دو مطالعه متفاوت بودند، اما ژنوتیپ‌های منتخب باید از نظر سازگاری در مناطق مختلف بررسی شوند تا کارایی آن‌ها برای استفاده در شرایط خشک و تنش‌هایی که به‌ویژه کشور سال‌هاست که با آن مواجه می‌باشد، مورد تأیید قرار گیرد. در این تحقیق، شاخص برداشت اندازه‌گیری نشد، اما اجزای مرتبط با آن تا حدودی بررسی شدند. نوری گوغری و همکاران (Nouri Goghari et al., 2014). تنوع ژنتیکی عدس در بردسیر استان کرمان را با استفاده از صفات ریخت‌شناسی بررسی کردند و دریافتند که شاخص برداشت بیشترین تأثیر را بر عملکرد داشت و بیشترین تأثیر مثبت بر آن مربوط به این پارامتر بود. طبق تحقیقات، این پارامتر رابطه نزدیکی با عملکرد دارد و اثرات مستقیم آن‌ها نیز مشخص است. براساس نتایج این تحقیق، ژنوتیپ‌هایی که دارای دارای خصوصیات رویشی بهتر و دوره گل‌دهی نسبتاً کوتاه‌تری بودند، عملکرد بهتری نسبت به سایرین نشان دادند و به همان نسبت می‌توانند شاخص برداشت بهتری را داشته باشند.

ویژگی‌های رویشی و زایشی گیاهان اثرات مثبتی بر عملکرد دارند که مهم‌ترین آن‌ها متعادل بودن دوره گل‌دهی به مراحل رویشی، تعداد مطلوب غلاف در بوته و وزن بیشتر دانه است. در همین زمینه، مجنون حسینی و نقوی (Majnoun Hosseini & Naghavi, 2017) عملکرد و زیست‌توده عدس را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که سه صفت بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارند. بین زمان کاشت و ۵۰ درصد گل‌دهی با ارتفاع متوسط گیاه، رابطه مثبت و معنی‌داری با عملکرد مشاهده شد که نشان‌دهنده عملکرد بالا در نمونه‌های دیرگل است. بنابراین، نتایج این مطالعه با تحقیق حاضر می‌توانند یکدیگر را نقض کنند. البته شرایط کشت، نوع خاک، ویژگی‌های آب‌وهوایی و سایر عوامل می‌توانند بر عملکرد تأثیر بگذارند و نقش آن‌ها را نباید نادیده گرفت. به‌عنوان یک پیشنهاد می‌-

در این تحقیق، صفات مختلفی بررسی شدند و ژنوتیپ‌های M22 و M26 از نظر عملکرد شرایط بهتری را نسبت به سایرین نشان دادند. اگرچه نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه وجود دارد، اما عملکرد کلی به‌عنوان نتیجه کلی آن‌ها گزینه مطلوبی است. این ژنوتیپ‌ها با شرایط مدیریتانه‌ای سازگار هستند و گزینه‌های مطلوب برای آن مناطق محسوب می‌شوند. در مطالعات مربوط به همین منطقه، منابع ژنتیکی عدس ایتالیایی توسط لاقتی و همکاران (Laghetti et al., 2008) به‌عنوان ابزاری اساسی برای اصلاحگران مورد بررسی قرار گرفت. براساس مطالعات آن‌ها، ایتالیا به‌دلیل قرار گرفتن در بین مناطق مدیریتانه‌ای، منطقه خوبی برای نتیجه‌گیری مناسب در خصوص این محصول است. پس از بررسی‌های بیشتر، ژنوتیپ‌های هر منطقه را می‌توان در کشورهایی با شرایط آب‌وهوایی مشابه بررسی کرد. با توجه به وجود ژنوتیپ‌های مختلف تحت بررسی، تفاوت در نتایج تا حدودی طبیعی است، اما نتایج کلی زمانی مطلوب است که عملکرد آن به‌عنوان یک صفت اساسی برای آن ژنوتیپ‌ها پس از ارزیابی‌های متوالی قابل اعتماد باشد. در سایر مطالعات انجام‌شده در منطقه مدیریتانه، تکلو و همکاران (Toklu et al., 2009) ویژگی‌های زراعی-ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های عدس ترکیه را بررسی کردند که براساس آن، عملکرد بیولوژیکی با وزن و تعداد غلاف/دانه در هر بوته و همچنین تعداد و وزن دانه در هر بوته مرتبط بود. عملکرد یک صفت پیچیده است که می‌توان آن را به اجزای مختلف تقسیم کرد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های مختلف را می‌توان به گروه‌های مختلف تقسیم کرد. نتایج دو مطالعه تا حد زیادی از نظر صفات مرتبط با عملکرد، یکدیگر را تأیید می‌کنند و ژنوتیپ‌های سازگار در هر دو منطقه را با توجه به شباهت‌های نسبی اقلیمی می‌توان برای مطالعات بیشتر مورد توجه قرار داد.

کوماری و چاندرا (Kumari & Chandra, 2011) تأثیر اندازه بذر بر رشد غلاف عدس را بررسی کردند و دریافتند که ژنوتیپ DPL62 اندازه بذر بزرگ‌تر و مدت زمان پُر شدن دانه طولانی‌تری نسبت به IPL 211 با دانه‌های کوچک نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت اندازه بذر بر سرعت رشد دانه است. به‌طورکلی، اندازه غلاف بزرگ‌تر بر اندازه نهایی دانه تأثیر می‌گذارد و در غلاف‌های کوچک‌تر، دانه‌های کوچک‌تری تشکیل می‌شوند که در نهایت باعث کاهش عملکرد می‌شود. نوع ژنوتیپ در این زمینه بسیار مهم است. برای دستیابی به عملکرد بهتر، شرایط تغذیه‌ای گیاه نیز باید بررسی شود تا به نتیجه دقیق‌تری دست یافت.

در این تحقیق، اگرچه تعداد هفت صفت بررسی شده محدود بود، اما همه آن‌ها مهم بودند. ژرم‌پلاسما عدس ایتالیایی توسط مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2014) مورد مطالعه قرار گرفت و

آن‌ها گزارش دادند که تنوع قابل توجهی بین ژنوتیپ‌ها، خاستگاه‌ها و جمعیت‌ها از نظر عملکرد وجود دارد که برنامه‌های اصلاحی را تضمین می‌کند. مهم‌ترین صفات در مطالعات آن‌ها عملکرد دانه، تعداد دانه در هر بوته، تعداد روز تا رسیدگی و تعداد غلاف در هر بوته بود که در مطالعه حاضر نیز بسیار مهم بودند و سهم بسیار زیادی در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر داشتند. بنابراین، نتایج آن‌ها یکدیگر را تأیید می‌کند. اگرچه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بودند، اما ژنوتیپ‌های مدیریتانه‌ای در مقایسه با سایرین، وضعیت خوبی را برای اکثر صفات نشان دادند. در این تحقیق، ویژگی‌های دانه مورد مطالعه قرار نگرفت و وزن و تعداد آن در غلاف بررسی شد. تمام ویژگی‌های زراعی عدس ارزشمند هستند و هر یک از آن‌ها را می‌توان در جای خود بررسی کرد. در این راستا، چودھاری و همکاران (Choudhary et al., 2017) ویژگی‌های ریخت‌شناسی ۴۸ ژنوتیپ عدس را براساس شش صفت بررسی کردند. تقریباً همه آن‌ها لپه‌های نارنجی داشتند (به‌جز PL6 که زرد بود) و فقط IC201738 سیاه مشاهده شد. برای نوع گیاه، ژنوتیپ‌ها به دسته‌های مستقیم، نیمه‌پراکنده و پراکنده طبقه‌بندی شدند و سه گروه مختلف سبز روشن، سبز متوسط و سبز تیره نیز تشکیل شدند. در تحقیق حاضر، ویژگی‌های رنگ بذر بررسی نشد و مطالعه بر روی تعداد آن در غلاف و وزن انجام شد که در نهایت عملکرد کلی را تعیین می‌کنند. در این تحقیق، طول دوره گل‌دهی رابطه مستقیمی با عملکرد نشان داد که با نتایج پریتی و همکاران (Preiti et al., 2024) که عملکرد ژرم‌پلاسما عدس را در یک محیط نیمه‌خشک مطالعه کردند، مطابقت داشت. آن‌ها نتیجه گرفتند که گل‌دهی و وزن هزاردانه مهم‌ترین صفات مرتبط با عملکرد هستند. به‌طورکلی، گل‌دهی زودهنگام به‌عنوان سازوکاری برای غلبه بر تنش‌های غیرزیستی عمل می‌کند. اگر طول دوره گل‌دهی کوتاه‌تر باشد، گیاه زمان بیشتری برای پُر کردن دانه خواهد داشت و بر همین اساس عملکرد نیز افزایش می‌یابد. این وضعیت در مورد برخی از ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر مشاهده شد. از آنجایی که نوع ژنوتیپ مورد بررسی متفاوت است و مطالعات این تحقیق طی دو سال (۱۴۰۱-۲ و ۱۴۰۲-۳) در یک منطقه انجام شد، برای رسیدن به نتیجه قطعی، مطالعات تکمیلی لازم است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، هدف بررسی تنوع ژنوتیپ‌های عدس از نظر ویژگی‌های زراعی بود که M22 و M26 براساس عملکرد دانه مطلوب ارزیابی شدند و همبستگی عملکرد با سایر صفات بررسی شده نیز مشخص است. در مجموع، ژنوتیپ‌های مدیریتانه‌ای وضعیت بهتری نسبت به ژنوتیپ‌های جهانی و ارقام شاهد نشان دادند که برای دستیابی به نتایج نهایی، مطالعات تکمیلی روی ژنوتیپ‌ها لازم

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ایلام و معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم (سرارود) که در حمایت مالی و معنوی از این تحقیق تمام تلاش خود را انجام داده‌اند، نهایت قدردانی به عمل می‌آید.

است. برای این کار، ژنوتیپ‌ها باید در چندین سال با تکرارهای بیشتر بررسی شوند. نویسندگان مقاله به سایر محققان توصیه می‌کنند که مطالعات بیشتری روی ژنوتیپ‌های مختلف این گیاه ارزشمند انجام دهند تا ژنوتیپ‌های مناسب با عملکرد بهینه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی کشور انتخاب شوند.

References

- Azizi Chakharchman, S., Mostafaei, H., Hasanpanah, D., Kazemi-Arbat, H., & Yarnia, M. (2010). Experiment on yield causality and seed yield components of promising lentil genotypes under dry conditions. *Ecology of Agricultural Plants*, 5(4), 45-56. (In Persian with English Abstract)
- Badri, H., & Simorgh, S. (2023). Review on resistance of lentil varieties to the blight disease caused by *Ascochyta lentis*, with emphasis on genetic aspects. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 18(1), 1-14. <https://doi.org/10.52543/tjpp.18.1.1>
- Barrero, R. A., Bellgard, M., & Zhang, X. (2011). Diverse approaches to achieving grain yield in wheat. *Functional and Integrative Genomics*, 11, 37-48. <https://doi.org/10.1007/s10142-010-0208-x>
- Bedasa, T. (2021). Identification of lentil genotypes for resistance to ascochyta blight (*Ascochyta lentis*). *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 12(10), 1-5.
- Choudhary, R., Verma, S., Panwar, R., Chourasiya, V., & Pandey, D. (2017). Morphological characterization of lentil (*Lens culinaris* Medik.) varieties based on six qualitative traits. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 6(5), 1611-1615.
- Datta, S., Sarker, M., & Uddin, F. (2013). Effect of variety and level of phosphorus on the yield and yield components of lentil. *Crop Science*, 51(6), 2412-2422.
- Hasanuzzaman, M., Araújo, S., & Gill, S.S. (2020). The Plant Family Fabaceae, Springer, Singapore, 250 pp.
- Kayan, N., & Olgun, M. (2012). Evaluation of yield and some yield components in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *International Journal of Agriculture, Research and Review*, 2(6), 834-843.
- Kumari, J., & Chandra, S. (2011). Influence of seed size on pod development in lentil (*Lens culinaris*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(4), 380-82.
- Laghetta, G., Piergiovanni, A. R., Sonnante, G., Lioi, L., & Pignone, D. (2008). The Italian lentil genetic resources: A worthy basic tool for breeders. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2, 48-59.
- Majnoun Hosseini, N., & Naghavi, M. (2017). Genetic variation for seed yield and biomass in some lentil genotypes (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Agricultural Plant Sciences*, 48(3), 665-671. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.208181.654121>
- Mekonnen, F., Mekbib, F., Kumar, S., Ahmed, S., & Sharma, T. (2014). Phenotypic variability and characteristics of lentil (*Lens culinaris* Medik.) germplasm of Ethiopia by multivariate analysis. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 2(6), 104-116.
- Mishra, G. P., Ankita, Ask, M. S., Tontang, M. T., Choudhary, P., Tripathi, K., & Stobdan, T. J. P. (2022). Morphological, molecular, and biochemical characterization of a unique lentil (*Lens culinaris* medik.) genotype showing seed-coat color anomalies due to altered anthocyanin pathway. *Plants*, 11(14), 1815. <https://doi.org/10.3390/plants11141815>
- Moradi, S., Saba, J. Tavakoli, A., & Afsahi, K. (2020). Investigating the diversity of agromorphological traits in native lentil populations of Zanjan province and selecting superior genotypes for rainfed conditions. *Journal of Crop Production*, 12(4), 171-186. (In Persian with English Abstract)
- Nabati, J., Nezami, A., Hasanfard, A., Zare Mehrjerdi, M., & Rastgoo, M. (2021). Selection of lentil (*Lens culinaris* medik.) genotypes by assessing phenological, morphological, yield and yield attributes. *Iran Agricultural Research*, 40(1), 51-60. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22099/IAR.2021.39466.1427>
- Nouri Goghari, M., Dashti, H., Madah Hosseini, S., & Dehghan, A. (2014). Investigating the genetic diversity in the lentil gene pool using morphological traits in Bradsir. *Sciences of Agricultural Plants in Iran*, 45(4), 555-541. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.53564>
- Olivoto, T., Lúcio, A., & Evolution. (2020). Metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(6), 783-789. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>

- Pacheco, A., Vargas, M., Alvarado, G., Rodríguez, F., López, M., Crossa, J., & Burgueño, J. (2016). GEA-R (Genotype x Environment Analysis with R for Windows.) Version 4.0. International Maize and Wheat Improvement Center.
- Parveen, K., & Bhuiya, M. (2010). Effect of method of sowing and seed rate on the yield and yield components of lentil. *Journal of Agroforestry Environment*, 4(1), 155-157.
- Preiti, G., Calvi, A., Badagliacca, G., Lo Presti, E., Monti, M., & Bacchi, M. (2024). Agronomic performances and seed yield components of lentil (*Lens culinaris* Medikus) germplasm in a semi-arid environment. *Agronomy*, 14(2), 303. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020303>
- Sadeghzadeh-Ahari, D., & Farayedi, Y. (2020). Study on variation of some agronomic traits and seed yield of a lentil landrace from Kouhin region in Ghazvin. *Iranian Journal Pulses Research*, 11(1), 152-162. <https://doi.org/10.22067/IJPR.V11I1.74888>
- Sadras, V., & Calderini, D. (2020). *Crop physiology Case Histories for Major Crops*: Academic Press, Elsevier.
- Saman, S. M., Mozafari, J., Daezi, S., Abbasi Moghadam, A., & Mustafaei, H. (2013). Evaluation of genetic diversity of seed and seed characteristics in Iranian lentil germplasm. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 14(2), 182-171. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.15625540.1391.14.2.6.9>
- Toklu, F., Biçer, B., & Karaköy, T. (2009). Agro-morphological characterization of the Turkish lentil landraces. *African Journal of Biotechnology*, 8(17), 4121-4127.
- Yadav, S. S., McNeil, D., & Stevenson, P. C. (2007). *Lentil: An Ancient Crop for Modern Times*. Springer Science & Business Media, Dordrecht, The Netherlands, 472 pp.
- Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis and trait relations of soybean. *Crop Science*, 48(2), 417-423. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1100>
- Zyaie, S., Nezami, A., Valizadeh, J., & Jafari, M. (2014). Evaluation of possible autumn planting of lentil in Saravan condition. *Applied Field Crops Research*, 27, 55-62.



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

Batool Mohammad Karimi¹, Yaser Alizadeh^{1*}, Rahim Naseri¹, Fereshteh Darabi¹

Received: 19 August 2025
Revised: 13 October 2025
Accepted: 21 October 2025
Available Online: 21 October 2025

Cite this article:

Mohammad Karimi, B., Alizadeh, Y., Naseri, R., & Darabi, F. (2025). Investigating the effect of irrigation intervals and the use of biological and chemical fertilizers on the yield, yield components and some stomatal traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 315-330. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.94986.1115>

Introduction

Pulses, particularly cowpea (*Vigna unguiculata* L.), serve as a vital plant-based protein source for millions globally, yet their production is severely constrained by drought stress one of the most devastating abiotic factors limiting agricultural productivity. Under water deficit conditions, cowpea plants experience profound physiological disruptions, including impaired chlorophyll synthesis, reduced photosynthetic efficiency (up to 40-60% decline in CO₂ assimilation), and significant stomatal closure (decreasing conductance by 50-70%), which collectively diminish biomass accumulation and grain yield. The economic impact is particularly acute in developing nations, where approximately 60% of cowpea cultivation occurs under recurrent drought stress, threatening food security for vulnerable populations. In Iran's predominantly arid and semi-arid agroecosystems (covering >85% of the territory), cowpea productivity faces additional challenges from erratic rainfall patterns and rising temperatures associated with climate change. Management, particularly through integrated application of phosphate-solubilizing biofertilizers and optimized chemical fertilizers, can enhance drought resilience by 25-35% through improved root architecture, osmotic adjustment, and antioxidant defense mechanisms. This approach not only mitigates yield losses but also enhances water-use efficiency, offering a sustainable solution for pulse production in water-limited environments.

Materials and Methods

This experiment was conducted in the 2023-2024 cropping season in Eyvan County, Ilam Province, using a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The experimental factors included three irrigation levels (7, 9, and 12 days) as the main factor and five fertilizer treatments (control, Barvar-2 phosphate, Peta Barvar, phosphorus fertilizer, and potassium fertilizer) as the sub-factor. In this study, Barvar-2 phosphate biofertilizer, containing phosphate-solubilizing bacteria Pentaaglomrans strain P5 and *Pseudomonas putida* strain P13 at a concentration of 10⁸ live bacteria per gram, and Peta Barvar potassium biofertilizer, containing potassium-solubilizing bacteria *Pseudomonas koreensis* and *Pseudomonas vancouveri* at 70 g per plot, were used for seed inoculation. Seeds were surface-sterilized with a 0.05% solution prior to inoculation. Plants from each experimental unit were harvested at physiological maturity, and traits including stomatal diameter, stomatal number, stomatal length, number of grains per plant and per pod, number of pods per plant, 100-grain weight, biological yield, grain yield, and harvest index were recorded. Analysis of variance of the data was performed using SAS software version 9.4, and the least significant difference (LSD) test was used to assess the significance of treatment means at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that demonstrated that water deficit from extended irrigation intervals (9-12 days) imposed severe physiological constraints on cowpea (*Vigna unguiculata*), manifesting in a 35-40% reduction in stomatal conductance, 28% decrease in pod formation, and 32% decline in final grain yield relative to the 7-day irrigation benchmark. The biofertilizer Phosphate Barvar-2 emerged as a critical mitigation tool, preserving 85-90% of yield potential under moderate drought (9-day intervals) through three synergistic mechanisms: (1) a 45% enhancement in phosphorus bioavailability via microbial solubilization, (2) 28% greater root biomass accumulation that improved water/nutrient

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

* Corresponding Author: y.alizadeh@ilam.ac.ir



foraging, and (3) maintenance of photosynthetic activity at 75-80% of well-watered levels during peak stress periods. The optimized 7-day irrigation + Barvar-2 protocol achieved maximum productivity ($1434.95 \text{ kg.ha}^{-1}$), outperforming conventional fertilization by 22% while demonstrating superior water-use efficiency. Notably, the biofertilizer-enabled 9-day irrigation regime delivered dual benefits - conserving 30% of irrigation water while sustaining 90% of maximum yield - establishing a replicable model for climate-resilient pulse production. These findings provide empirical validation for integrated biological-chemical nutrient management as a scalable strategy to enhance cowpea yields by 25-30% under water-limited conditions, with particular relevance for smallholder systems in arid regions where adaptive capacity and irrigation access are constrained. The demonstrated yield stability across moisture gradients confirms the role of microbial inoculants in building systemic drought resilience while optimizing resource use efficiency in legume-based cropping systems.

Conclusions

This study revealed that drought stress induced by extended irrigation intervals (9-12 days) significantly reduced cowpea growth and yield parameters, with 12-day cycles causing a 35-40% decline in stomatal conductance, 28% fewer pods per plant, and 32% lower grain yield compared to 7-day irrigation. Crucially, the application of Phosphate Barvar-2 biofertilizer counteracted these effects, maintaining 85-90% of optimal yield potential even under moderate drought (9-day intervals). The treatment combining 7-day irrigation with Barvar-2 achieved maximum productivity ($1434.95 \text{ kg.ha}^{-1}$), demonstrating 22% higher yields than conventional fertilization. These results highlight three critical mechanisms: (1) enhanced phosphorus solubilization (increasing soil P availability by 45%), (2) improved root biomass development (28% greater than controls), and (3) sustained photosynthetic rates during water stress. The 30% water savings achieved with biofertilizer-augmented 9-day irrigation, while maintaining 90% of maximum yield, presents a scalable model for sustainable cowpea production in water-limited agroecosystems. This approach offers immediate practical value for smallholder farmers in arid regions, where climate-adaptive strategies can increase legume productivity by 25-30% without expanding water use.

Acknowledgement

The authors sincerely acknowledge the financial support of the Research and Technology Deputy of Ilam University, particularly the Faculty of Agriculture, whose guidance and cooperation have played a valuable role in the completion of this research.

Keywords: Barvar-2 phosphate, Drought stress, Harvest index, Leaf stomata, Potassium



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

بتول محمدکریمی^۱، یاسر علیزاده^{۱*}، رحیم ناصری^۱، فرشته دارابی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

چکیده

این آزمایش در فصل زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شهرستان ایوان استان ایلام به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۷، ۹ و ۱۲ روز) به عنوان عامل اصلی و پنج تیمار کودی (شاهد، کود زیستی بارور-۲ فسفات، پتاسه بارور، کود فسفر و کود پتاسیم) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی حاصل از افزایش فاصله آبیاری به ۱۲ روز موجب بروز محدودیت‌های فیزیولوژیکی قابل توجهی در لوبیا چشم‌بلبلی گردید که به صورت کاهش ۲۸ درصدی تعداد غلاف در بوته و ۳۲ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد (آبیاری در فواصل ۷ روزه) بود. کود زیستی بارور-۲ فسفات به عنوان ابزار کلیدی در کاهش این اثرات عمل کرد و توانست در شرایط تنش ملایم (آبیاری ۹ روزه) ۹۰ درصد پتانسیل عملکرد را حفظ نماید. در تیمار ترکیبی آبیاری ۷ روزه همراه با بارور-۲، بیشترین عملکرد (۱۴۳۴/۹ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که ۲۲ درصد بیشتر از کوددهی مرسوم بود. رژیم آبیاری نه روزه همراه با کود زیستی دارای مزیت دوگانه صرفه‌جویی ۳۰ درصد آب آبیاری همراه با حفظ ۹۰ درصد حداکثر عملکرد بود. بررسی حاضر نشان داد که مدیریت تغذیه‌ای مناسب با استفاده از کود زیستی بارور-۲ فسفات می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر در ارتقاء تاب‌آوری لوبیا چشم‌بلبلی در برابر محدودیت‌های آبی عمل کند. از این رو، کاربرد کود زیستی در کنار مدیریت بهینه آبیاری می‌تواند به عنوان الگویی عملی و سازگار با تغییر اقلیم برای توسعه سامانه‌های کشت حبوبات در شرایط محدودیت منابع آبی توصیه گردد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تنش خشکی، روزنه برگ، شاخص برداشت، فسفات بارور

مقدمه

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) متعلق به خانواده بقولات و از جمله محصولات زراعی مهم جهان محسوب می‌شود که توانایی رشد در شرایط متنوع آب‌وهوایی و خاکی را دارد و از نظر ارزش تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت است (Bakhshi et al., 2021). دانه‌های این گیاه حاوی حدود ۲۵ درصد پروتئین با کیفیت بالا، کربوهیدرات‌ها، اسیدفولیک، ترکیبات فنلی و مواد معدنی ضروری می‌باشند (Carvalho et al., 2019). علاوه بر این لوبیا چشم‌بلبلی با توانایی تثبیت نیتروژن و بهبود حاصلخیزی خاک، نقش مهمی در حفظ پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند که با توجه به تغییرات اقلیمی و مقاومت قابل توجه این گیاه در برابر خشکی، اهمیت کشت آن در مناطق گرم و خشک افزایش یافته است (Menssen et al., 2017; Yao et al., 2016). از این رو یکی از حبوبات مقاوم به شرایط کم‌آبی به شمار می‌رود (Carvalho et al., 2019) و توانایی رشد و تولید محصول حتی در محیط‌های تنش‌زا مانند دماهای بالا، خشکسالی و

حاصلخیزی پایین خاک را دارد؛ به همین دلیل این گیاه می‌تواند به عنوان یک محصول جایگزین ارزشمند در مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی شود (Ehlers & Hall, 1997; Chikoye et al., 2014). بسته شدن روزنه‌ها از جمله اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است و به نظر می‌رسد که علت اصلی اختلال فتوسنتز ناشی از خشکی است که این فرآیند موجب کاهش تبخیر و از دست رفتن آب گیاه می‌شود (Tosens et al., 2012). مطالعات نشان داده‌اند که شدت و مدت زمان تنش خشکی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملکرد روزنه‌ها، تعادل آب گیاه و در نهایت عملکرد دانه در لوبیا داشته باشد (Rashidi et al., 2022; Ghalandari et al., 2019; Munjonji et al., 2018).

همچنین تنش خشکی منجر به کاهش فعالیت فتوسنتزی و کاهش عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن دانه در لوبیا چشم‌بلبلی می‌شود (Wu et al., 2022). بررسی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا به شرایط تنش خشکی نشان داده است که این تنش باعث کوتاه شدن دوره رشد زایشی گیاه می‌گردد (Merwad et al., 2018). همچنین براساس مطالعات انجام‌شده، تنش خشکی موجب کاهش ۸۰ درصدی عملکرد دانه، ۶۰ درصدی تعداد غلاف در بوته،

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
* - نویسنده مسئول: y.alizadeh@ilam.ac.ir

۲۶ درصدی تعداد دانه در غلاف و ۱۳ درصدی وزن ۱۰۰ دانه شده است (Kroner et al., 2017).

تغذیه مناسب گیاهی در بالا بردن سد تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش بسزایی دارد که در این میان، استفاده صحیح از کودهای شیمیایی و آلی و به‌کارگیری راهبردهای مدیریت یکپارچه مواد مغذی (INM)، به‌ویژه در مناطق با منابع محدود، می‌تواند به افزایش تولید و پایداری کشاورزی کمک کند و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله تولید زیست‌توده را بهبود بخشد (Kiran et al., 2020). در مطالعه‌ای نشان داده شد که استفاده از کودهای زیستی بارور ۲ باعث بهبود عملکرد گیاهان تحت شرایط کم‌آبی شده است (Hassanpour et al., 2020). همچنین نتایج دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) روی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که استفاده از کود فسفات بارور ۲ همراه با سطح آبیاری ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد دانه در غلاف، عملکرد زیستی و عملکرد دانه شد. همچنین بهبود جذب مواد مغذی ممکن است باعث افزایش تاب‌آوری گیاه در برابر تنش آبی شود و به‌طور غیرمستقیم بر رفتار روزه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفات تیمار شدند حتی در شرایط خشکی، هدایت روزه‌ای بهتری داشتند و ریخت‌شناسی برگ آن‌ها بهبود یافت (Petrík et al., 2020; Zahara et al., 2021). همچنین کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت روزه‌ای نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد روزه‌ها است (Jin et al., 2015). با وجود تحقیقات متعدد در زمینه تنش خشکی، هنوز اطلاعات کافی درباره نقش کودهای زیستی و شیمیایی در کاهش خسارت خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی، به‌ویژه در بوم‌نظام‌های خشک ایران وجود ندارد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی تحت سطوح مختلف آبیاری بر صفات روزه و مؤلفه‌های

عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی طراحی شد تا رویکردی نوین برای مدیریت پایدار این محصول ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان ایوان، ۳۵ کیلومتری شمال غربی ایلام (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح (۷، ۹ و ۱۲ روز) به‌عنوان عامل اصلی و پنج سطح کود (شاهد، فسفات بارور-۲، پتا بارور، کود فسفر و کود پتاسیم) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاک مزرعه محل اجرای آزمایش و همچنین اطلاعات هواشناسی منطقه در دوره زمانی انجام آزمایش، به‌ترتیب در جدول ۱ و جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش در قالب جوی و پشته (کاشت بر روی پشته) با ابعاد ۴/۵ × ۱/۵ متر که شامل پنج ردیف به‌طول ۴ متر و عرض ۵۵ سانتی‌متر اجرا شد. همچنین فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که مساحت هر کرت ۱۱ مترمربع محاسبه گردید. عملیات تهیه زمین به‌صورت دو دیسک عمودبرهم، مال و ایجاد جوی و پشته بود. در این آزمایش از بذور لوبیا چشم‌بلبلی رقم محلی رایج منطقه استفاده شد. کشت با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر با تراکم ۲۰ بوته در هر مترمربع به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی در عمق سه تا چهار سانتی‌متر در تاریخ ۷ خرداد ۱۴۰۱ انجام شد. پس از سبز شدن برای حصول تراکم مطلوب، بوته‌ها تنک گردید. آبیاری به‌صورت غرقابی از زمان کاشت آغاز گردید و پس از رسیدن گیاه به مرحله پنج‌برگی، اعمال تیمارهای آزمایشی آغاز شد. وجین علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

اسیدیته pH	شوری (دسی‌زیمنس بر متر) E.C (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available N (ppm)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available K (ppm)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) Available P (ppm)	بافت Texture
7.06	0.15	1.2	0.125	370.3	8.30	لومی شنی Clay loam

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی محل آزمایش در سال ۱۴۰۳ (ایستگاه هواشناسی ایوان)

Table 2- Meteorological data of the experimental site in the crop year 2024 (Ivan Meteorological Station)

ماه Month	کمینه دما (درجه سلسیوس) Minimum temperature (°C)	بیشینه دما (درجه سلسیوس) Maximum temperature (°C)	میانگین دما (درجه سلسیوس) Average temperature (°C)	رطوبت نسبی (درصد) Relative humidity (%)	مجموع بارندگی (میلی متر) Total rainfall (mm)
ادیهشت April	14.6	29.7	22.1	31	30.8
خرداد May	18	34.9	21.4	15	0
تیر July	21.4	37.5	29.5	16	1.4
مرداد August	24	40.3	32.1	13	0
شهریور September	19.6	36	27.8	15	0

کشور ژاپن) تعداد روزنه‌ها شمارش و طول و قطر آن‌ها با عدسی چشمی مجهز به میکرومتر اندازه‌گیری شد (Darabi et al., 2020).

اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه

در پایان فصل رشد و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، پس از حذف بوته‌های حاشیه‌ای از دو طرف هر کرت، محصول دانه برداشت شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد دانه، در مراحل انتهایی رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد دانه در هر غلاف شمارش گردید. همچنین برای تعیین تعداد غلاف در واحد سطح، از کادری به ابعاد یک مترمربع استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه، ۱۰۰ بذر از هر تیمار به‌طور تصادفی شمارش و وزن دانه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام گرفت. جهت محاسبه عملکرد دانه و عملکرد زیستی، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، ابتدا عملکرد زیستی قبل از جدا کردن دانه‌ها وزن شد و پس از جدا کردن کاه و کلش، عملکرد دانه محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) مورد بررسی قرار گرفت. در صورت معنی‌دار بودن اثرات متقابل از روش برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Lsmeans صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

قبل از کاشت، بذرها با کودهای زیستی فسفات‌ه بارور-۲ حاوی 10^8 باکتری حل‌کننده فسفات *Pantoea agglomerans* سویه P5 و *Pseudomonas putida* سویه P13 و پتآبارور، حاوی دو باکتری حل‌کننده پتاسیم شامل سودوموناس گره‌ای و سودوموناس ونکووری تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور سبز به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر مال شدند و بلافاصله کشت انجام گردید (Hossinzadeh & Pirzad, 2025). همچنین کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین آزمایش داده شدند. پیش از تلقیح، بذرها با محلول سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ درصد ضدعفونی سطحی شده، سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و آب سطحی آن‌ها با استفاده از کاغذ صافی استریل گرفته شد (Ceritoglu et al., 2023). به‌منظور بهبود فرآیند پیش‌تیمار، از صمغ عربی برای پوشش‌دهی استفاده گردید (Seyed Sharif & Seyed Sharifi, 2020). پس از آن، بذرها به مدت چهار ساعت در تیمارهای مختلف کودی غوطه‌ور شده و در دستگاه شیکر قرار گرفتند (Saber et al., 2021). سرانجام، بذرها پیش‌تیمار شده به مدت یک ساعت در شرایط آزمایشگاهی خشک شدند تا به رطوبت اولیه خود برسند (Saber et al., 2021).

اندازه‌گیری صفات

آناتومی برگ

برای اندازه‌گیری تعداد و طول روزنه‌ها، در زمان پُر شدن نیام از سه نمونه برگ برای هر تیمار از ناحیه‌ای یکسان نمونه‌گیری شد. لایه‌ای نازک از لاک شفاف رقیق‌شده با استون بر سطح برگ کشیده و پس از خشک شدن، با نوار چسب جدا و روی لام منتقل گردید. سپس با میکروسکوپ نوری (40X × 10X) (مدل Olympuc-cy)، ساخت

نتایج و بحث

قطر روزه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفت قطر روزه نشان داد که تنها اثرات اصلی دور آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) اثر معنی‌دار داشت (جدول ۳). میزان قطر روزه با افزایش شدت تنش کاهش یافت و بالاترین مقدار آن با میانگین ۱۶/۹۳ میکرومتر به دور آبیاری ۷ روز اختصاص داشت که در مقایسه با دور آبیاری ۱۲ روز (با میانگین ۱۳/۹۳ میکرومتر) ۱۷/۷۲ درصد افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش خشکی، تولید اسیدآسیزیک (ABA) در ریشه‌ها افزایش یافته و با انتقال به برگ‌ها موجب آغاز واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود که در نهایت قطر روزه را کاهش می‌دهد. این کاهش قطر علاوه بر محدود کردن ورود CO_2 و کاهش فتوسنتز، میزان تعرق را نیز کاهش داده و به گیاه کمک می‌کند تا آب خود را حفظ کرده و کارایی مصرف آب را در شرایط کم‌آبی بهبود بخشد (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). همچنین در شرایط کمبود آب، بسته شدن روزه‌ها، ورود دی‌اکسید کربن به برگ را مختل کرده و این امر باعث کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در جایگاه آنزیم رابیسکو شده که نتیجه آن کاهش فتوسنتز و افزایش تنفس نوری و در نهایت کاهش ماده خشک تولیدی و متعاقب آن کاهش عملکرد خواهد بود (Kermizadeh Sureshjani et al., 2016). در همین راستا تحقیقات نشان داد که قطر روزه لوبیا (Polania et al., 2022) و عدس (*Lens esculinaris*) (Abo Hegazy et al., 2022) با افزایش تنش خشکی کاهش پیدا کرد. این تغییرات ریخت‌شناختی روزه‌ها ممکن است توانایی گیاه برای سازگاری با تنش خشکی را افزایش دهد.

طول روزه

نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر دور آبیاری بر طول روزه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). طول روزه با افزایش شدت تنش افزایش یافت و بالاترین مقدار آن با میانگین ۲۷ میکرومتر به دور آبیاری ۱۲ روز اختصاص داشت که در مقایسه با دور آبیاری ۷ روز (با میانگین ۲۴ میکرومتر) ۱۰ درصدی افزایش داشت (جدول ۵). در شرایط تنش آبی، گیاهان معمولاً با کاهش طول و تراکم روزه به‌عنوان یک راهبرد برای حفظ آب واکنش نشان می‌دهند (Alam, 2011; Zholobova et al., 2024). همچنین افزایش طول روزه در شرایط خشکی می‌تواند یک پاسخ سازشی گیاه باشد تا تعادل بین بازدهی فتوسنتزی و کاهش اتلاف آب حفظ شود. در شرایط کم‌آبی، روزه‌ها برای محدود کردن تبخیر و از دست دادن آب تا حدی بسته می‌شوند، اما طول بیشتر روزه می‌تواند افزایش

کنترل روی انتقال گازها و تنظیم هدایت روزه‌ای را ممکن کند. به عبارت دیگر، طول بیشتر روزه ممکن است به گیاه اجازه دهد تا تنظیم دقیق‌تر تبادل CO_2 و آب را در شرایط تنش انجام دهد و از کاهش شدید بهره‌وری مصرف آب جلوگیری کند (Rui et al., 2024). مطالعات نشان داده‌اند که تنش آبی می‌تواند منجر به افزایش طول روزه لوبیا شود (Polania et al., 2022).

تعداد روزه

برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر تعداد روزه در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی نشان داد که در تیمار دور آبیاری ۷ روز در سطح احتمال یک درصد، منبع کودی اثر معنی‌داری بر تعداد روزه برگ داشت، اما در سایر سطوح دور آبیاری تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد (جدول ۴). بیشترین تعداد روزه (با میانگین ۱۶/۳۳) در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود فسفات بارور ۲ به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه کاربرد کود پتابرور (با میانگین ۱۵/۳۳) نداشت. در مقابل، کمترین تعداد روزه (با میانگین ۹/۳۳) در شرایط دور آبیاری ۷ روزه بدون مصرف کود (شاهد) ثبت گردید (شکل ۱). تحت تنش خشکی گیاهان برای حفظ جذب دی‌اکسید کربن و ادامه فتوسنتز، ممکن است تراکم روزه‌ها را افزایش دهند تا میزان ورود دی‌اکسیدکربن به برگ‌ها حفظ شود، حتی زمانی که باز شدن روزه‌ها محدود شده است (Hasanuzzaman et al., 2023). تحقیقات نشان می‌دهند که تنش آبی باعث افزایش تراکم روزه لوبیا (Polania et al., 2022) و لوبیا قرمز (Amini et al., 2016) می‌شود. همچنین حضور قارچ‌های مایکوریزایی که معمولاً همراه با مصرف فسفر هستند، می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های روزه‌ای و افزایش نرخ تعرق شود و نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی بر فیزیولوژی برگ است (Koide, 1985). بهبود جذب مواد مغذی ممکن است باعث افزایش تاب‌آوری گیاه در برابر تنش آبی شود و به‌طور غیرمستقیم بر رفتار روزه‌ها اثر بگذارد (Segura-Monroy, 2015). تحقیقات زاهارا و همکاران (Zahara et al., 2021) و پتريک و همکاران (Petrík et al., 2020) و نشان دادند که گیاهانی که با کودهای فسفاته تیمار شدند، حتی در شرایط خشکی، هدایت روزه‌ای بهتری داشتند و ریخت‌شناسی برگ آن‌ها بهبود یافت. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد فسفر منجر به افزایش قندهای محلول و بهبود هدایت روزه‌ای نخودفرنگی تحت تنش خشکی شد که این امر نشان‌دهنده تعامل مثبت بین تغذیه فسفر و عملکرد روزه‌ها است (Jin et al., 2015). این نتایج نشان می‌دهند که زیست‌کودهای فسفاته می‌توانند مقاومت گیاهان را در برابر تنش آبی افزایش داده و عملکرد روزه‌ها و سلامت برگ را حفظ کنند.

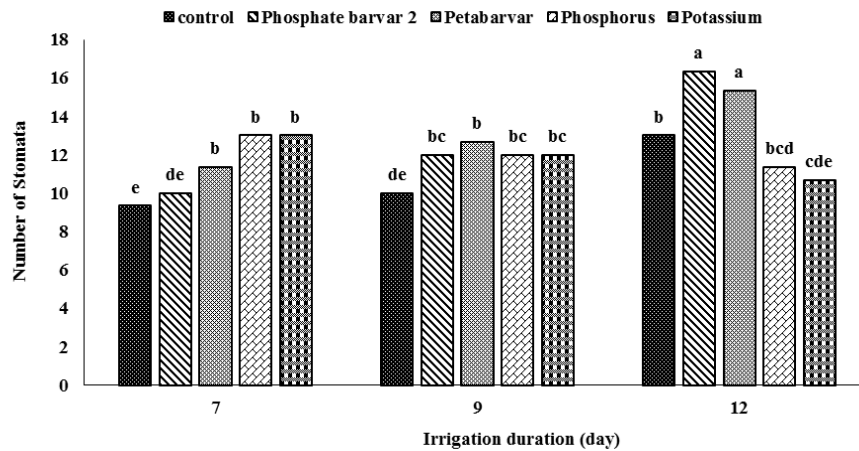
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد تحت دور آبیاری و منبع کودی لوبیا چشم‌بلبلی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of yield and yield components under irrigation frequency and fertilizer source of cowpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	قطر روزنه Stomatal diameter	طول روزنه Stomatal length	تعداد روزنه Stomatal density	تعداد غلاف Number of pods	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.95 ^{ns}	23.08 *	1.08 ^{ns}	2.05*	16.26**	4.38**	4.46 ^{ns}	35106.95 ^{ns}	1521.87 ^{ns}
دور آبیاری Irrigation duration	2	34.68**	28.15*	48.82**	10.93**	68.06**	0.76**	13.26**	19080628.68**	1916157.41**
خطای فرعی Sub-plot error	4	2.78	10.08	2.42	0.62	2.13	0.09	0.93	45102.13	3154.38
منبع کودی Fertilizer source	4	1.20 ^{ns}	4.74 ^{ns}	7.86**	8.32**	48.50**	2.85**	33.64**	3999316.62**	539586.48**
دور آبیاری × منبع کودی Irrigation × fertilizer	8	0.46 ^{ns}	9.46 ^{ns}	2.76*	0.53 ^{ns}	3.73*	0.03 ^{ns}	2.12*	517024.09**	59207.45**
خطای اصلی Main error	24	0.84	5.92	1.11	0.43	1.62	0.09	1.33	46845.17	4451.20
ضریب تغییرات (درصد) C V (%)		6.01	9.32	8.69	5.95	9.79	2.54	3.77	7.12	7.07

^{ns}, ** و *: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد
^{ns}, ** and *: non significant and significant at 1% & 5% level, respectively

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

دور آبیاری Irrigation duration	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	تعداد روزنه Stomatal density
۷ روز 7 day	4	173432**	12732.6**	10.23**	19.66**	7.6**
۹ روز 9 day	4	272926**	2050234**	10.93**	23.9**	3.06 ^{ns}
۱۲ روز 12 day	4	211644**	1709725**	16.73**	12.4**	2.73 ^{ns}



شکل ۱- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد روزنه‌های لوبیا چشم بلبلی

Figure 1- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on number stomatal of cowpea

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

تعداد غلاف

تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر آبیاری و منبع کودی بر تعداد غلاف معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۳). با افزایش فاصله بین آبیاری‌ها تا ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها افزایش و بعد از ۹ روز تعداد غلاف در بوته‌ها کاهش یافت؛ به‌طوری‌که بیشترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۱/۸۱) در دور آبیاری ۹ روزه و کمترین تعداد غلاف در بوته‌ها (۱۰/۱۶) در دور آبیاری ۱۲ روز به دست آمد (جدول ۵). در واقع، در شرایط کم‌آبی، تعداد زیادی از گل‌هایی که قابلیت تبدیل به غلاف را دارند، از بین می‌روند و در نتیجه تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد. سایر پژوهش‌ها نیز کاهش تعداد غلاف در بوته را تحت تنش خشکی، ناشی از ریزش اندام‌های زایشی مانند گل‌ها و نیام‌ها گزارش کرده‌اند (Omidi & Sepehri, 2014). اگرچه حبوبات از پتانسیل بالایی برای تبدیل جوانه‌های گل به غلاف برخوردارند، اما تحقق این پتانسیل نیازمند فراهم بودن شرایط محیطی مناسب است. در شرایط تنش رطوبتی، به‌دلیل کاهش فعالیت دانه‌های گرده و پژمردگی کلاله، رشد لوله گرده متوقف شده و در نتیجه، تشکیل غلاف کاهش می‌یابد (Mazengo & Tryphone, 2019). کاهش تعداد غلاف در بوته لوبیا بر اثر تنش خشکی در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Raisi Bidkani et al., 2025; Mohammadi et al., 2018) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کودی حاکی از متغیر بودن تعداد غلاف از ۱۱/۹۰ غلاف کود پتاپارور تا ۹/۵۴ غلاف در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) بود (جدول ۴). فراهمی بیشتر عناصر غذایی تحت تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) از طریق

تولید آنزیم‌ها و هورمون‌ها صورت می‌گیرد که موجب توسعه بهتر سامانه ریشه می‌شود. این توسعه ریشه باعث افزایش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی شده و در نتیجه رشد رویشی و زایشی گیاه را بهبود می‌بخشد. به‌دنبال آن، گل‌دهی بهتر و افزایش تشکیل غلاف و طول غلاف حاصل می‌شود (Dubey et al., 2012; Rizvi et al., 2013). منبری و همکاران (Menbari et al., 2018) گزارش نمودند کودهای زیستی پتاپارور و باکتری سینوریزوبیوم (*Sinorhizobium* sp) تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.) داشتند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است.

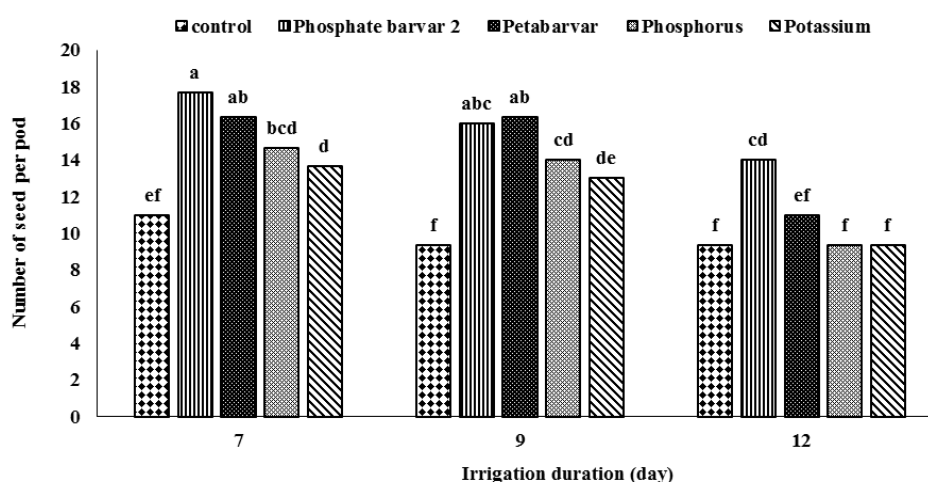
تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف نشان داد که در هر سه سطح از دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر این صفت ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱۷/۶۶) در تیمار آبیاری ۷ روزه همراه با کود فسفات بارور ۲ ثبت شد، درحالی‌که کمترین مقدار آن (۹/۳۳) در تیمار آبیاری ۱۲ روزه همراه با کود پتاسیم مشاهده گردید. این مقدار با تیمارهای آبیاری ۱۲ روزه و ۹ روزه بدون مصرف کود و همچنین آبیاری ۱۲ روزه همراه با کود فسفر تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). تأثیر منبع کودی در این تحقیق به‌وضوح مشخص شد، به‌طوری‌که کاربرد فسفات بارور-۲ در

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر دور آبیاری و منبع کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری از ۷ به ۱۲ روز، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری ۷/۱۳ درصد کاهش یافت (جدول ۵). تنش خشکی با کاهش ظرفیت فتوسنتزی در برگ‌های زیرین همراه است که بر جابه‌جایی مواد فتوسنتزی به دانه‌ها تأثیر منفی می‌گذارد. این کاهش در دسترسی به مواد مغذی، عاملی اساسی است که توسعه و وزن دانه‌ها را محدود می‌کند (Du et al., 2024). همچنین بیشترین وزن ۱۰۰ دانه (۱۱/۹۰ گرم) در کود پتاپارور به‌دست آمد، درحالی‌که کمترین وزن ۱۰۰ دانه (۹/۵۴ گرم) در شرایط عدم استفاده از کود (شاهد) مشاهده شد (جدول ۶). علت این امر ممکن است به‌دلیل اثرات مفید کود زیستی در افزایش رشد ریشه، عرضه مناسب عناصر غذایی، افزایش سطح برگ، بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد در دانه‌ها باشد (Pouryousef et al., 2010). جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) نیز در پژوهشی روی گیاه کنجد (*Sesamum indicum*) مشاهده کردند کاربرد کودهای زیستی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه‌ها را در مرحله پس از گل‌دهی افزود و سرانجام وزن دانه افزایش یافت. دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) تأثیر کودهای زیستی را بر عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی مورد بررسی قرار داده و به این نتایج رسیدند که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه از تیمار کود زیستی فسفات بارور ۲ و کمترین وزن ۱۰۰ دانه در شرایط عدم استفاده از کود به‌دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

شرایط آبیاری ۷ روزه منجر به افزایش تعداد دانه در غلاف گردید. کودهای زیستی علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی خاص باعث بهبود جذب سایر مواد معدنی، کاهش بیماری‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک رشد گیاه و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Welbaum et al., 2004). تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که استفاده از کودهای فسفاتی، از جمله بارور ۲، می‌تواند اجزای عملکرد مانند تعداد غلاف در ماش (*Vigna radiate* L) را بهبود بخشد (Shakori & Sharifi, 2016). همچنین کاهش فتوسنتز در شرایط تنش آبی موجب کاهش تعداد دانه‌ها و اختلال در فرآیند رشد آن‌ها می‌شود، به‌ویژه زمانی که رطوبت خاک به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. این شرایط می‌تواند تولید گل و غلاف را کاهش داده و نرخ سقط آن‌ها را افزایش دهد (Kong et al., 2015). قاسم‌بگلو و همکاران (Ghasemabaglou et al., 2021) گزارش نمودند که مصرف کودهای زیستی تحت تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و طول غلاف در گیاه نخودفرنگی (*Pisum sativum*) می‌شود. همچنین دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) بیان نمودند که مصرف کود فسفات بارور ۲- در سطح آبیاری ۵۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی به‌طور معنی‌داری موجب افزایش تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

وزن ۱۰۰ دانه



شکل ۲- برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 2- The interaction effect of irrigation duration × fertilizer source on number of seeds per pod of cowpea.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

جدول ۵- اثر دور آبیاری بر تعداد روزنه و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

Table 5- Effect of irrigation duration on stomata number and yield components of cowpea

دور آبیاری (روز)	قطر روزنه (میکرومتر)	طول روزنه (میکرومتر)	تعداد غلاف در بوته	وزن ۱۰۰ دانه (گرم در مترمربع)
Irrigation duration (day)	Stomatal diameter (μm)	Stomatal length (μm)	Number of pods per plant	100-seed weight (g.m ⁻²)
7	16.93 ^{a*}	24.66 ^b	11.18 ^b	12.16 ^a
9	15 ^b	26.20 ^{ab}	11.37 ^a	11.90 ^b
12	13.93 ^c	27.40 ^a	10.16 ^c	11.71 ^c

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

* Similar letters indicate nonsignificance based on LSD test at the 5% probability level

جدول ۶ اثر منبع کودی بر تعداد روزنه و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

Table 6- Effect of fertilizer source on stomata number and yield components of cowpea

منبع کودی	تعداد غلاف در بوته	وزن ۱۰۰ دانه (گرم در مترمربع)
Source interaction	Number of pods per plant	100-seed weight (g.m ⁻²)
شاهد	9.54 ^{c*}	11.06 ^d
Control		
فسفات بارور ۲	11.83 ^a	12.23 ^{ab}
Phosphate Barvar-2		
پتابارور	11.90 ^a	12.52 ^a
Petabarvar		
فسفر	11.37 ^{ab}	11.71 ^c
Phosphorus		
پتاسیم	10.93 ^b	12.10 ^b
Potassium		

* حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

* Similar letters indicate nonsignificance based on LSD test at the 5% probability level

شاخص برداشت

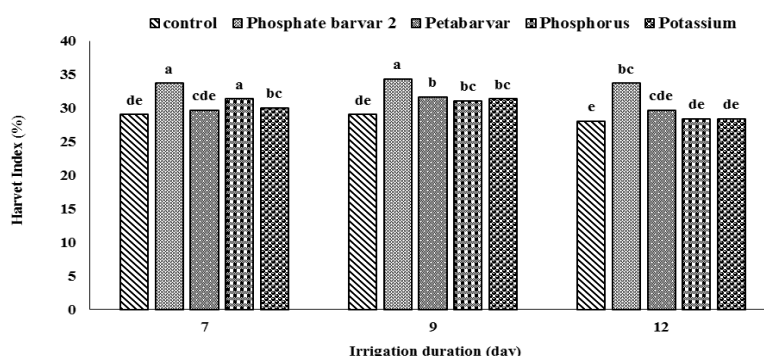
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر برهم‌کنش دور آبیاری × منبع کودی در سطح احتمال پنج درصد ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر میزان شاخص برداشت نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر این صفت ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین میزان شاخص برداشت در دور آبیاری ۷ روز به همراه کود فسفات بارور ۲ (۳۴/۳۳ درصد) مشاهده گردید که با دور آبیاری ۷ روز به همراه فسفر و دور آبیاری ۹ روز به همراه کود فسفات بارور ۲ اختلاف معنی‌داری نداشت. در مقابل، کمترین میزان شاخص برداشت در شرایط دور آبیاری ۱۲ روز بدون مصرف کود (۲۸ درصد) مشاهده گردید (شکل ۳). کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (Hasanakifard et al., 2019).

(2018). همچنین با توجه به اینکه در مراحل تشکیل دانه‌ها کمبود رطوبت باعث کاهش فتوسنتز برای پُر شدن دانه‌ها می‌شود. در نتیجه شاخص برداشت کاهش می‌یابد (Ghasemabaglou et al., 2021). در مقابل، برخی دیگر از محققان گزارش کردند که ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) نظیر گونه‌های *Pseudomonas* و *Azotobacter* با افزایش فراهمی عناصر غذایی محلول در ناحیه ریشه و تثبیت عناصر موجود در هوا موجب افزایش سرعت و میزان جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شوند. این فرآیند در نهایت به بهبود عملکرد و افزایش شاخص برداشت منجر می‌گردد (Kapulnik et al., 1985). محققان در مطالعه‌ای پیرامون تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر گیاه سویا تحت سطوح مختلف آبیاری دریافتند که تنش شدید رطوبتی منجر به کاهش شاخص برداشت می‌شود. با این حال، کاربرد همزمان کودهای زیستی *Pseudomonas* و *Azotobacter* توانست شاخص برداشت را به میزان ۲۲/۲۱ درصد افزایش دهد (Ghanbari et al., 2019).

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی بیانگر آن است که برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد زیستی با ۴۵۵۴/۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه به همراه کود فسفر و کمترین عملکرد زیستی ۱۱۳۱/۸ کیلوگرم در هکتار در شرایط دور آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود (شاهد) به دست آمد (شکل ۴). گیاه در هنگام تنش سطح برگ خود را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و به‌تبع آن سبب کاهش عملکرد زیستی می‌گردد. همچنین، کاهش تولید ماده خشک در گیاه نتیجه کوتاه‌تر شدن طول دوره رویشی و زایشی در اثر تنش رطوبتی و کاهش سطح

برگ در گیاه می‌باشد. از طرفی، خشکی باعث می‌شود تا جذب موادغذایی، انتقال یون‌ها و مواد متابولیکی کاهش یابد و سوخت‌وساز هیدرات‌های کربن و پروتئین زیادتیر شود. این امر به‌دلیل افزایش رقابت بر سر منابع و به‌ویژه آب بین گیاهان در فواصل آبیاری بیشتر بوده است (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023). همچنین کودهای زیستی که دارای چندین نوع باکتری هستند علاوه‌بر توانایی حل فسفات، قادر به تحریک رشد گیاهان و افزایش عملکرد می‌شوند (Rodriguez & Fraga, 1999). نتایج آزمایش دهمرده و همکاران (Dahmardeh et al., 2018) در مورد تأثیر کودهای زیستی و تنش خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیکی از تیمار مصرف کود فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد تخلیه مجاز و کمترین مقدار از شاهد (عدم مصرف کود زیستی) و ۹۰ درصد تخلیه مجاز حاصل گردید که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

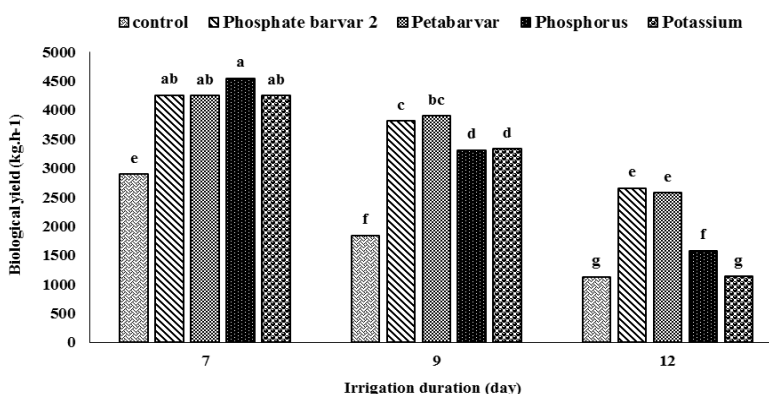


شکل ۳- برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر شاخص برداشت لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 3- The interaction effect of irrigation duration $\times$ fertilizer source on harvest index of cowpea

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.



شکل ۴- برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 4- The interaction effect of irrigation duration $\times$ fertilizer source on biological yield of cowpea

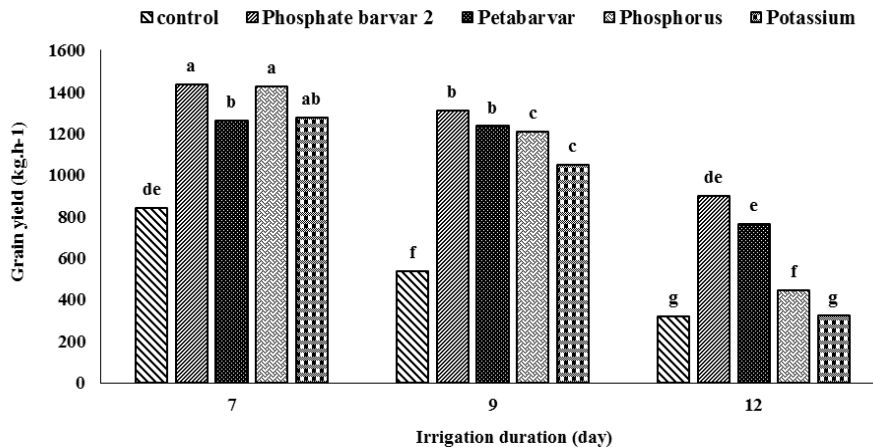
در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثرات برهم‌کنش تیمار دور آبیاری و منبع کودی بر میزان عملکرد دانه نشان داد که در همه سطوح دور آبیاری، منبع کودی اثر معنی‌داری ایجاد کرد (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه (۱۴۳۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۷ روزه به همراه مصرف کود فسفات بارور ۲ و کمترین عملکرد دانه (۳۲۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار دور آبیاری ۱۲ روزه به همراه شاهد (بدون مصرف کود) مشاهده شد (شکل ۵). علت بالاتر بودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به سایر سطوح آبیاری، وجود آب کافی در خاک است که سبب می‌شود گیاه به‌خوبی بتواند آب و عناصر غذایی مورد نیاز خود را جذب کند و از رنگیزه‌های فتوسنتزی بالاتر و در نتیجه، فتوسنتز و ماده‌سازی بیشتر و به‌تبع آن رشد و عملکرد بالاتر برخوردار باشد (Shamohammadi et al., 2024). افزون بر این، افزایش شدت تنش خشکی منجر به کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید ماده خشک می‌شود. در شرایط خشکی،

گیاه با کاهش سطح برگ، از دست دادن آب را محدود می‌کند که این امر تولید مواد فتوسنتزی را کاهش داده و در نهایت منجر به افت عملکرد دانه می‌شود. کاهش مواد فتوسنتزی ساخته‌شده، انتقال مواد به دانه را نیز کاهش می‌دهد و در نتیجه عملکرد دانه در بوته کاهش می‌یابد (Setter, 2013). از طرفی می‌توان بیان کرد که فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان است که نقش مهمی در ذخیره و انتقال انرژی شیمیایی، تسریع رشد و رسیدگی محصول، و افزایش گل‌دهی ایفا می‌کند. از این‌رو، فسفر تأثیر مستقیمی بر عملکرد دانه داشته و تأمین آن به‌میزان کافی و متعادل، برای افزایش عملکرد دانه کاملاً ضروری است (Lafond et al., 2008). بدلزاده و رفیع‌الحسینی (Badalzadeh & Rafieiolhossaini, 2023) گزارش نمودند که بیشترین عملکرد دانه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) (۵۹۰۷ کیلوگرم در هکتار) از رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر همراه با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به دست آمد. همچنین ماتا و همکاران (Mataa et al., 2019) در تحقیقات خود اعلام نمودند که افزایش فسفر خاک در شرایط تنش آبی باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه در لوبیا می‌شود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.



شکل ۵- برهم‌کنش دور آبیاری $\times$ منبع کودی بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی

Figure 5- The interaction effect of irrigation duration $\times$ fertilizer source on grain yield of cowpea.

در هر سطح دور آبیاری ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند براساس آزمون Lsmeans اختلاف معنی‌داری ندارند.

At each irrigation interval, columns sharing at least one common letter do not differ significantly according to the Lsmeans test.

صفات کاهش یافتند، ولی طول روزنه افزایش یافت. همچنین، منبع کودی نیز بر تعداد غلاف و وزن ۱۰۰ دانه تأثیرگذار بود، به‌گونه‌ای که مصرف کود زیستی پتباورر موجب بهبود این ویژگی‌ها شد. برهم‌کنش دور آبیاری و نوع کود نیز بر تعداد روزنه، تعداد دانه در غلاف، شاخص برداشت، عملکرد زیستی و عملکرد دانه تأثیری معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری ۷ روزه همراه با مصرف کود

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر فواصل آبیاری و منابع کودی مختلف بر ویژگی‌های آناتومی برگ و عملکرد گیاه لوبیا چشم‌بلبلی بررسی شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که اثر دور آبیاری بر قطر روزنه، طول روزنه، تعداد غلاف و وزن ۱۰۰ دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که با افزایش فاصله بین نوبت‌های آبیاری، این

سپاسگزاری

نویسندگان صمیمانه از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه ایلام، به‌ویژه دانشکده کشاورزی، که راهنمایی و همکاری آن‌ها نقش ارزشمندی در تکمیل این پژوهش داشته است، قدردانی می‌کنند.

فسفات‌بارور ۲ به دست آمد، درحالی که کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری ۱۲ روزه بدون مصرف کود بود. براساس نتایج به‌دست آمده جهت حصول عملکرد مطلوب لوبیا چشم‌بلبلی در منطقه مورد مطالعه، آبیاری به فواصل ۷ روز و کاربرد کود فسفات بارور ۲ مناسب خواهد بود.

References

- Abo Hegazy, S., Farag, H. M., & Yacoub, I. H. (2022). Assessment of morphological traits and yield potentiality of some Egyptian lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivars under normal and water deficit conditions. *Journal of Plant Production*, 13(4), 109-120.
- Alam, A. M. S., Kabir, G., Ud-Deen, M. M., & Hoque, E. (2011). Effect of water stress on stomatal characters of twenty one near isogenic lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bangladesh. Journal of Agricultural Research*, 36(1), 173-181.
- Amini, R., Dabbagh, M. N. A., & Ghalandarzadeh, E. (2016). Effect of mulch and water stress on some physiological traits, yield components and grain yield of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 687-699. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jsc.v13i4.30532>.
- Badalzadeh, A., & Rafieiohossaini, M. (2023). The effects of irrigation regimes, row spacing and phosphorous fertilizer on yield and yield components of *Nigella sativa* L. *Crop Production Journal*, 16(1), 43-60. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.19778.2479>.
- Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agro-morphological traits diversity in cowpea l and races originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, 12(2), 85-103. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.87704>.
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Rosa, E., Carnide, E., & Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 241, 153001. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153001>.
- Ceritoglu, M., Erman, M., Çiğ, F., Ceritoglu, F., Uçar, Ö., Soysal, S., & El Sabagh, A. (2023). Enhancement of root system architecture, seedling growth, and germination in lentil under salinity stress by seed priming with silicon and salicylic acid. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(5), 4481-4491. <https://doi.org/10.15244/pjoes/168941>.
- Chikoye, D., Abaidoo, R., & Fontem, L. A. (2014). Response of weeds and soil microorganisms to imazaquin and pendimethalin in cowpea and soybean. *Crop Protection*, 65, 168-172. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.07.004>.
- Dahmardeh, M., Mirbahodin, M., & Khammari, E. (2018). The effect of biological fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) in drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 23-33. (In Persian). <https://sid.ir/paper/399491/en>.
- Darabi, F., Abbasi, N., & Zarei, M. J. (2020). Hormones putrescine and 24-Epi-brassinolide induced tolerance mechanisms to drought stress in basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plant. Ilam University. P. 190. (In Persian).
- Du, X., Zhang, X., Chen, X., Jin, W., Huang, Z., & Kong, L. (2024). Drought stress reduces the photosynthetic source of subtending leaves and the transit sink function of podshells, leading to reduced seed weight in soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1337544. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1337544>.
- Dubey, P. K., P&ey, C. S., Khanday, A. S., & Mishra, G. (2012). Effect of integrated nutrient management on nutrient uptake, protein content and yield of fenugreek. *International Journal of Food, Agriculture & Veterinary Sciences*, 2(1), 1-12.
- Ehlers, J. D., & Hall, A. E. (1997). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 187-204. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00031-2).
- Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal Pulses Research*, 10(1), 114-125. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836>.

- Ghanbari, M., Mokhtassi, B. A., & Talebi, S. S. P. (2019). The effect of bio-fertilizers on yield component, yield, protein, and oil in soybean (*Glycine max* Merrill) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 52, 1-15. (In Persian). <https://civilica.com/doc/912801>.
- Ghasemabaglou, M., Sedighi, M., Seyed Sharifi, R. & Farzaneh, S. (2021). The effect of biofertilizers on grain yield and yield components of pea (*Pisum sativum* L.) under different levels of irrigation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 169-180. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43011.2583>.
- Hasanakifard, A., Siadat, A., Fathi, Gh., Alami Saeid, Kh., & Daneshvar, M. H. (2018). Effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and yield components of sweet corn. *Journal Plant Ecophysiol*, 35, 1-9. (In Persian with English Abstract).
- Hasanuzzaman, M., Zhou, M., & Shabala, S. (2023). How does stomatal density and residual transpiration contribute to osmotic stress tolerance? *Plants (Basel)*, 21;12(3), 494. <https://doi.org/10.3390/plants12030494>.
- Hassanpour, A., Azizi, Kh., Feyzian, M., & Ismaeili, A. (2020). Study the effect of phosphate barvar-2 biofertilizer, iron nano-chelate and superabsorbent on qualitative and quantitative yield of chickpea (*Cicer arietinum*) under dry farming conditions. *Iranian Journal of Legume Research*, 11(2), 62-75. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.70978>.
- Hossinzadeh, N., & Pirzad, A. (2025). Biochemical response and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* to humic acid and phosphorus sources (Biological and Chemical) under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement*, 26(4), 805-824. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2024.365576.2856>.
- Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M. B., & Ehyae, H. R. (2013). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). *Journal of Agroecology*, 5(1), 85. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/jag.v5i1.21253>.
- Jin, J., Lauricella, D., Armstrong, R., Sale, P., & Tang, C. (2015). Phosphorus application and elevated CO₂ enhance drought tolerance in field pea grown in a phosphorus-deficient vertisol. *Annals of Botany*, 116(6), 975-985. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu209>.
- Kapulnik, Y., Gafny, R., & Okon, Y. (1985). Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and uptake in wheat (*Triticum aestivum* cv. Miriam) in hydroponic systems. *Canadian Journal of Botany*, 63(3), 627-631. <https://doi.org/10.1139/b85-078>.
- Kermizadeh Sureshjani, H., Nezami, A., Kafi, M., & Tadjin, M. R. (2016). Investigation of changes in stomatal conductance, canopy temperature, and leaf water content of pinto bean genotypes under deficit irrigation conditions. *Journal of Agricultural Plant Physiology*, 8(30), 105-120. (In Persian). <https://sid.ir/paper/491951/fa>.
- Kiran, B. V. S., Kalegore, N. K., Suryavanshi, V. P., Ghotmukale, A. K., & Vaidya, P. H. (2020). Integrated nutrient management and relationship studies in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) under rainfed conditions. *IJCS*, 8(4), 1411-1415. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4m.9796>.
- Koide, R. (1985). The effect of VA mycorrhizal infection and phosphorus status on sunflower hydraulic and stomatal properties. *Journal of Experimental Botany*, 36(7), 1087-1098. <https://doi.org/10.1093/jxb/36.7.1087>.
- Kong, H., Palta, J. A., Siddique, K. H. M., Stefanova, K., Xiong, Y. C., & Turner, N. C. (2015). Photosynthesis is reduced, and seeds fail to set and fill at similar soil water contents in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) subjected to terminal drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201(4), 241-252. <https://doi.org/10.1111/jac.12102>.
- Kroner, N., Kotlarski, S., Fischer, E., Lüthi, D., Zubler, E., & Schär, C. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: Theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics*, 48, 3425-3440. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3276-3>.
- Lafond, G. P., Irvine, B., Johnston, A. M., May, W. E., Mc&rew, D. W., Shirliffe, S. J., & Stevenson, F. C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 88, 485-500. <https://doi.org/10.4141/CJPS07112>.
- Mataa, M., Mph&e, K., & Munyinda, K. (2019). Interactive effects of phosphorus and water stress on plant development & yield resilience in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 14(22), 949-962. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14069>.
- Mazengo, K. D., & Tryphone, G. M. (2019). Response of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) to drought for growth and yield characteristics in the southern highlands of Tanzania. *International*

- Journal of Environment. Agriculture and Biotechnology*, 4(3), 643-651. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab/4.3.8>.
- Menbari, S., Alizadeh Salte, S., Bol&nazar, S. A., & Sarikhani, M. R. (2018). Effect of potabarvar and Sinorhizobium on morphological characteristics and absorption of some nutrients in fenugreek. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(2), 151-165. (In Persian with English Abstract).
- Menssen, M., Linde, M., Omondi, E. O., Abukutsa-Onyango, M., Dinssa, F. F., & Winkelmann, T. (2017). Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entries from East Africa. *Scientia Horticulturae*, 226, 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.003>.
- Merwad, A. R. M., Desoky, E. S. M., & Rady, M. M. (2018). Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228, 132-144. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008>.
- Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohseni Fard, E. (2018). The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Crops Improvement*, 20(3), 595-608. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2018.249057.1913>.
- Munjonji, L., Ayisi, K. K., Boeckx, P., & Haesaert, G. (2018). Stomatal behavior of cowpea genotypes grown under varying moisture levels. *Sustainability*, 10(1), 12. <https://doi.org/10.3390/su10010012>.
- Omidi, F., & Sepehri, A. (2014). Effect of sodium nitroprusside on growth, yield & components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(2), 243-254. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2014.51903>.
- Petrík, P., Petek, A., Konôpková, A., Bosela, M., Fleischer, P., Frýdl, J., & Kurjak, D. (2020). Stomatal and leaf morphology response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances transferred to contrasting climatic conditions. *Forests*, 11(12), 1359. <https://doi.org/10.3390/f11121359>.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., & Pessarakli, M. (2016). Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 1, 24-40. <https://doi.org/10.1002/9781119054450.ch3>.
- Polania, J. A., Salazar-Chavarría, V., Gonzalez-Lemes, I., Acosta-Maspons, A., Chater, C. C., & Covarrubias, A. A. (2022). Contrasting *Phaseolus* crop water use patterns and stomatal dynamics in response to terminal drought. *Frontiers in Plant Science*, 13, 894657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.894657>
- Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaichi, M., Rahimi, A., & Tavakoli, A. (2010). Mulching the soil fertility effect of different treatments on some morphological characteristics and mucilage *Plantago psyllium* L. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(2), 193-213. (In Persian with English summary). <https://www.magiran.com/p799272>.
- Raisi Bidkani, S., & Zarea, M. J. (2025). Evaluation the effect of seed priming with zinc sulfate on photosynthesis and yield components, of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1), 95-115. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.90074.1100>
- Rashidi, Z., Bannayan Aval, M., Azizi, K., & Nassiri Mahallati, M. (2022). Effect of drought stress on yield and yield components and radiation use efficiency of three types of red, white and pinto beans. *Journal of Plant Production Research*, 29(3), 143-164. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/jopp.2022.19586.2884>.
- Rizvi, R., Mahmood, I., & Tiyaqi, S. A. (2013). Potential role of organic matters and phosphate solubilizing bacteria (PSB) on the growth and productivity of fenugreek. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 15, 639-647. (In Persian with English Abstract). <http://jast.modares.ac.ir/article-23-7608-en.html>.
- Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advance*, 17, 319-339. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2).
- Rui, M., Chen, R., Jing, Y., Wu, F., Chen, Z. H., Tissue, D., Jiang, H., & Wang, Y. (2024). Guard cell and subsidiary cell sizes are key determinants for stomatal kinetics and drought adaptation in cereal crops. *New Phytologist*, 242(6), 2479-2494. <https://doi.org/10.1111/nph.19757>.
- Saber, N. E., El Hosary, E. G., Mabrouk, M. E., Ghoraba, W. F., & Hassan, A. M. (2021). Influence of seed-nanoprimering treatment with Zinc oxide on growth, nutrient status, and gene expression of enzymatic antioxidants in wheat plant. *Egypt Journal Experimental Experimental Biology*, 17(1), 77-90. <https://doi.org/10.5455/egyjebb.20210705083704>.
- Segura-Monroy, S., Uribe-Vallejo, A., Ramirez-Godoy, A., & Restrepo-Diaz, H. (2015). Effect of kaolin application on growth, water use efficiency, and leaf epidermis characteristics of *Physallis peruviana*

- seedlings under two irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17(6), 1585-1596. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.6.7.8>.
- Setter, T. L. (2013). *Transport / Harvest Index: Photosynthetic Partitioning in Stressed Plants*. p. 17-36. Stress responses in plant: Adaptation & accumulation mechanism. Wiley-Liss, Inc. New York. 14853 p.
- Seyed Sharif, R., & Seyed Sharifi, R. (2020). Effects of starter nitrogen, methanol and bio fertilizers application on yield, nodulation and grain filling period of rainfed lentil. *Journal of Crops Improvement*, 22(3), 445-460. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.292605.2295>.
- Shakori, S., & Sharifi, P. (2016). Effect of phosphate biofertilizer and chemical phosphorus on growth and yield of *Vicia faba* L. *Electronic Journal of Biology*, 1, 47-52.
- Shamohammadi, N., Zare, M., Ordukhani, K., Aref, F., & Sharafzadeh, S. (2024). Grain corn yield under the influence of water deficit stress, biological and chemical fertilizers. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(1), 23-36. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352991.654966>.
- Tosens, T., Niinemets, U., Vislap, V., Eichelmann, H., & Castro, D. P. (2012). Developmental changes in mesophyll diffusion conductance and photosynthetic capacity under different light and water availabilities in *Populus tremula*: How structure constrains function. *Journal of Plant, Cell and Environment*, 35(5), 839-856. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02457.x>
- Welbaum, G. E., Sturz, A. V., Dong, Z., & Nowak, J. (2004). Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23, 175-193. <https://doi.org/10.1080/07352680490433295>
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., & Gong, W. (2022). Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. *Forests*, 13(2), 324. <https://doi.org/10.3390/f13020324>.
- Yao, S., Jiang, C., Huang, Z., Torres-Jerez, I., Chang, J., Zhang, H., Udvardi, M., Liu, R., & Verdier, J. (2016). The *Vigna unguiculata* Gene Expression Atlas (Vu GEA) from de novo assembly and quantification of RNA-seq data provides insights into seed maturation mechanisms. *The Plant Journal*, 88(2), 318-327. <https://doi.org/10.1111/tpj.13279>.
- Zahara, M., Suwarniati, S., Aini, Q., & Muslim, M. (2021). The effect of organic fertilizers on the leaf morphology and stomatal density of *Pogostemon cablin* Benth. *Journal Natural*, 21(2), 52-56. <https://doi.org/10.24815/JN.V21I2.20989>.
- Zholobova, O. O., Mogilevskaya, I. V., & Melnik, S. V. (2024). Screening smoke tree (*Cotinus coggygria* Scop.) on osmotic stress using polyethylene glycol 6000 *in vitro*. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(1), 36-42. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-781>.



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

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

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

Cite this article:

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

Introduction

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

Materials and Methods

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

Results and Discussion

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

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

* Corresponding Author: eskandari@pnu.ac.ir



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

Conclusions

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

Keywords: Fertilizer, Grain protein, Pulses, Water productivity

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

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

چکیده

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

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

مقدمه

حبوبات، به‌صورت «دسته‌ای از گیاهان خانواده بقولات (*Leguminosae*) که با هدف برداشت دانه زیر کشت می‌روند» تعریف می‌گردد و به‌دلیل ارزش تغذیه‌ای و زراعی به‌طور گسترده‌ای در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شوند (Hughes et al., 2023). در بین حبوبات، لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) به‌دلیل چندمنظوره بودن (تغذیه انسان، تغذیه دام و نقش مهم آن در چرخه عناصر غذایی در سیستم‌های زراعی به‌دلیل توانایی آن در تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی هوا) اهمیت ویژه‌ای دارد (Gomes et al., 2020). دانه‌های لوبیا چشم‌بلبلی دارای ۳۲-۳۳ درصد پروتئین هستند که به‌دلیل داشتن ۱۷ نوع اسیدآمینه (که برخی از آن‌ها نظیر والین، لوسین، لیزین و فنیل آلانین اسیدهای آمینه ضروری هستند) ارزش اقتصادی بالایی دارد (Bondok et al., 2024). به‌علاوه، لوبیا چشم‌بلبلی از نظر مواد معدنی نیز بر برخی حبوبات نظیر نخود (*Cicer*

arietinum)، عدس (*Lens culinaris*) و ماش (*Vigna radiata*)

برتری دارد (Hall et al., 2017).

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

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

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

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

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

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

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

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

مواد و روش‌ها

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

نتایج و بحث

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

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

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

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

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

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

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

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

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

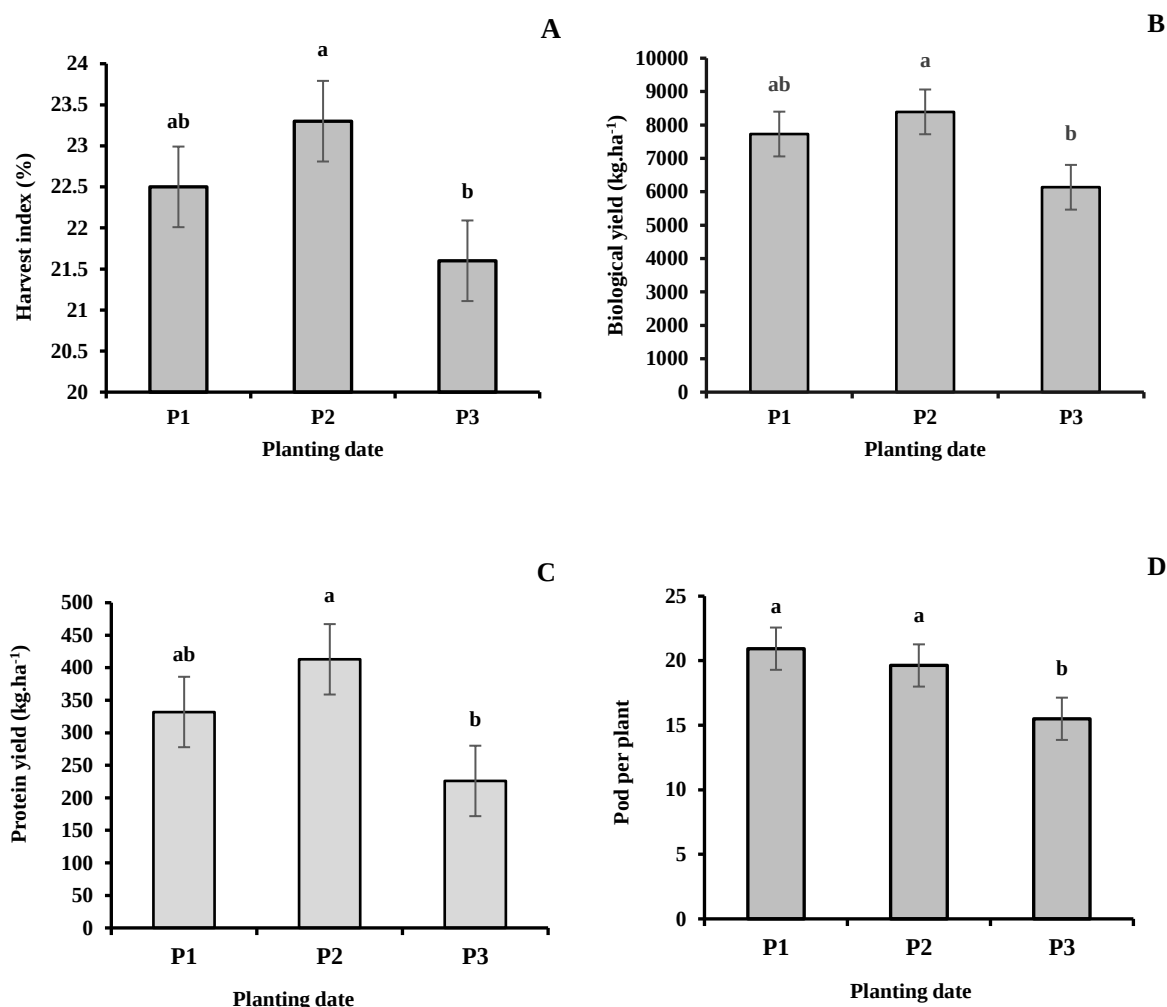
منابع تغییر S.O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Seed protein content	عملکرد پروتئین Protein yield	مصرف آب Water consumption (m ³ .ha ⁻¹)	بهره‌وری آب (دانه) Water productivity (seed)
تکرار Replication	2	1331712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

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

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

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

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



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

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

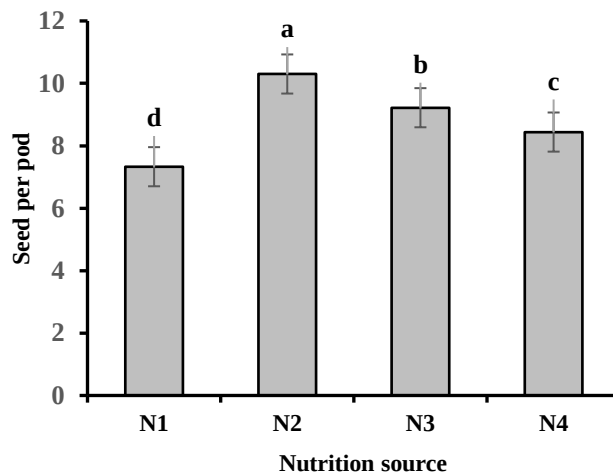
P1: تاریخ کاشت ۲۵ خرداد؛ P2: تاریخ کاشت ۱۴ تیر؛ P3: تاریخ کاشت ۲۵ تیر

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

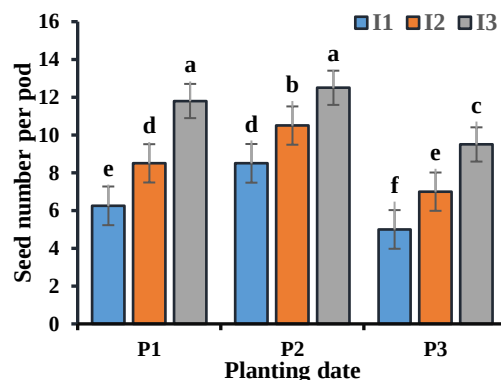
I1: ۴۰ درصد آبیاری کامل؛ I2: ۸۰ درصد آبیاری کامل؛ I3: آبیاری کامل

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

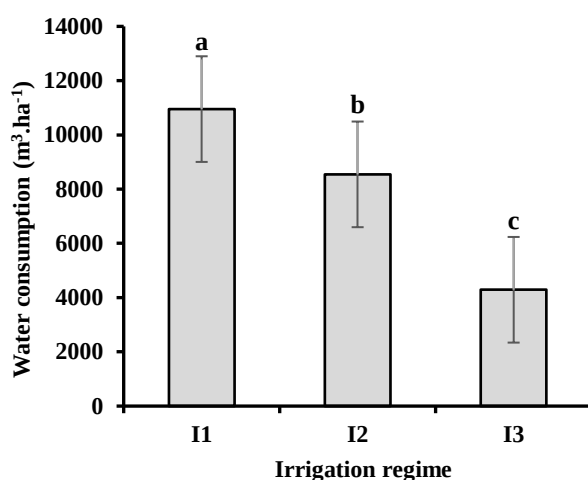
تاریخ کاشت Planting date	رژیم آبیاری Irrigation regime	منبع تغذیه Nutritional source	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	پروتئین دانه (درصد) Seed protein content (%)	بهره‌وری آب (دانه) (کیلوگرم بر مترمکعب)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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

نتیجه‌گیری

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

References

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

- Eskandari, H., Zehtab Salmasi, S., & Ghasemi-Golezani, K. (2009). Evaluation of water use efficiency and grain yield of sesame cultivars as a second crop under different irrigation regimes. *Sustainable Agricultural Science*, 20, 39-51. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1389.20.1.4.5>
- Esmaili Khanbehbin, H., Dadashi, M. R., Feyzbakhah, M. T., Sheikh, F., & Nakhzari Moghadam, A. (2025). Effects of drought stress on seed yield and some biochemical traits of new faba bean lines (*Vicia faba* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 18(2), 283-298. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2024.7085.2260>
- Gomes, A. M. F., Rodrigues, A. P., António, C., Rodrigues, A. M., Leitão, A. E., Batista-Santos, P., Nhantumbo, N., Massinga, R., Ribeiro-Barros, A. L., & Ramalho, J. C. (2020). Drought response of cowpea (*Vigna unguiculata*) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104060. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104060>
- Gonulal, E. (2022). Effect of different water stress levels on biomass, root yield and some physiological parameters of sorghum. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 24(6), 1487-1500. <https://doi.org/10.52547/jast.24.6.1487>
- Hall, C., Hillen, C., & Robinson, J. G. (2017). Composition, nutritional value and health benefits of pulses. *Cereal Chemistry*, 94, 11-31. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-03-16-0069-FI>
- Haqshenas, A., Azizi, K., Bakhtiari, N., & Heydari, S. (2025). Evaluation of photosynthetic pigments, yield and yield components of mung bean (*Vigna radiata* L.) in response to humic acid application and irrigation interruption. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(1), 217-233. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.379755.1310>
- Hughes, G., Ryan, D. J., Mukherjee, R., & Schasteen, C. S. (2023). Soy protein: A comprehensive review of composition, health benefits, and applications comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(3), 1447-1482.
- Iran Meteorological Organization (IMO). (2024). Meteorological data of Shadegan. Available at: <https://data.irimo.ir/>
- Jahan, M., & Behzad Amiri, M. (2020). Effect of water superabsorbent levels, nutrition management and salicylic acid on soil characteristics, water use efficiency and morphological characteristics and yield of bean (*Phaseolous vulgaris* L.) in drought stress. *Crop Production*, 12, 1-20. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.14761.2108>
- Keramati, S., Gholami, A., Baradaran, M., & Abbasdokht, H. (2021). The Effect of yeast extract on physiological and biochemical indicators of cowpea in drought stress conditions. *Journal of Crop Improvement*, 23, 247-263. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.295925.2338>
- Kazemi, K., & Mosavian, S. Y. (2022). Effect of partial root zone irrigation and fertilizing management on grain yield and water productivity of faba bean. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4, 277-289. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.310804.1148>
- Li, G., Gao, X., Sun, W., Hou, L., Wang, G., Tian, R., Wang, X., Qu, C., & Zhao, C. (2024). Nitrogen application in pod zone improves yield and quality of two peanut cultivars by modulating nitrogen accumulation and metabolism. *BMC Plant Biology*, 24, 48. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04725-1>
- Melo, A. S. D., Costa, R. R. D., Sá, F. V. D. S., Dias, G. F., Alencar, R. S. D., Viana, P. M. D. O., Peixoto, T. D. C., Suassuna, J. F., Brito, M. E. B., & Ferraz, R. L. D. S. (2024). Modulation of drought-induced stress in cowpea genotypes using exogenous salicylic acid. *Plants*, 13, 634. <https://doi.org/10.3390/plants13050634>
- Memari, M., Dadashi, M. R., Sheikh, F., & Faghani, E. (2020). Seed yield response of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes to drought stress. *Seed and Plant*, 36(2), 241-254. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/spi.2020.123208>
- Mirzaei Heydari, M., Fathi, A., & Atashpikar, R., (2023). The effect of chemical and biofertilizer on the nutrient concentration of root, shoot and seed of bean (*Phaseolous vulgaris* L.) under drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 5, 539-554. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.334186.1212>
- Mohammadi, M., Ghane, M., Majnoun Hoseini, N., & Moghaddam, H. (2019). Response of lentil (*Lens culinaris* L.) yield and physiological traits to chemical and bio-phosphorus fertilizers under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 10, 1107-1120. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i4.60879>

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



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95720.1119>

Environmental Assessment of Crops for Lentil (*Lens culinaris*)-Based Rotations: Identifying the Most Sustainable Options

Hamdollah Eskandari^{1*}, Seyed Nader Mosavian¹

Received: 30 September 2025
Revised: 11 November 2025
Accepted: 29 November 2025
Available Online: 29
November 2025

Cite this article:

Eskandari, H., & Mosavian, S. N. (2025). Environmental assessment of crops for lentil (*Lens culinaris*)-based rotations: Identifying the most sustainable options. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1), 349-359. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95720.1119>

Introduction

Lentil (*Lens culinaris*), as one of the oldest cultivated legumes in the world, holds a special position in ensuring food security and maintaining the sustainability of agricultural systems, particularly under dry and semi-arid conditions. The reduction of biodiversity in continuous monocrop systems have numerous negative effects on production factors, including soil, water, and the overall agro-ecosystem. Therefore, adopting appropriate crop rotations is essential to reduce the disadvantages of continuous cropping to achieve sustainable production. Lentil, due to its ability to biologically fix atmospheric nitrogen, not only requires less nitrogen fertilizer but also improves soil fertility for subsequent crops. However, the placement of lentil in a suitable crop rotation is equally important for lentil itself, since preceding crops influence weed populations, disease incidence, residual soil moisture, and soil structure, all of which affect lentil growth and productivity. Intensive farming and monocropping systems have imposed significant environmental costs with direct impacts on the health of natural ecosystems. This highlights the importance of considering environmental aspects in crop production. In other words, crop production systems should aim to maintain optimal yields while minimizing environmental burdens. Based on previous studies, crops such as wheat, rapeseed, rye, maize, potato, and barley have been suggested as potential candidates for inclusion in lentil-based rotations. However, these recommendations have mainly focused on their effects on grain yield, while the possible environmental impacts of growing these crops have not been considered. Accordingly, the present study was conducted to compare the environmental impacts of the proposed rotation crops with lentil and to identify those with the lowest negative impacts on the environment. The aim is to design sustainable lentil crop rotation programs that ensure desirable grain yields while minimizing the environmental footprint of this important food crop.

Materials and Methods

To compare the environmental impacts of seven alternative crop rotations with lentil (including wheat, barley, rye, maize, rapeseed, potato, and chickpea), SimaPro software (version 9.5) was employed. Each crop was defined as an independent process within the software environment, and data related to inputs, yields, and transportation were extracted from the Ecoinvent database using the allocation approach. This database is recognized as the most comprehensive global reference for life cycle assessment studies, providing global average values that enable comparability of results with international studies. Moreover, it saves time and costs while providing access to data that are otherwise very difficult to measure in the field. For environmental impact assessment, the ReCiPe 2016 Endpoint (v1.08) method was applied. This method aggregates a wide range of impacts into three endpoint categories: human health, ecosystem quality, and resource consumption. Such aggregation facilitates easier interpretation of results and decision-making while offering a comprehensive and integrated view of environmental performance. To quantitatively compare the impacts of each rotation option, the data were processed using the relative normalization method. In this method, the impact value of each crop within a category is expressed as a percentage relative to the highest value in that category. This provides a clear visual way to identify alternatives with the highest and lowest environmental impacts. Finally, an inventory of emissions and the impact values of each crop across the three categories was compiled, forming the basis for selecting the most sustainable lentil rotation option.

Results and Discussion

Except for the effect of rye on water consumption in dryland ecosystems (which was negative), the impacts of other crops (as well as the other categories for rye) were positive. The negative value associated with rye cultivation indicates an

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

* Corresponding Author: eskandari@pnu.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/).

overall favorable effect of this crop in terms of water use, as it avoids higher water consumption compared with other cropping options in the domains of water use and dryland ecosystems. According to the results, rye and barley caused the greatest environmental damage in terms of human health, while rapeseed and potato had the lowest impacts and were therefore the most favorable crops in this respect. The difference between rye and potato and rapeseed in the human health category was 48% and 65%, respectively. In addition, rye, rapeseed, and barley exerted the most negative environmental impacts on ecosystems, whereas potato had the lowest impact in this category. The findings of the present study demonstrated that all the examined crops had their greatest environmental impacts on human health, as this category accounted for the largest share of environmental effects across all crops. Following human health, the ecosystem category was the second most affected, while the impacts on the resources category were negligible. Therefore, it can be concluded that in assessing the environmental impacts of rye, barley, rapeseed, potato, maize, and wheat in rotation with lentil, particular attention should be given to their effects on human health.

Conclusions

The greatest environmental impact of the crops proposed for rotation with lentil was observed in the human health category, while their impacts related to resource consumption were minimal. Among the studied crops, rye and barley imposed the highest burdens on human health, whereas rapeseed and potato had the lowest impacts. Therefore, to reduce the environmental load in lentil-based crop rotations, it is recommended to avoid including rye and barley as much as possible, and instead to incorporate rapeseed and potato. Accordingly, a four-year environmentally sustainable rotation plan can be suggested as rapeseed–lentil–potato–lentil.

Keywords: Ecosystem; Environmental resources; Human health; Life cycle assessment; Sustainable production



بررسی اثر زیست‌محیطی برخی گیاهان توصیه‌شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس (*Lens culinaris*) به منظور انتخاب سازگارترین گیاه

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۸

چکیده

انتخاب گیاهان در تناوب زراعی با عدس (*Lens culinaris*)، تاکنون عمدتاً براساس معیارهای زراعی به‌ویژه عملکرد صورت گرفته و اثرات زیست‌محیطی متفاوت این گیاهان به‌عنوان یک معیار کلیدی در طراحی تناوب نادیده مانده است. این پژوهش به مقایسه آثار زیست‌محیطی شش گزینه تناوبی با عدس شامل چاودار (*Secale cereal*)، جو (*Hordeum vulgare*)، کلزا (*Brassica napus*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، ذرت (*Zea mays*) و گندم (*Triticum aestivum*) پرداخت تا پایدارترین گزینه از منظر زیست‌محیطی معرفی گردد. اثر شش گیاه معرفی‌شده بر طبقات سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع محیطی با استفاده از تکنیک ارزیابی چرخه حیات و کاربرد نرم‌افزار سیمپرو (Vt 9.5) مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که بیشترین خسارت زیست‌محیطی (از نظر هر سه طبقه سلامت انسان، منابع محیطی و بوم‌نظام‌ها) از طرف چاودار و جو ایجاد شد. اگرچه مقادیر عددی منفی در شاخص بوم‌نظام‌های خشکی-مصرف آب، نشان‌دهنده عملکرد مطلوب چاودار در کاهش فشار بر مصرف آب بود، اما در نهایت و با ادغام تمامی شاخص‌ها، این گیاه در مقایسه با سایر گزینه‌ها، بیشترین مجموع آسیب زیست‌محیطی را به همراه داشت. کمترین خسارت زیست‌محیطی از نظر سلامت انسان به سیب‌زمینی و کلزا اختصاص داشت، به‌طوری‌که اثر چاودار بر سلامت انسان به‌ترتیب ۴۸ و ۶۵ درصد بیشتر از سیب‌زمینی و کلزا به دست آمد. تمامی گیاهان مورد بررسی، بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر سلامت انسان داشتند. اثر همه گیاهان بررسی‌شده بر مصرف منابع محیطی، ناچیز بود. به‌طورکلی، با در نظر گرفتن هر سه طبقه خسارت (سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع محیطی) چاودار و جو نامناسب‌ترین گیاه برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس هستند و کمترین خسارت زیست‌محیطی به کلزا و سپس سیب‌زمینی اختصاص داشت. بر این اساس، می‌توان گیاهان زراعی کلزا و سیب‌زمینی را برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد نمود تا در راستای نیل به کشاورزی پایدار، علاوه بر تولید مطلوب عدس، سلامت زیست‌محیطی نیز حفظ شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، بوم‌نظام، تولید پایدار، سلامت انسان، منابع محیطی

مقدمه

اکولوژیک، حبوبات به‌دلیل توانایی در تثبیت نیتروژن مولکولی هوا، به عناصری کلیدی در کشاورزی پایدار تبدیل شده‌اند. کشت حبوبات نیاز به کودهای نیتروژنه شیمیایی را به‌طور چشمگیری کاهش و پایداری سیستم‌های زراعی را افزایش می‌دهد. به‌علاوه، با افزودن نیتروژن به خاک، حاصلخیزی را برای کشت محصولات بعدی در تناوب زراعی بهبود می‌بخشد (Stagnari et al., 2023).

عدس (*Lens culinaris*) به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین حبوبات کشت‌شده در جهان، جایگاه ویژه‌ای در تأمین امنیت غذایی و پایداری سیستم‌های زراعی، به‌ویژه در شرایط خشک و نیمه‌خشک دارد. از منظر تغذیه‌ای، دانه عدس منبعی غنی و مقرون‌به‌صرفه از پروتئین (۳۰-۲۵ درصد)، فیبر غذایی، ریزمغذی‌ها (مانند آهن، روی، فولات و

حبوبات یکی از مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی در تأمین امنیت غذایی جهانی هستند، چرا که در تغذیه انسان و دام نقش مهمی ایفا می‌کنند (Kazemi et al., 2025). از دیدگاه تغذیه‌ای، دانه‌های حبوبات منبع غنی از پروتئین، فیبر غذایی، ویتامین‌های گروه B، مواد معدنی مانند آهن، روی و فولات و همچنین ترکیبات زیست‌فعال با خواص آنتی‌اکسیدانی هستند (Mudryj et al., 2022). جایگزینی نسبی پروتئین گیاهی حبوبات به‌جای پروتئین حیوانی، نه‌تنها می‌تواند در کاهش خطر بیماری‌ها از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی مؤثر باشد، بلکه از جنبه زیست‌محیطی نیز با انتشار کربن و مصرف آب بسیار کمتری همراه است (Foyer et al., 2023). از منظر زراعی و

۱- گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*)- نویسنده مسئول: eskandari@pnu.ac.ir

(al., 2019). در پژوهشی دیگر مشاهده شد که چاودار (*Secale cereale*) به دلیل تولید زیست‌توده بالا و ترکیبات آللوپاتیک، برای سرکوب علف‌های هرز یک گیاه مطلوب به شمار می‌رود و می‌تواند مزرعه عدس را تمیزتر نگه دارد (Farooq et al., 2021). در عین حال، همین ترکیبات آللوپاتیک ممکن است در صورت مدیریت نادرست بقایا، جوانه‌زنی عدس را در سال بعد کاهش دهند (Jabran et al., 2015). کلزا (*Brassica napus*) نیز مانند غلات، میزبان مشترک بیماری‌های عدس نیست. این گیاه به‌عنوان یک محصول پاییزه، مدیریت علف‌های هرز را بهبود می‌بخشد و زمان کافی برای تجزیه بقایای خود و آزادسازی مواد مغذی قبل از کشت عدس بهاره فراهم می‌کند. به همین دلیل برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد شده است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2021). با وجود این، بقایای چوبی و پر حجم کلزا در شرایط سرد ممکن است به‌کندی تجزیه شده و به‌طور موقت سبب تثبیت نیتروژن خاک گردند (Angadi et al., 2016). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که عملیات خاکورزی و کوددهی سنگین در مزرعه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) باعث ایجاد بستر خاکی با حاصلخیزی بالا و عاری از علف هرز می‌شود و همچنین عدس می‌تواند پس از برداشت سیب‌زمینی، از نیتروژن باقی‌مانده در خاک بهره‌مند شود (Sharma & Singh, 2022). اما برداشت زود هنگام و ترافیک سنگین ماشین‌آلات در مزارع سیب‌زمینی ممکن است به تخریب ساختار خاک و افزایش فرسایش منجر شود (Coelho et al., 2019). پژوهشی دیگر نیز نشان داد، در صورتی که بقایای ذرت (*Zea mays*) به‌خوبی مدیریت شود، ذرت نیز می‌تواند گیاه مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس معرفی شود (Bahrani & Heidari, 2020). با این حال، بقایای حجیم و نسبت کربن به نیتروژن بالای ذرت ممکن است معدنی شدن نیتروژن را برای عدس با تأخیر مواجه سازد (Kirkegaard et al., 2014). کشاورزی فشرده و سیستم‌های تولید تک‌کشتی، هزینه‌های زیست‌محیطی قابل توجه و اثرات مستقیمی بر سلامت بوم‌نظام‌های طبیعی دارند. این موضوع، بر اهمیت توجه به ملاحظات زیست‌محیطی در تولید گیاهان زراعی افزوده است. به عبارت دیگر، باید تلاش شود که در تولید گیاهان زراعی، ضمن حفظ عملکرد مطلوب، بار زیست‌محیطی نیز به حداقل برسد. در این بین، ارزیابی چرخه حیات، یک روش مفید برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در فرآیند تولید محصولات زراعی است که در یک رویکرد جامع، مراحل مختلف تولید محصولات زراعی را از نظر بار محیط‌زیستی بررسی می‌کند. در یک پژوهش، با بررسی اثرات زیست‌محیطی هفت گیاه در تناوب زراعی با سیب‌زمینی گزارش شد که بهترین تناوب زراعی برای کاهش بار زیست‌محیطی، قرارگیری کشت یونجه و ذرت در تناوب با سیب‌زمینی است (Kazemi & Eskandari, 2025). در

سلنیوم) و ترکیبات زیست‌فعال نظیر پلی‌فنول‌ها است (Bhardwaj et al., 2022). به‌علاوه، کیفیت بالای پروتئین عدس به‌دلیل دارا بودن اسیدهای آمینه ضروری مانند لیزین، که در غلات محدود است، آن را به مکملی ایده‌آل برای ایجاد تعادل اسیدهای آمینه در رژیم‌های غذایی مبتنی بر غلات تبدیل کرده است (Joshi-Saha & Reddy, 2022). عدس، همانند سایر حبوبات، توانایی تثبیت بیولوژیکی نیتروژن اتمسفر را دارد. این ویژگی، نه تنها نیاز این گیاه به کودهای نیتروژنه را کاهش می‌دهد، بلکه از طریق نگه داشتن بقایای غنی از نیتروژن در خاک، حاصلخیزی خاک را برای محصول بعدی در تناوب زراعی افزایش می‌دهد (Kumar et al., 2021). کشت عدس به‌دلیل دوره رشد نسبتاً کوتاه و نیاز آبی کم، به‌ویژه در تناوب با غلات پاییزه مانند گندم و جو، به مدیریت بهینه رطوبت خاک، مهار علف‌های هرز پهن‌برگ و شکستن چرخه آفات و بیماری‌ها کمک شایانی می‌کند. این امر منجر به افزایش عملکرد و پایداری کل سیستم زراعی می‌گردد (Sinha et al., 2023).

کاهش تنوع زیستی در سیستم‌های زراعی تک‌کشتی، اثرات منفی زیادی بر عوامل تولید شامل خاک، آب و بوم‌نظام تولید دارد (Telles et al., 2025). به همین دلیل، برای اطمینان از عملکرد مطلوب، تناوب زراعی مناسب برای کاهش معایب تک‌کشتی و پایداری تولید ضروری است. در این بین، اگرچه عدس به‌دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن هوا، نه تنها به کود نیتروژنه کمتری نیاز دارد، بلکه می‌تواند حاصلخیزی خاک را برای محصول بعدی بهبود بخشد، اما قرار گرفتن عدس در تناوب زراعی مناسب، برای خود آن نیز از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که گیاهان قبلی بر روی جمعیت علف‌های هرز، بیماری‌ها، رطوبت باقی‌مانده خاک و ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند و بدین طریق بر رشد و تولید عدس اثر دارند (Al-Musawi et al., 2025). در پژوهش‌ها، گیاهان مختلفی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس توصیه شده‌اند. در یک مطالعه نتیجه گرفته شد که گندم (*Triticum aestivum*) به‌دلیل نداشتن بیماری‌های مشترک با عدس و همچنین تأثیر بقایای آن در حفظ رطوبت خاک، گیاه مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس است (Yau & Nimah, 2021). با این حال، در تناوب‌های متوالی گندم-عدس، خطر فشردگی خاک و کاهش نیتروژن معدنی به‌علت برداشت‌های مکرر گزارش شده است (Gan et al., 2015). جو (*Hordeum vulgare*) نیز به‌دلیل دوره رشد کوتاه‌تر و نیاز آبی کمتر، یک گیاه قبلی ایده‌آل به‌ویژه در شرایط دیم است، چرا که کشت جو فرصت کافی جهت ذخیره رطوبت برای کشت بهاره عدس فراهم می‌کند (Lisson & Kirkegaard, 2020). اما در برخی شرایط خشک، رقابت شدید جو برای رطوبت ممکن است منجر به کاهش رطوبت قابل دسترس در عمق خاک برای عدس شود (Angus et

۹.۵) بهره گرفته شد. انتخاب این نرم‌افزار مبتنی بر دارا بودن پایگاه‌های داده معتبر (نظیر Ecoinvent)، شفافیت الگوریتم‌های محاسباتی و انطباق با استانداردهای ایزو بود. هر یک از این گیاهان به‌عنوان یک فرآیند مستقل در محیط نرم‌افزار تعریف شد. کلیه داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی چرخه حیات این محصولات، از جمله مقادیر دقیق نهاده‌ها (نظیر بذر، کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفات و پتاسه، و سموم دفع آفات)، مصرف سوخت ماشین‌آلات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، و عملکرد محصول، به‌طور کامل از پایگاه داده Ecoinvent Ver 3.9 با مدل سیستم cut-off استخراج گردید. این پایگاه داده به‌عنوان جامع‌ترین مرجع جهانی برای مطالعات ارزیابی چرخه حیات شناخته می‌شود که با ارائه مقادیر میانگین جهانی، امکان مقایسه‌پذیری نتایج با مطالعات بین‌المللی را فراهم می‌آورد. این رویکرد به‌طور خاص با هدف انجام یک ارزیابی پایه‌ای و سیستماتیک در سطح کلان اتخاذ گردید تا یک چارچوب مقایسه‌ای یکنواخت و عاری از تأثیر تغییرپذیری‌های شدید محلی فراهم شود. استفاده از این مجموعه داده‌های یکنواخت و استاندارد، یک پایه مقایسه‌ای عادلانه برای تمام گزینه‌های تناوبی فراهم کرده و از تأثیر تغییرپذیری‌های منطقه‌ای خاص جلوگیری می‌نماید. به‌علاوه، با صرفه‌جویی در زمان و هزینه، دسترسی به داده‌هایی که اندازه‌گیری میدانی آن‌ها بسیار دشوار است را فراهم می‌آورد.

روش ارزیابی آثار

برای تحلیل آثار زیست‌محیطی از روش ReCiPe 2016 Endpoint (Ver 1.08) با استفاده از مجموعه وزن‌دهی پیش‌فرض استفاده شد. این روش، طیف وسیعی از آثار را در سه معیار نهایی شامل سلامت انسان، کیفیت بوم‌نظام و مصرف منابع خلاصه می‌کند. این خلاصه‌سازی، تفسیر نتایج و تصمیم‌گیری را آسان‌تر می‌کند و یک نمای کلی و یکپارچه از عملکرد زیست‌محیطی را ارائه می‌دهد. شاخص سلامت انسان، اثرات بالقوه‌ای را که سیستم بر سلامتی و رفاه انسان می‌گذارد، به‌صورت کمی نشان می‌دهد. این اثرات، به‌طور عمده از طریق آلودگی هوا، ذرات معلق، آلودگی آب و خاک (مواد شیمیایی سمی) و تغییرات آب‌وهوایی به انسان منتقل می‌شوند. واحد اندازه‌گیری شاخص سلامت انسان معمولاً سال تعدیل‌شده عمر بر اثر ناتوانی^۱ است که حاصل جمع سال‌های ازدست‌رفته عمر به‌دلیل مرگ زودرس و سال‌های زندگی توأم با ناتوانی است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به‌معنای آسیب بیشتر به سلامت انسان (مرگ زودرس و

مطالعه دیگری مشاهده شد که در تولید ذرت، بیشترین اثر زیست‌محیطی در ایجاد سمیت برای بوم‌نظام‌های آبی است و در بروز این سمیت، مصرف کودهای شیمیایی نقش مهمی دارد (Hosseini et al., 2024).

در پژوهش‌های مختلف، گیاهان گندم، کلزا، چاودار، ذرت، سیب‌زمینی و جو برای قرار گرفتن در تناوب زراعی با عدس پیشنهاد شده‌اند. با این حال، قرارگیری این گیاهان در تناوب زراعی با عدس تنها با در نظر گرفتن اثر آن‌ها بر عملکرد دانه مورد توجه قرار گرفته، ولی اثرات احتمالی زیست‌محیطی که کشت این گیاهان می‌تواند به دنبال داشته باشد، در نظر گرفته نشده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با این هدف اجرا گردید تا گیاهان پیشنهادشده برای قرار گرفتن در تناوب زراعی با عدس از نظر اثرات زیست‌محیطی مورد مقایسه قرار بگیرند و گیاهانی که دارای کمترین اثرات منفی بر محیط زیست هستند جهت طرح‌ریزی برنامه تناوب زراعی عدس معرفی شوند تا ضمن حفظ عملکرد دانه مطلوب در عدس، بار زیست‌محیطی نظام تولید این گیاه غذایی مهم نیز به حداقل برسد.

مواد و روش‌ها

چارچوب روش‌شناختی

در این پژوهش، استانداردهای بین‌المللی ایزو 14040 و 14044 برای ارزیابی چرخه حیات به کار گرفته شد. این چارچوب، امکان بررسی جامع آثار زیست‌محیطی را از مرحله استخراج منابع تا تولید نهایی (رویکرد گهواره تا گور) فراهم می‌کند و از نگرش تک‌بعدی به ارزیابی‌های زیست‌محیطی جلوگیری می‌نماید. محوریت این روش، مقایسه سیستماتیک گزینه‌های مختلف براساس یک واحد عملکردی^۱ مشترک به نام mpt است که مخفف مواد، محصول و حمل‌ونقل^۲ است. این واحد، کلیه جریان‌های ورودی (شامل مواد اولیه و نهاده‌های کشاورزی)، خروجی اصلی (محصول) و عملیات حمل‌ونقل مرتبط در چرخه عمر هر محصول را در برمی‌گیرد و به‌عنوان پایه‌ای برای محاسبه تمامی شاخص‌های زیست‌محیطی به کار می‌رود. استفاده از این واحد جامع، تضمین می‌کند که مقایسه‌ها بر مبنای یک معیار یکپارچه و قابل اطمینان انجام شده است (Guinee et al., 2011).

مدل‌سازی و نرم‌افزار

برای مقایسه آثار زیست‌محیطی هفت گزینه تناوبی با عدس (شامل گندم، جو، چاودار، ذرت، کلزا و سیب‌زمینی) از نرم‌افزار سیمپرو (نسخه

1- Functional unit

2- mpt= material, product, transport

3- DALY = Disability Adjusted Life Year

نرمال شده در هر سه معیار سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و مصرف منابع انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

اثر گیاهان زراعی پیشنهادشده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس شامل، گندم، جو، کلزا، ذرت، سیب‌زمینی و چاودار بر عوامل مرتبط با سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع در **جدول ۱** ارائه شده است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، به جز در مورد اثر چاودار بر مصرف آب در بوم‌نظام‌های خشکی (که مقدار آن منفی بود)، اثر سایر گیاهان (و همین‌طور اثر چاودار بر سایر طبقات) مثبت به دست آمد (**جدول ۱**). براساس استاندارد ISO14044 و روش‌های محاسباتی پذیرفته‌شده، گاهی در ارزیابی چرخه حیات، مقادیر منفی مشاهده می‌شود. این پدیده نشان‌دهنده شرایطی است که خروجی‌های یک سیستم (مانند گنجاندن یک محصول خاص در تناوب کشت) به اجتناب از پیامدهای منفی زیست‌محیطی در مقیاس کلان منجر می‌گردد. به عبارت دقیق‌تر، هنگامی که یک سیستم با بار محیطی کمتر، جایگزین سیستمی با بار محیطی بالاتر می‌شود (مثلاً کشت یک گونه کم‌نیاز به جای یک گونه پرنیاز)، اثرات زیست‌محیطی مربوط به نهاده‌ها یا فرآیندهایی که حذف شده‌اند، از کل بار محاسبه‌شده کسر می‌گردد. این عمل کسر شدن در نتایج نهایی به شکل یک عدد منفی ظاهر می‌شود که بیانگر تأثیر مثبت و مفید آن سیستم در آن دسته‌بندی خاص است (Laurent et al., 2020). در پژوهش حاضر، عدد منفی مرتبط با کشت چاودار ($-1.29E-10$) حاکی از اثر کلی مطلوب این گیاه در حوزه مصرف آب است که به دلیل پرهیز از مصرف منابع آبی در مقایسه با گزینه‌های دیگر کشت در حیطه‌های مصرف آب و بوم‌نظام‌های خشکی پدید می‌آید. به عبارت دیگر، جایگزینی چاودار در تناوب زراعی به جای محصولات پرنیاز از نظر آبی، منجر به کاهش قابل توجهی در برداشت از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی شده و در نتیجه یک اثر خالص مثبت در این دسته ایجاد می‌کند (Nouri et al., 2022).

بیماری‌های بیشتر) می‌باشد. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Huijbregts et al., 2017). شاخص بوم‌نظام‌ها نیز اثرات سیستم بر سلامت و تنوع سیستم‌های زیست‌محیطی خشکی و آبی را اندازه می‌گیرد. مهم‌ترین سازوکارهای اثرگذاری شامل اسیدی شدن خاک و آب، اوتریفیکاسیون (پرغذایی) که منجر به تکثیر جلبک‌های مضر و مرگ آبزیان می‌شود و برای گیاهان و جانوران نیز سمی است. واحد این شاخص، گونه در سال^۱ است که نشان‌دهنده از دست رفتن تنوع زیستی در یک بازه زمانی است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به معنای تخریب بیشتر تنوع زیستی می‌باشد. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Fantke et al., 2023). شاخص منابع نیز بر مصرف و تخلیه منابع طبیعی، به‌ویژه منابع فسیلی و معدنی تمرکز دارد. این دسته، کمبود آینده منابع را به دلیل استخراج و مصرف آن‌ها در چرخه تولید اندازه‌گیری می‌کند. واحد این شاخص معمولاً دلار آمریکا^۲ است. یک عدد بزرگ‌تر (مثبت) به معنای مصرف بی‌پروا تر منابع و ایجاد هزینه بیشتر برای آیندگان است. بنابراین مقادیر کمتر مطلوب‌تر هستند (Berger et al., 2020).

پردازش داده‌ها و تحلیل نتایج

به‌منظور مقایسه کمی آثار هر یک از گزینه‌های تناوبی، داده‌ها با استفاده از روش نرمال‌سازی درون دسته‌ای مورد پردازش قرار گرفتند. در این روش، مقدار اثر هر گیاه در هر یک از سه معیار نهایی (سلامت انسان، بوم‌نظام‌ها و منابع) به‌طور جداگانه محاسبه و سپس به‌صورت درصدی نسبت به بیشترین مقدار مشاهده‌شده در آن معیار خاص بیان می‌شود. این رویکرد، امکان شناسایی گزینه‌هایی با بیشترین و کمترین اثرات زیست‌محیطی در هر دسته را به‌صورت دیداری فراهم می‌آورد. در نهایت، سیاهه انتشار و آثار هر یک از گیاهان در سه معیار مذکور تهیه گردید تا بر مبنای آن پایدارترین گزینه تناوبی برای عدس معرفی شود. لازم به ذکر است که در این مطالعه، به‌منظور حفظ عینیت و پرهیز از اعمال ترجیحات ذهنی، از مرحله وزن‌دهی صرف نظر شد. بنابراین مقایسه نهایی گزینه‌ها براساس بررسی همزمان نتایج

جدول ۱- اثر گیاهان زراعی بررسی‌شده بر طبقات مختلف سلامت زیست‌محیطی

Table 1- The impact of crop species on different category of environmental health

طبقه تاثیر Impact category	واحد Unit	گندم Wheat	جو Barley	کلزا Rapeseed	ذرت Maize	سیب‌زمینی Potato	چاودار Rye
گرمایش جهانی، سلامت انسان Global warming, human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	4.02E-6	5.42E-6	6.89E-6	5.6E-6	3.4E-6	6.28E-6
گرمایش جهانی، بوم‌نظام‌های خشکی Global warming, terrestrial ecosystems	گونه در سال Species. yr	8.04E-9	1.08E-8	1.38E-8	1.12E-8	6.8E-9	1.26E-8
گرمایش جهانی، بوم‌نظام‌های آب شیرین Global warming, freshwater ecosystems	گونه در سال Species. yr	2.19E-13	2.96E-13	3.76E-13	3.05E-13	1.86E-13	3.42E-13
تخریب لایه اوزون Stratospheric ozone depletion	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.04E-8	2.09E-8	4.82E-8	1.17E-8	6.6E-9	2.86E-8
تابش یونیزه‌کننده Ionizing radiation	سال تعدیل‌شده عمر DALY	8.77E-10	6.62E-10	3.93E-10	4.38E-10	4.14E-10	9.48E-10
تشکیل اوزون، سلامت انسان Ozone formation, human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	1.61E-9	1.97E-9	8.66E-10	1.48E-9	1.41E-9	2.22E-9
تشکیل ذرات ریز معلق Fine particulate matter formation	سال تعدیل‌شده عمر DALY	6.64E-7	8.07E-7	1.56E-6	8.3E-7	6.36E-7	8.66E-7
تشکیل اوزون، بوم‌نظام‌های خاکی Ozone formation, terrestrial ecosystems	گونه در سال Species. yr	2.32E-10	2.84E-10	1.25E-10	2.13E-10	2.04E-10	3.21E-10
اسیدی شدن بوم‌نظام‌های خشکی Terrestrial acidification	گونه در سال Species. yr	1.03E-9	1.03E-9	3.99E-9	1.04E-9	1.02E-9	1.1E-9
غنی‌سازی بوم‌نظام‌های آب شیرین Freshwater eutrophication	گونه در سال Species. yr	1.11E-10	1.3E-10	1.87E-10	1.65E-10	1.55E-10	1.9E-10
غنی‌سازی بوم‌نظام‌های دریایی Marine eutrophication	گونه در سال Species. yr	5.56E-12	4.43E-12	1.12E-11	1.4E-12	1.57E-12	7.44E-12
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های خشکی Terrestrial ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	1.66E-11	2E-11	4.33E-12	1.38E-11	2.66E-11	2.63E-11
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های آب شیرین Freshwater ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	7.78E-12	1.02E-11	8.03E-12	9.71E-12	1.91E-11	1.38E-11
سمی‌سازی بوم‌نظام‌های دریایی Marine ecotoxicity	گونه در سال Species. yr	1.2E-8	1.51E-8	3.86E-9	1.01E-8	1.02E-8	1.99E-8
سرطان‌زایی در انسان Human carcinogenic toxicity	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.83E-6	4.54E-6	1.12E-8	4.16E-6	2.86E-6	4.8E-6
سمیت غیرسرطانی در انسان Human non-carcinogenic toxicity	سال تعدیل‌شده عمر DALY	2.19E-5	2.71E-5	9.36E-6	1.77E-5	1.86E-5	3.74E-5
کاربری اراضی Land use	گونه در سال Species. yr	1.19E-8	1.62E-8	2.58E-8	6.3E-9	4.02E-9	2.31E-8
کاهش منابع معدنی Mineral resource scarcity	دلار آمریکا USD	0.000626	0.000787	0.000178	0.000441	0.000511	0.001
کاهش منابع فسیلی Fossil resource scarcity	دلار آمریکا USD	0.0304	0.04	0.0431	0.0309	0.0293	0.0468
مصرف آب، سلامت انسان Water consumption, Human health	سال تعدیل‌شده عمر DALY	7.78E-9	1.67E-7	1.39E-9	3.17E-8	3.89E-8	1.58E-7
مصرف آب، بوم‌نظام خشکی Water consumption, terrestrial ecosystem	گونه در سال Species. yr	7.34E-11	1.15E-9	8.62E-12	5.62E-10	2.35E-10	-1.29E-10
مصرف آب، بوم‌نظام آبی Water consumption, aquatic ecosystem	گونه در سال Species. yr	5.53E-15	3.02E-13	3.88E-16	4.98E-13	1.16E-13	8.63E-14

روش تحلیل آثار زیست‌محیطی: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Characterization

Comparing processes; Method: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Characterization

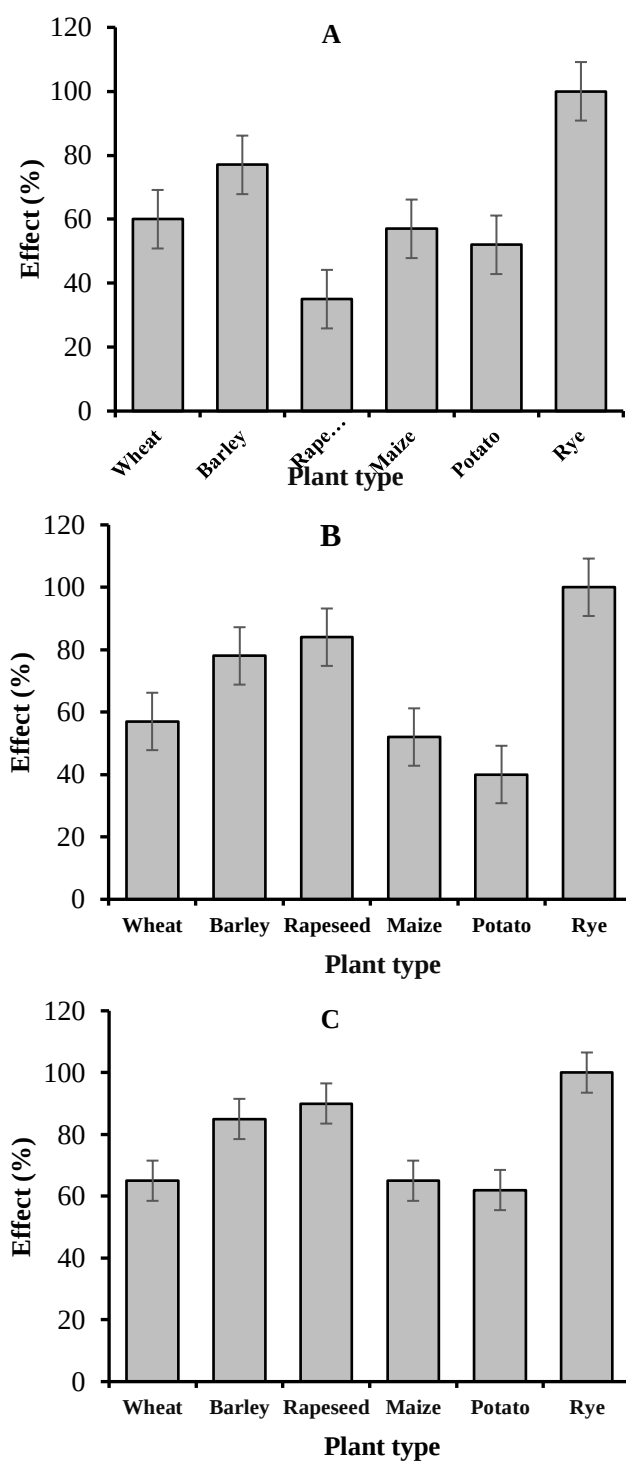
بودند. بعد از سلامت انسان، گیاهان بررسی شده بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر بوم‌نظام‌ها داشتند. اثر همه گیاهان بر طبقه منابع ناچیز بود (شکل ۲). در این مورد، اثر گیاهان مورد بررسی سلامت انسان به ترتیب حدود ۷ و ۶۴ برابر اثر آن‌ها بر سلامت بوم‌نظام و مصرف منابع بود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود که جهت بررسی اثرات زیست‌محیطی چاودار، جو، کلزا، سیب‌زمینی، ذرت و گندم برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس به اثر آن‌ها بر سلامت انسان توجه بیشتری شود. در ارزیابی اثر گیاهان در تناوب زراعی با سیب‌زمینی نتایج مشابهی به دست آمد، به‌طوری که سیب‌زمینی به‌عنوان یک گیاه با اثرات زیست‌محیطی پایین گزارش شد (Kazemi & Eskandari, 2025). بر این اساس می‌توان اظهار داشت که چاودار و جو بیشترین اثرات منفی را محیط‌زیست داشتند و به همین دلیل برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس قابل توصیه نمی‌باشد. از طرف دیگر، کلزا و سیب‌زمینی با داشتن کمترین اثرات زیست‌محیطی، گیاهان مناسبی برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

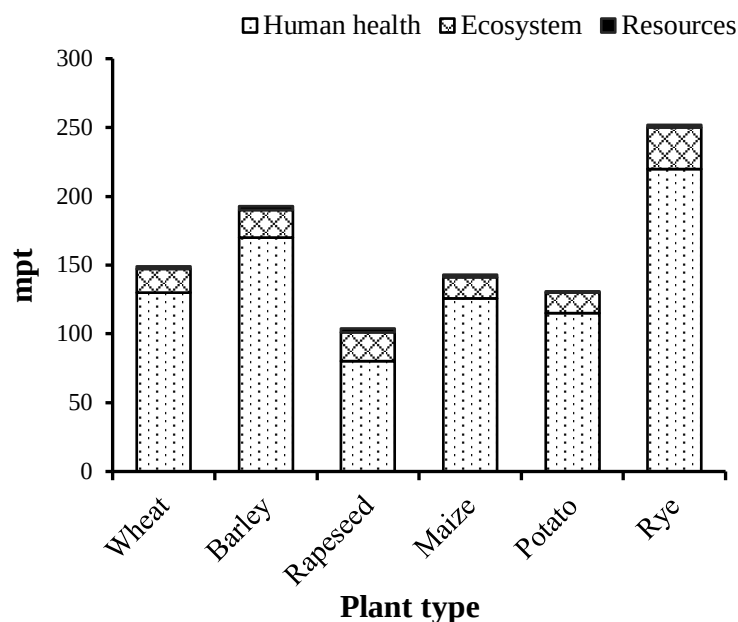
بیشترین اثر زیست‌محیطی گیاهان پیشنهاد شده برای قرارگیری در تناوب زراعی با عدس، بر سلامت انسان بود. گیاهان بررسی شده اثر زیست‌محیطی ناچیزی بر مصرف منابع داشتند. بیشترین اثرات زیست‌محیطی بر طبقه سلامت انسان به چاودار و سپس جو تعلق داشت، درحالی که کلزا و سیب‌زمینی از این نظر دارای کمترین اثرات زیست‌محیطی بودند. بر این اساس، برای کاهش بار زیست‌محیطی در برنامه تناوب زراعی عدس، توصیه می‌شود که تا حد امکان چاودار و جو در برنامه تناوب زراعی قرار نگیرند و از گیاهان کلزا و سیب‌زمینی استفاده شود. بر این اساس، یک برنامه تناوبی چهارساله براساس ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند به‌صورت کلزا، عدس، سیب‌زمینی، عدس پیشنهاد شود. با این حال، محدودیت این مطالعه، استفاده از داده‌های میانگین جهانی به‌جای داده‌های میدانی خاص یک منطقه است. اگرچه این روش برای دستیابی به هدف مقایسه سیستماتیک ضروری بود، اما برای ارائه راهکارهای عملیاتی در یک اقلیم یا نظام زراعی خاص (مانند شرایط نیمه‌خشک ایران)، انجام مطالعات بعدی با تمرکز بر داده‌های بومی و محلی پیشنهاد می‌گردد.

نتایج درصد تأثیر نوع گیاه پیشنهاد شده برای تناوب زراعی با عدس بر سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع در شکل ۱ ارائه شده است. اختلاف چاودار با سیب‌زمینی و کلزا از نظر طبقه سلامت انسان به ترتیب ۴۸ و ۶۵ درصد بود. همچنین، چاودار، کلزا و جو بیشترین اثرات منفی محیط‌زیستی را از نظر تأثیر بر طبقه بوم‌نظام داشتند و کمترین اثر در این طبقه به سیب‌زمینی تعلق داشت. (شکل ۱). از نظر مصرف منابع، چاودار بیشترین تأثیر منفی زیست‌محیطی را داشت، به‌طوری که ۴۸ درصد بیشتر از سیب‌زمینی (به‌عنوان گیاهی با کمترین اثر زیست‌محیطی بر منابع) بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد که این نتایج با میزان تولید در واحد سطح گیاهان مرتبط باشد، به‌طوری که چاودار در مقایسه با محصولاتی مانند سیب‌زمینی و کلزا، عملکرد زیستی کمتری در هر هکتار دارد، اما برای عملیات کشاورزی مشابهی مانند شخم زدن، کاشت، کوددهی و برداشت به مقدار بیشتری نهاده (زمین، سوخت، آب و کود) نیازمند است. این امر منجر به تخصیص آثار زیست‌محیطی (مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون) برای تولید محصول نهایی می‌شود و در نتیجه، ردپای زیست‌محیطی بالاتری برای هر واحد تولید ایجاد می‌کند. در مقابل، سیب‌زمینی با داشتن بازده بسیار بالای زیست‌توده در هر هکتار، آثار زیست‌محیطی را بر روی حجم عظیمی از محصول توزیع می‌کند و از کارایی بالایی برخوردار است. عملکرد مطلوب کلزا می‌تواند به دلیل نقش مهم آن به‌عنوان یک گیاه شکننده در تناوب زراعی باشد که باعث مهار طبیعی علف‌های هرز و آفات می‌شود و در نتیجه نیاز به مصرف علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها را کاهش می‌دهد. این یافته‌ها با نتایج برخی مطالعات (Nemecek et al., 2022) هماهنگی دارد که در تجزیه و تحلیل آثار زیست‌محیطی محصولات کشاورزی سوئیس نشان دادند که محصولات با بازدهی بالا مانند سیب‌زمینی و محصولاتی که در تناوب به بهبود سلامت خاک و کاهش نهاده‌ها کمک می‌کنند (مانند کلزا) به‌طور کلی عملکرد زیست‌محیطی بهتری دارند.

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که تمامی گیاهان بررسی شده، بیشترین اثر زیست‌محیطی را بر سلامت انسان داشتند، چرا که بیشترین سهم اثر زیست‌محیطی در تمامی گیاهان مورد بررسی به طبقه سلامت انسان تعلق داشت (شکل ۲). از این نظر، کلزا و سیب‌زمینی بهترین گیاهان (دارای کمترین اثرات زیست‌محیطی)



شکل ۱- درصد تأثیر نوع گیاه پیشنهادشده برای تناوب زراعی با عدس بر سلامت انسان (A)، بوم‌نظام (B) و منابع (C)
 Figure 1- The percentage effect of proposed plants for the crop rotation with lentil on human health (A), ecosystems (B) and resources (C)



شکل ۲- توزیع اثر گیاهان بررسی شده بر سلامت انسان، بوم‌نظام و منابع

Figure 2: The distribution of the impact of plants on resources, ecosystems and human health

روش تحلیل آثار زیستمحیطی: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Single score

Comparing processes; Method: ReCiPe 2016 Endpoint (E) v1.03/Single score

References

- Al-Musawi, Z. K., Al-Kaabi, M. A., & Al-Ani, M. M. (2025). Utilizing different crop rotation systems for agricultural sustainability. *Agronomy*, 15(8), 1966. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081966>
- Angadi, S. V., McDonald, C. L., Entz, M. H., & Kutcher, H. R. (2016). Canola rotation effects on subsequent crop productivity in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(2), 183–196.
- Angus, J. F., van Herwaarden, A. F., & Kirkegaard, J. A. (2019). The impact of preceding crops on grain yield and nitrogen use efficiency of wheat. *Agricultural Systems*, 176, 102659.
- Bahrani, A., & Heidari, M. (2020). Productivity and biological nitrogen fixation of lentil as influenced by previous crop residues and nitrogen fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*, 43, 2337-2350.
- Berger, M., Sonderegger, T., Alvarenga, R., Bach, V., Cimprich, A., Dewulf, J., & Young, S. B. (2020). Mineral resources in life cycle impact assessment: Part II – recommendations on application-dependent use of existing methods and on future method development needs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(4), 798-813. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01737-5>
- Bhardwaj, J., Yadav, S. S., Rizvi, A. H., & Ansari, M. A. (2022). Nutritional and phytochemical composition of lentil (*Lens culinaris*): A review. *Legume Science*, 4(4), e147.
- Coelho, B., Madramootoo, C. A., & Leclerc, M. (2019). Soil structure degradation under potato production in humid climates. *Soil and Tillage Research*, 194, 104338.
- Fantke, P., Aurisano, N., Bare, J., Backhaus, T., Bulle, C., Chapman, P. M., & Jolliet, O. (2023). Toward harmonizing ecotoxicity characterization in life cycle impact assessment. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9710-9721. <https://doi.org/10.1002/etc.4261>
- Foyer, C. H., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., & Wilson, L. T. (2023). Pulses, sustainability, and health: A comprehensive review. *Global Food Security*, 36, 100664.
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z. A., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2021). Allelopathic effects of rye cover crop on weeds and productivity of subsequent lentil crop. *Crop Protection*, 14, 1-8.
- Gan, Y., Stulen, I., Miwa, T., & van Keulen, H. (2015). Effects of cropping sequence and nitrogen fertilizer on soil nitrogen dynamics and productivity in lentil-based systems. *Field Crops Research*, 183, 96-106.
- Guinee, J. B., Heijungs, R., & De Koning, A. (2011). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Springer, Netherlands.

- Hossein, H. Y., Aizpanah, A., Namdari, M., & Shirkhani, H. (2024). Environmental life cycle assessment of corn production in tropical regions. *Scientific Reports*, 14, 20036. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70923-4>
- Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., & van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., & Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.004>
- Joshi-Saha, A., & Reddy, K. S. (2022). Lentil: A candidate crop for sustainable agriculture and nutritional security. In A. Kumar (Ed.). *Pulse Improvement: Physiological, Molecular and Functional Perspectives*. pp. 1-22. Springer.
- Kazemi, K., & Eskandari, H. (2025). Scheduling a crop rotation program for potato based on some environmental considerations. *Plant Production Technology*, 17, 29-36. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30250.2145>
- Kazemi, K., Mosavian, S. N., & Eskandari, H. (2025). Effect of planting date and fertilizer resources on grain yield and quality of cowpea (*Vigna unguiculata*) under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, (In press). (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2025.95353.1116>
- Kirkegaard, J. A., Christen, O., Krupinsky, J. M., & Layzell, D. B. (2014). Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Research*, 164, 107-122. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.02.010>
- Kumar, S., Rajendran, K., Kumar, J., Hamwiah, A., & Baum, M. (2021). Current knowledge in lentil genomics and its application for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 12, 689439. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00078>
- Laurent, A., Weidema, B. P., Bare, J., Liao, X., Ma, F., & Sovacool, B. K. (2020). Methodological review and detailed guidance for the life cycle interpretation phase. *Journal of Industrial Ecology*, 24(5), 986-1013. <https://doi.org/10.1111/jiec.13012>
- Lisson, S. N., & Kirkegaard, J. A. (2020). Optimizing crop rotations for lentil production in water-limited environments: The role of preceding barley. *Field Crops Research*, 256, 107782. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107782>
- Mudryj, A. N., Yu, N., & Aukema, H. M. (2022). The role of pulses in human nutrition: A review. *Journal of Functional Foods*, 98, 105269.
- Nemecek, T., Hayer, F., Bonnin, E., Carrouée, B., Schneider, A., & Vivier, C. (2022). Designing eco-friendly crop rotations using life cycle assessment and multi-objective optimization. *Science of The Total Environment*, 834, 155258. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.005>
- Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., & Hoekstra, A. Y. (2022). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of The Total Environment*, 803, 149986.
- Rezaei-Chiyaneh, E., Amirmia, R., & Tajbakhsh, M. (2021). Improving lentil productivity by optimizing sowing time and crop rotation in semi-arid environments. *Journal of Cleaner Production*, 283, 127562.
- Sharma, S., & Singh, P. (2022). Effect of preceding crops and nitrogen fertilization on the productivity of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Legume Research*, 45, 789-884.
- Sinha, R., Khanda, C. M., Kumar, S., & Singh, A. K. (2023). Lentil-based cropping systems for enhancing resource use efficiency and system productivity in semi-arid regions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(1), 15.
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2023). The contribution of legumes to sustainable agricultural systems. *Advances in Agronomy*, 181, 1-74.
- Telles, T. S., Higashi, G. E., Volsi, B., Bordin, I., & Moreira, A. (2025). Diversified crop rotations enhance yield stability but require strategic grain storage for profitability in southern Brazil. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22, 102123. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102123>
- Yau, S. K., & Nimah, M. (2021). The effect of preceding crops on yield and yield components of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Agricultural Science*, 159, 214-223.



Study of the Interaction of Auxin and Cytokinin Levels on Morphological, Quantitative Traits and Yield Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Cultivars

Mohsen Pourfarokhi¹, Shahram Lak¹, Nasser Zarifinia^{1,2*}, Tayeb Sakinejad¹, Mani Mojddam¹

Received: 19 October 2025
Revised: 21 January 2026
Accepted: 31 January 2026
Available Online: 31 January 2026

Cite this article:

Pourfarokhi, M., Lak, S., Zarifinia, N., Sakinejad, T., & Mojddam, M. (2025). Studying the interaction of auxin and cytokinin levels on the morphological, quantitative traits and grain yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivars. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 361-377. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.95948.1120>

Introduction

Legumes hold a special position in sustainable agriculture and the global cropping pattern. These plants, by establishing symbiosis with nitrogen-fixing bacteria of the genus *Rhizobium*, are capable of converting atmospheric molecular nitrogen into a form absorbable by the plant. This characteristic, while reducing dependence on nitrogenous chemical fertilizers, leads to improved soil fertility and increased productivity in crop rotation. Among legumes, cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is of particular importance due to its unique physiological and nutritional characteristics. This species, traditionally cultivated in arid and semi-arid regions such as northern Khuzestan, is an ideal option for cultivation under climate change conditions due to its favorable adaptation to environmental stresses (drought and heat). The high nutritional value of this crop (18-32% protein and essential amino acids) has made it a cost-effective substitute for animal protein sources. Plant hormones, as key signaling molecules, play a decisive role in modulating physiological processes and enhancing the performance efficiency of plants. Auxins, particularly indole-3-acetic acid (IAA), are effective in nitrogen fixation through increasing cell dimensions, vascular differentiation, and nodulation. Cytokinins also determine final yield by stimulating cell division, inhibiting leaf senescence, and regulating the transfer of photosynthetic materials to storage organs. The interaction of these two hormones in regulating the source-sink ratio and allocation of photosynthates to seeds is of particular importance. The innovation of this research lies in investigating the interactive effects of different levels of auxin and cytokinin on the morpho-physiological characteristics and yield of cowpea cultivars (Mashhad, Mahali, and Arabic) under the climatic conditions of Dezful. Despite scattered studies on the individual effects of these hormones, there is no comprehensive information regarding the optimal concentrations for their combined application and the differential response of cultivars. This research is designed with the aim of quantifying the growth and reproductive responses of cultivars to the combined application of auxin and cytokinin and identifying the best cultivar-hormone combination for sustainable yield increase.

Materials and Methods

This research was conducted during two crop years (2021-2022) at the Safiabad Agricultural and Natural Resources Research Center in Dezful. The experiment was designed as a factorial split-plot arrangement based on a randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of three cowpea cultivars (Mashhad, Mahali, and Arabic), and sub-plots included factorial combinations of three auxin concentrations (0, 200, and 400 mg.L⁻¹) and three cytokinin concentrations (0, 100, and 200 mg.L⁻¹). Each experimental plot comprised 10 planting rows, 10 meters long, with a row spacing of 75 cm and a plant spacing of 20 cm.

Hormone foliar application was performed at the beginning of the flowering stage (60 days after planting). Measured traits included grain yield, biological yield, number of branches per plant, number of pods per plant, pod length, number of seeds per pod, and 100-seed weight. Combined analysis of variance for the data from two crop years was performed considering the year effect as a random factor and the effects of cultivar, auxin, cytokinin, and their interactions as fixed factors. Means were compared using Duncan's multiple range test at a five percent probability level using SAS software.

1- Department of Agriculture, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran

2- Horticultural Sciences Research Institute, Sabzi Vasifi Research Institute, Safi Abad Agricultural and Natural Resources Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran

* Corresponding Author: zarifinia@yahoo.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/).

(version 9.2). Correlation coefficients between traits were calculated using Pearson's method in SPSS software (version 26), and graphs were drawn using Excel software (version 2013).

Results and Discussion

The results showed that the combined application of auxin 400 mg.L⁻¹ and cytokinin 200 mg.L⁻¹ resulted in superior performance in most traits compared to control treatments and individual hormone applications. The highest number of seeds per pod (12.7), pod length (16.7 cm), number of branches (14), and grain yield (2346 kg.ha⁻¹) were observed in the Mashhad cultivar, while the highest number of pods per plant (45.6) and biological yield (5226 kg.ha⁻¹) were observed in the Mahali cultivar under the same treatment. On average, hormone application caused a 24% increase in grain yield, with the Mashhad cultivar showing the greatest response. Combined analysis of variance showed that the three-way interaction (cultivar × auxin × cytokinin) was significant for biological yield, number of branches, number of pods per plant, and 100-seed weight. Two-way interactions were significant for grain yield, pod length, and number of seeds per pod. The highest grain yield (2346 kg.ha⁻¹) was obtained from the treatment of Mashhad cultivar with auxin 400 mg.L⁻¹ and cytokinin 200 mg.L⁻¹ (V1A2C2). This treatment also resulted in maximum biological yield (5661 kg.ha⁻¹), number of branches (12.8), number of pods per plant (45.6), pod length (16.0 cm), and number of seeds per pod (12.7). The lowest values were observed in the control treatment of the Arabic cultivar. It appears that the application of auxin and cytokinin, by improving hormonal balance, increasing photosynthetic efficiency, and optimizing source-sink relationships, has led to increased pod formation, improved seed growth, and ultimately enhanced yield. Correlation analysis showed a significant positive correlation between grain yield and biological yield ($r = 0.75$) and between the number of pods per plant and biological yield ($r = 0.72$). Pod length had a very strong correlation with the number of seeds per pod ($r = 0.88$) and 100-seed weight ($r = 0.89$).

Conclusions

The results indicated that the combined foliar application of the plant hormones auxin and cytokinin had a significant effect on improving the morphological traits, yield components, and grain yield of cowpea. The Mashhad cultivar showed the greatest positive response to hormone application, and the treatment of auxin 400 mg.L⁻¹ along with cytokinin 200 mg.L⁻¹ on this cultivar was identified as the most effective combination for maximizing yield impact. Therefore, the combined application of these hormones at the mentioned concentrations on high-potential cultivars like Mashhad can be recommended as an effective strategy to enhance cowpea productivity in regions similar to the climatic conditions of northern Khuzestan province.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the Safiabad Agricultural and Natural Resources Research Center in Dezful for their support in conducting this research.

Keywords: Number of pods per plant, Number of side branches, Plant hormone, Pod length, Sustainable agriculture, 100-seed weight



مطالعه برهم کنش سطوح اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک و مؤلفه‌های عملکردی ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

محسن پورفرخی^{۱*}، شهرام لک^۱، ناصر ظریفی نیا^{۲*}، طیب ساکی نژاد^۱، مانی مجدم^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۱

چکیده

لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات در مناطق نیمه‌خشک است که به دلیل تثبیت نیتروژن در خاک و درصد بالای پروتئین دانه، در کشاورزی پایدار و رژیم غذایی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی اثر هورمون‌های گیاهی اکسین و سیتوکینین بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات زایشی ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی، به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد شهرستان دزفول اجرا شد. در این تحقیق سه واریته مشهد، محلی و عربی لوبیا چشم‌بلبلی به عنوان عامل‌های اصلی و سطوح مختلف هورمون‌های اکسین شامل شاهد (عدم مصرف)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر و سیتوکینین شامل شاهد (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به عنوان عامل‌های فرعی در نظر گرفته شدند. به طور کلی، نتایج نشان داد که ترکیب تیماری ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین موجب برتری اکثر صفات شد. بیشترین مقادیر طول غلاف (۱۶/۷ سانتی‌متر)، تعداد دانه در غلاف (۱۲/۷)، تعداد شاخه فرعی (۱۴) و عملکرد دانه (۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) در رقم مشهد و بیشترین تعداد غلاف در بوته (۴۴/۶) و عملکرد زیستی (۵۲۲۶ کیلوگرم در هکتار) در رقم محلی تحت این تیمار ترکیبی به دست آمد. میانگین افزایش عملکرد دانه در تیمارهای با کاربرد هورمون‌های رشد حدود ۲۴ درصد بود و رقم مشهد بیشترین پاسخ را نشان داد. این یافته‌ها نشان داد که پتانسیل ژنتیکی رقم و محلول‌پاشی ترکیبی هورمون‌های اکسین و سیتوکینین توانست با بهبود تعادل هورمونی، صفات زایشی و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی را به طور مؤثری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، کشاورزی پایدار، وزن ۱۰۰ دانه، هورمون گیاهی

مقدمه

درصد پروتئین، در مقایسه با پروتئین‌های حیوانی، در رژیم غذایی مردم به ویژه افراد کم‌درآمد، از نقطه نظر تغذیه‌ای اهمیت بسیاری دارد و تحت عنوان گوشت مردم فقیر نامیده می‌شود (Baptista et al., 2016; Al-Amri, 2018). علاوه بر این، وقتی این گیاه در سیستم‌های تناوب زراعی ادغام می‌شود، باعث تجمع مواد آلی خاک و تثبیت نیتروژن می‌شود که موجب افزایش باروری خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Sánchez-Navarro et al., 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد، مولکول‌های کوچک آلی هستند که در لندام‌ها یا بافت‌های خاص تولید شده و پاسخ‌های معینی را ایجاد می‌کنند (Peleg & Blumwald, 2011). هورمون‌های رشد به طور گسترده برای افزایش رشد گیاهان، تعداد و اندازه میوه و بهبود عملکرد استفاده می‌شوند (Pramanik & Mohapatra, 2017). اکسین‌ها مهم‌ترین گروه هورمون‌های گیاهی هستند که باعث طولیل شدن سلول‌های گیاهی

رشد جمعیت و تغییر الگوی مصرف، تقاضای جهانی غذا را افزایش داده و امنیت غذایی را تهدید می‌کند (Godfray et al., 2010). برای حفظ امنیت غذایی، ضروری است که روند توسعه محصولات پروتئینی گیاهی با سرعت ادامه یابد تا امکان تغذیه ۳/۲ میلیارد نفر دیگر تا چهار دهه آینده وجود داشته باشد (Aiking, 2011). لوبیا در بین حبوبات از لحاظ سطح زیرکشت و ارزش اقتصادی در جهان، مقام اول را به خود اختصاص داده است (FAO, 2025). لوبیا چشم‌بلبلی با نام علمی *Vigna unguiculata* L. متعلق به خانواده حبوبات می‌باشد و اغلب به عنوان گیاهی با سازگاری زیاد به دماهای بالا و خشکی در مقایسه با گونه‌های دیگر حبوبات مورد توجه است (Da Silva et al., 2018). لوبیا چشم‌بلبلی گیاهی یک‌ساله، روز کوتاه و گرمادوست بوده و در مقایسه با سایر حبوبات سرشار از آمینواسیدهای تریپتوفان و لیزین است (Al-Amri, 2018). این گیاه به علت داشتن ۱۸ تا ۳۲

۱- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده سبزی و صیفی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
(*)- نویسنده مسئول: zarifinian@yahoo.com

بیولوژیک نیتروژن و عملکرد دانه در ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) داشت (Pourfarokhi et al., 2025).

در بسیاری از مطالعات غذا و بازار حبوبات گزارش شده است که لوبیای چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) نسبت به لوبیای قرمز، چیتی و سفید، مصرف کمتری در جیره غذایی دارد. یکی از دلایل مهم این تفاوت، ویژگی‌های حسی آن است. بررسی‌های ارزیابی حسی نشان می‌دهد که چشم‌بلبلی در مقایسه با لوبیاهای رایج، طعم ملایم‌تر و گاهی «خاکی‌تر» دارد و این پروفایل طعمی برای بخشی از مصرف‌کنندگان جذابیت کمتری دارد (Aremu et al., 2024).

باین‌حال، اطلاعات جامعی در مورد برهم‌کنش این دو هورمون بر ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی و نیز تعیین سطوح بهینه کاربرد آن‌ها برای دستیابی به حداکثر کارایی، به‌ویژه در شرایط اقلیمی شمال خوزستان، محدود است. همچنین واکنش‌پذیری ارقام مختلف به محرک‌های هورمونی ممکن است به دلیل اختلاف در پتانسیل ژنتیکی، متفاوت باشد. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات جداگانه و توأم هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه سه رقم متداول لوبیا چشم‌بلبلی (مشهد، محلی و عربی) در شرایط مزرعه‌ای منطقه دزفول بود تا بتوان با شناسایی بهترین ترکیب رقم-هورمون، گامی در جهت افزایش پایدار تولید این محصول ارزشمند برداشت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد واقع در ۱۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان دزفول (استان خوزستان) انجام گرفت. این ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۸۲/۸ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه حدود ۲۵۰ میلی‌متر و اقلیم آن نیمه‌خشک است. شاخص‌های هواشناسی طی دوره اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی اجرا شد. عامل‌های اصلی مورد مطالعه شامل ارقام مشهد، محلی و عربی و عامل‌های فرعی شامل سه سطح اکسین شاهد (عدم مصرف)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر و شامل سه سطح هورمون سیتوکینین از جمله شاهد (عدم مصرف)، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بودند. در سطح جهانی، تولید هورمون‌های رشد گیاهی در اختیار شرکت‌های بزرگ مانند BASF و Syngenta است. در ایران، بیشتر این محصولات وارد

می‌گردند و طیف گسترده‌ای را از نظر واکنش‌های رشدونموی در گیاهان سبب می‌شوند (Miransari et al., 2014; Bahmankar et al., 2024). ایندول استیک اسید (IAA^1)، فراوان‌ترین و مهم‌ترین اکسین در گیاهان می‌باشد (Ghorbani Javid et al., 2011). از مهم‌ترین اثراتی که ایندول استیک اسید در گیاهان ایجاد می‌کند، می‌توان به افزایش طول ساقه گیاه، تولید ریشه، تولید آوندهای چوبی، افزایش رشد جوانه رأسی، جلوگیری از رشد جوانه جانبی، تشکیل میوه، بزرگ شدن میوه، تشکیل گره در ریشه گیاهانی دارای همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، جلوگیری از ریزش برگ، بیوسنتز پروتئین و ساختمان DNA/RNA اشاره کرد (Kaya et al., 2010; Khaled et al., 2015; Pramanik & Mohapatra, 2017).

سیتوکینین‌ها نیز گروهی از هورمون‌های گیاهی هستند که بر تمام مراحل رشد گیاهان از باروری تخمک تا پیری و مرگ تأثیر می‌گذارند (Norouzi et al., 2021). سیتوکینین‌ها نقش‌های مهمی در فرآیندهای گیاهی مانند تقسیم سلولی، رشدونمو ساقه، تأخیر در پیری، نمو فوتومورفوژنیک، تقسیم و رشد کلروپلاست، و همچنین کنترل متابولیسم در پاسخ به محرک‌های محیطی دارند (Hirose et al., 2008; Gajdosova et al., 2011; Norouzi et al., 2021). علاوه بر این سیتوکینین‌ها بر فعالیت آنزیم‌ها و بیوسنتز مراحل رشد تأثیر می‌گذارند و در ظهور لندامک‌ها و انتقال مواد غذایی در گیاهان مؤثر هستند (Ashraf et al., 2008). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد به صورت طبیعی و سنتزی در محصولات کشاورزی به عنوان عاملی جهت افزایش عملکرد، بهبود رشد و مقاومت به تنش‌های محیطی توسعه یافته است (Khadr et al., 2020). در همین راستا، سوماسی و همکاران (Sumathi et al., 2018) گزارش کردند که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی در گیاه لپه هندی یا دال عدس (*Cajanus cajan*) منجر به افزایش تعداد گل در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و طول غلاف شد (Sajjan et al., 2020). محققان نشان دادند که هورمون‌های رشد مثل اکسین و سیتوکینین سبب افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و طول غلاف در گیاه *Dolichos bean* (*Lablab purpureus* L.) شد. علاوه بر این‌ها، گزارش‌های دیگری نیز در مورد تأثیر کاربرد هورمون‌های گیاهی بر بهبود صفات ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی گیاهان گزارش شده است (Sachin et al., 2019; Golchin et al., 2021; Kushwaha et al., 2021).

کاربرد هورمون‌های گیاهی اکسین و سیتوکینین نقش مهمی در تنظیم رشد ریشه، افزایش تعداد و توسعه گره‌های ریشه‌ای و بهبود تثبیت

می‌شود؛ شرکت زیست آزما و گرین آذین از واردکنندگان اصلی هستند و فروشگاه‌های مانند بهنوجن و کشاورزنت نیز آن‌ها را عرضه می‌کنند. عملیات تهیه بستر در اواسط تیرماه هر دو سال زراعی مورد آزمایش، با انجام شخم توسط گاواهن قلمی به‌منظور زیر خاک کردن بقایای محصول گندم (*Triticum aestivum* L.) سال قبل انجام گردید. قبل از کاشت، مزرعه دیسک زده شد. هر کرت شامل ۱۰ ردیف کاشت به‌طول ۱۰ متر بود. فاصله بین بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که تراکم کاشت معادل ۶۷۰۰۰ بوته در هکتار را تأمین می‌کرد. پس از عملیات کاشت بذور، آبیاری بلافاصله و تا زمان استقرار کامل بوته‌ها به‌طور مداوم، و سپس به‌صورت هفتگی تا دو هفته قبل از برداشت، در حد رطوبت مطلوب اعمال گردید.

تعداد کل کرت‌ها ۱۶۴ کرت و مساحت کل مزرعه ۲۶۴۰ مترمربع بود. عملیات کشت در هر دو سال در پانزدهم تیرماه و

به‌صورت دستی، در عمق دو تا سه سانتی‌متری خاک انجام شد. ۶۰ روز پس از کاشت و هم‌زمان با آغاز مرحله گل‌دهی، محلول‌پاشی تیمارها با آب مقطر برای تیمارهای شاهد و حاوی هورمون‌ها به‌وسیله سم‌پاش اتومایزر در مرحله آغاز گل‌دهی (۶۰ روز پس از کاشت) و در شرایط بدون باد و دمای ملایم (ساعات اولیه صبح) به‌گونه‌ای اجرا شد که تمامی بوته‌ها آغشته شوند. ابتدا به‌منظور کاهش کشش سطحی آب و افزایش جذب، مقدار پنج سی سی ماده "توئین ۲۰" رقیق‌شده (۰/۰۱ درصد) به همراه سطوح مختلف ایندول-۳- استیک اسید به‌عنوان هورمون اکسین (شاهد، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر) و ۶- بنزیل آمینوپورین به‌عنوان هورمون سیتوکینین (شاهد، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) در ۲۰۰ لیتر آب در هکتار حل شد و به‌عنوان محلول تیمار اعمال گردید. در نهایت، برداشت محصول در پایان مهرماه انجام پذیرفت (جدول ۲).

جدول ۱- شاخص‌های آب‌وهوایی محل اجرای آزمایش طی ماه‌های مختلف در سال‌های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 1- Meteorological parameters of the experimental site during different months in growing seasons of 2021 and 2022

ماه/سال Month/year	ساعات آفتابی Sunny hours	رطوبت نسبی مطلق (حداقل) Absolute relative humidity (minimum) (%)	رطوبت نسبی مطلق (حداکثر) Absolute relative humidity (maximum) (%)	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	دمای میانگین (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	حرارت میانگین (درجه سانتی‌گراد) Yesterday average (°C)
تیر ۱۴۰۰ July 2021	353.6	4	64	27.5	25.5	46.5	36
تیر ۱۴۰۱ July 2022	361.7	3	82	27	26.9	47.7	37.3
مرداد ۱۴۰۰ August 2021	339.5	5	85	34.5	26.5	46.2	36.3
مرداد ۱۴۰۱ August 2022	338.8	3	62	26	27.4	47	37.2
شهریور ۱۴۰۰ September 2021	317	7	82	35	24.3	43.1	33.7
شهریور ۱۴۰۱ September 2022	323.8	3	86	30	24.8	44.6	34.7
مهر ۱۴۰۰ October 2021	284.7	9	89	48	19.3	37.9	28.6
مهر ۱۴۰۱ October 2022	293.6	6	80	35	19.3	38.8	29.1
آبان ۱۴۰۰ November 2021	209.1	6	100	55	14.3	29.8	22
آبان ۱۴۰۱ November 2022	203.9	13	98	54	14.5	29.2	21.9

جدول ۲- زمان‌بندی عملیات کاشت، محلول‌پاشی و برداشت طی دو سال زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱

Table 2- Schedule of sowing, foliar application, and harvesting in two cropping years of 2021 and 2022

سال آزمایش Experiment year	تاریخ کاشت Planting date	تاریخ محلول پاشی Date of foliar spraying	تاریخ برداشت Harvest date
1400 2021	۱۵ تیرماه July 15	۱۵ شهریور September 15	۳۰ مهرماه October 30
1401 2022	۱۵ تیرماه July 15	۱۵ شهریور September 15	۳۰ مهرماه October 30

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) در دو سال اجرای آزمایش

Table 3- Chemical properties of the experimental field soil (0-30 cm depth) during the two cropping years of the experiment

سال آزمایش Experiment year	کربن آلی Organic carbon (%)	کل نیتروژن N total (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت Texture
1400 2021	0.46	0.23	105	4.9	6.9	0.92	Silty loam
1401 2022	0.57	0.34	108	6.8	7.1	0.99	Silty loam

دانه در غلاف، پس از رشد حداکثر گیاه و هنگام رسیدگی کامل غلاف‌ها، پنج بوته از هر تیمار به‌صورت تصادفی انتخاب و تعداد و طول غلاف‌ها شمارش و میانگین آن‌ها در نظر گرفته شد. سپس از هر بوته سه غلاف انتخاب و تعداد دانه در غلاف شمارش و میانگین آن‌ها برای تعداد دانه در غلاف در نظر گرفته شد (Heydari, 2016).

تعاریف اختصاری عامل‌های اصلی و فرعی برای ارقام V۱، V۲ و V۳ به‌ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ برای هورمون اکسین A۰، A۱ و A۲ به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین؛ و برای هورمون سیتوکینین C۰، C۱ و C۲ به‌ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین در نظر گرفته شد. پیش از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌های دو سال از طریق آزمون بارتلت بررسی و تأیید گردید. سپس تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال زراعی برای صفات مورد مطالعه با در نظر گرفتن اثر سال به‌عنوان عامل تصادفی و اثرات رقم، اکسین، سیتوکینین و برهم‌کنش‌های آن‌ها به‌عنوان عوامل ثابت، انجام شد.

مقایسه میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ صورت گرفت. برای بررسی روابط خطی بین صفات، ضرایب همبستگی پیرسون با کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶

برای بررسی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، در هر سال زراعی یک نمونه مرکب از پنج نقطه مزرعه و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. نمونه‌ها پس از مخلوط شدن، جهت تجزیه‌های خاک‌شناسی به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در جدول ۳ ارائه شده است.

در مرحله سبز شدن و استقرار گیاه، آبیاری به فاصله هر چهار روز یک‌بار آبیاری انجام شد تا رطوبت خاک برای جوانه‌زنی و توسعه ریشه‌های اولیه حفظ گردد. پس از استقرار کامل گیاه، دفعات آبیاری کاهش یافته و یک بار در هفته انجام شد تا نیاز آبی گیاه در مراحل تکامل گیاه نیز تأمین گردد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، عملیات برداشت نهایی به‌منظور تعیین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و وزن ۱۰۰ دانه انجام شد. سپس دانه‌ها از غلاف‌ها جدا و پس از محاسبه درصد رطوبت دلنه‌ها، عملکرد نهایی برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه و برآورد گردید. جهت محاسبه وزن ۱۰۰ دانه، دو نمونه ۵۰ عددی از دانه‌های تولیدی هر کرت جدا و در صورتی که اختلاف وزن آن‌ها کمتر از پنج درصد بود، مجموع وزن آن‌ها به‌عنوان وزن ۱۰۰ دانه در نظر گرفته شد (Syed, 2016). زمان رسیدن گیاه به مرحله فیزیولوژیک و ارتفاع نهایی، قبل از برداشت، با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد شاخه‌های فرعی شمارش شدند و میانگین آن در نظر گرفته شد (Heydari, 2016). برای اندازه‌گیری تعداد و طول غلاف‌ها، تعداد

محاسبه گردید. همچنین ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌جانبه اکسین $\times$ سیتوکینین $\times$ رقم بر صفات عملکرد زیستی، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه، و اثرات دوجانبه بر صفات عملکرد دانه، طول غلاف و تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بودند. همچنین اثرات ساده اکسین بر تمامی صفات به‌جز تعداد شاخه فرعی، اثرات ساده سیتوکینین بر تمامی صفات، و اثرات سال نیز بر تمامی صفات به‌جز تعداد شاخه فرعی و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بودند (جدول ۴).

طول غلاف

براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، رقم مشهد ۷۱ با میانگین طول غلاف ۱۶/۷ سانتی‌متر بیشترین مقدار و رقم عربی ۷۳ با میانگین ۱۴/۶ سانتی‌متر، کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).

براساس نتایج جدول ۳، رطوبت نسبی در دو سال مورد بررسی متفاوت بود. از این‌رو، می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که علاوه بر خصوصیات ژنتیکی ارقام، بخشی از تفاوت معنی‌دار مشاهده‌شده در طول غلاف (جدول ۴) احتمالاً تحت تأثیر شرایط رطوبت نسبی بین دو سال قرار گرفته باشد.

محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با ایندول-۳-بوتریک اسید موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخه‌دهی، طول غلاف، وزن تر و خشک گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، میزان پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد شد (Amal et al., 2009).

محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با ایندول-۳-بوتریک اسید موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخه‌دهی، طول غلاف، وزن تر و خشک گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، میزان پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد شد (Amal et al., 2009).

با توجه به یکسان بودن عوامل زراعی، اقلیمی و سایر شرایط محیطی کشت برای هر سه ژنوتیپ، می‌توان گفت که اختلاف

مشاهده‌شده در طول غلاف عمدتاً ناشی از خصوصیات ژنتیکی متفاوت ژنوتیپ‌های لوبیای گرمسیری بوده است. به‌طوری‌که رقم محلی با بیشترین طول غلاف و رقم عربی با کمترین طول غلاف، به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقدار این صفت را نشان دادند. طول غلاف از جمله صفات مؤثر بر تعداد دانه در غلاف است که می‌تواند به‌طور مستقیم عملکرد اقتصادی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. به نظر می‌رسد که کوتاه بودن طول غلاف در شاهد، از دلایل کاهش عملکرد دانه باشد؛ هرچند عواملی همچون تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه نیز نقش تعیین‌کننده‌ای بر افزایش عملکرد در واحد سطح دارند.

تعداد غلاف در بوته

نتایج اثرات متقابل نشان داد که تیمار رقم مشهد با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر هورمون اکسین V1A2 با میانگین ۴۴/۶ بیشترین و تیمار V3A0 با میانگین ۲۶/۵ کمترین تعداد غلاف را در بین ترکیب‌های تیماری دارا بودند (شکل ۲).

تعداد غلاف در بوته به عنوان یکی از مؤثرترین صفات در تعیین عملکرد دانه می‌باشد، زیرا می‌تواند نقش تعیین‌کننده در تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه داشته باشد (Zarei et al., 2011). از آنجایی که عوامل زراعی و سایر شرایط حاکم بر محیط کاشت برای هر سه رقم یکسان بود، می‌توان گفت که اختلاف تعداد غلاف در بوته به‌دلیل خصوصیات ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف لوبیای چشم‌بلبلی و کاربرد هورمون‌ها بود.

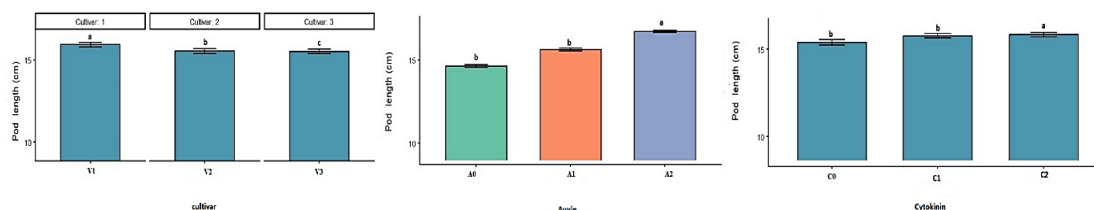
در این پژوهش مشاهده شد که در مراحل اولیه رشد زایشی لوبیا، تفاوت بین ارقام و کاربرد هورمون‌ها بر افزایش تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد غلاف در بوته مؤثر بود و پس از افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف نیز تحت تأثیر قرار گرفت (شکل ۲). گیاهان، ظرفیت مخزن خود را با ظرفیت منبع تنظیم می‌کنند و تغییرات تعداد غلاف در بوته در این آزمایش نشان داد که کاربرد هورمون‌ها در مرحله زایشی، روند رشد گیاه را افزایش داد و گیاه برای ایجاد تعادل بین منبع و مخزن، تعداد گل‌ها و غلاف‌های تولیدی خود را افزایش داد. براساس یافته‌های برخی از پژوهشگران، مصرف بیشتر اکسین و سیتوکینین از طریق افزایش درصد گل‌ها، افزایش دوره گل‌دهی و باروری و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر موجب افزایش تعداد غلاف در بوته گردید (Sajjan et al., 2020).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب صفات ارزیابی شده ارقام لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تأثیر هورمون‌های اکسین و سیتوکینین
 Table 4- Combined analysis of variance of evaluated traits under the influence of auxin and cytokinin hormones on cowpea (*Vigna unguiculata* L. cultivars)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول غلاف Pod length	تعداد غلاف در بوت Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of grain per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of one hundred grain	تعداد شاخه فرعی Number of sub- branches	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield
سال Year (Y)	1	3.85**	379.65**	7.13 **	0.09ns	1.78ns	130276.77**	2718852.9**
خطای سال Block (Y)	4	1.59	36.15	4.1	1.06	1.51	5952.32	26206.8
وارتیه Variety (V)	2	2.85**	942.96**	5.12**	519.72**	229.62**	10463959.49**	57730461.9**
سال × واریتیه Y × V	2	3.00**	0.22 ^{ns}	10.85**	0.02 ^{ns}	0.76 ^{ns}	44225.78**	1727798.0**
خطای واریتیه × سال Block × V (Y)	8	1.62	27.57	2.60	0.77	1.70	13824.97	226518.0
اکسین Auxin (A)	2	59.15**	931.33**	96.50**	84.37**	304.24 ^{ns}	821853.45**	4263360.7**
سال × اکسین Y × A	2	0.06 ^{ns}	0.85 ^{ns}	3.52**	0.04 ^{ns}	1.06 ^{ns}	11379.34 ^{ns}	416292.5**
واریتیه × اکسین V × A	4	0.20 ^{ns}	46.68**	1.62**	0.20 ^{ns}	4.87**	20194.40**	399611.8**
سال × واریتیه × اکسین Y × V × A	4	0.12 ^{ns}	6.01*	0.30 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.98 ^{ns}	7218.80 ^{ns}	524954.1**
سیتوکینین Cytokinin (C)	2	3.06**	118.54**	12.57**	8.26**	24.79 ^{ns}	96357.52**	379496.2**
سال × سیتوکینین Y × C	2	0.02 ^{ns}	0.69 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.04**	117.82ns	29970.4 ^{ns}
سال × واریتیه × سیتوکینین Y × V × C	4	0.06 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.28**	0.08 ^{ns}	2002.49 ^{ns}	24733.2 ^{ns}
واریتیه × سیتوکینین V × C	4	0.19 ^{ns}	3.24 ^{ns}	1.03 ^{ns}	1.03**	0.31 ^{ns}	3010.16 ^{ns}	92119.2 ^{ns}
اکسین × سیتوکینین A × C	4	0.205 ^{ns}	5.75 ^{ns}	0.87*	0.69**	2.25 ^{ns}	7530.99 ^{ns}	28726.0 ^{ns}
سال × اکسین × سیتوکینین Y × A × C	4	0.11 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.04*	2136.17 ^{ns}	7908.9ns
واریتیه × اکسین × سیتوکینین V × A × C	8	0.11 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.37**	1.111 ^{ns}	3835.67**	8383.8 ^{ns}
سال × واریتیه × اکسین × سیتوکینین Y × V × A × C	8	0.07 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.16ns	1849.73 ^{ns}	6157.8 ^{ns}
خطای سال × واریتیه × اکسین × سیتوکینین Y × V × A × C	96	0.126	0.30	0.166	0.115	0.068	178	374593
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.25	7.97	7.68	6.15	7.22	13.95	12.41

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

ns: not significant and **: significant at the 1 percent probability level and *: significant at the 5 percent probability level

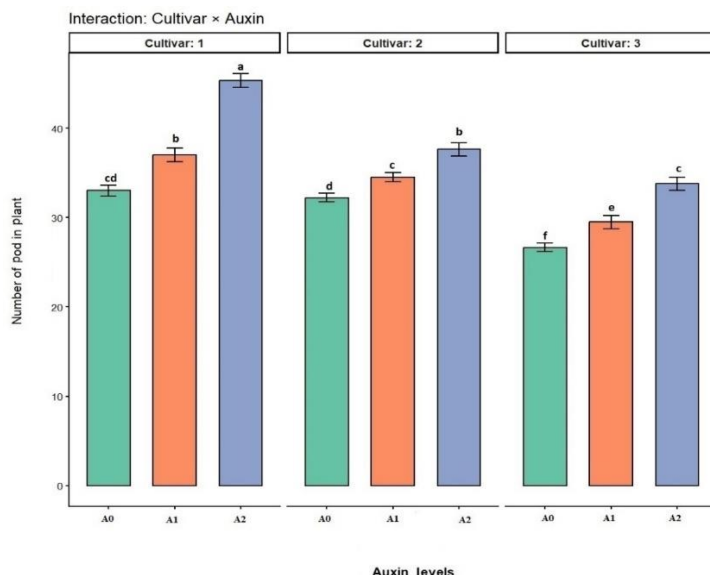


شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات ساده رقم، اکسین و سیتوکینین بر طول غلاف لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 1- Mean comparison of main effects of cultivar, auxin and cytokinin on pod length of cowpea across two cropping years

V1, V2 and V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین؛ C0، C1 و C2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹, and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم × اکسین بر تعداد غلاف در بوته گیاه لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 2- Mean comparison of the cultivar × auxin interaction effect on the number of pods per plant in cowpea across two growing seasons

V1, V2 and V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹, and 400 mg.l⁻¹ auxin

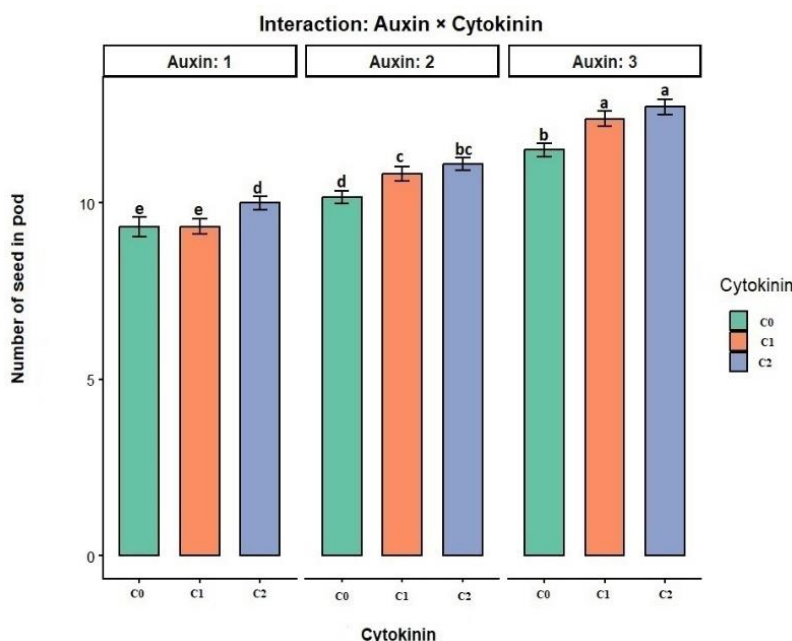
تعداد دانه در غلاف

بررسی مقایسه میانگین‌های اثرات دوجانبه تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی گرم در لیتر هورمون اکسین و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر هورمون سیتوکینین A2C2 با میانگین ۱۲/۷ و کمترین مقدار مربوط به شاهد A0C0 با میانگین ۹/۳ بود (شکل ۳).

تعداد دانه در غلاف از جمله صفات بسیار مهم زایشی گیاه لوبیا است که افزایش و کاهش آن، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. تعداد دانه در غلاف، تعیین‌کننده تعداد سبک گیاه می‌باشد. به عبارت دیگر، هرچه تعداد سبک در یک گیاه بیشتر شود، چنانچه مواد

فتوسنتزی تولیدشده در اثر فتوسنتز بتواند ظرفیت آن‌ها را پر نماید، عملکرد بیشتری را به دنبال خواهد داشت (Baptista et al., 2016; Al-Amri, 2018).

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد اکسین و سیتوکینین روی گیاه لوبیا چشم‌بلبلی موجب افزایش تعداد دانه در غلاف شد. اکسین و سیتوکینین به عنوان تحریک‌کننده‌های تقسیم و توسعه سلولی شناخته می‌شوند و این تنظیم‌کننده‌های رشد بر قسمت‌های زایشی گیاه در زمان کاربرد آن‌ها بیشتر اثر می‌گذارند، که به این وسیله موجب افزایش تعداد غلاف و تعداد دانه در غلاف به‌عنوان منبع اصلی می‌شوند (Kushwaha et al., 2021).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه اکسین × سیتوکینین بر تعداد دانه در غلاف لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 3- Mean comparison of auxin × cytokinin interaction effects on number of seeds per pod in cowpea across two cropping years

A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین؛ C0، C1 و C2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین
A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

این صفت تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه از نظر پتانسیل دانه، رقابت دانه‌ها، طول دوره پر شدن، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد و شرایط محیطی قرار دارد (Al-Amri et al., 2018). نتایج ما نشان داد که کاربرد اکسین و سیتوکینین، وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی را افزایش داد. علت افزایش وزن ۱۰۰ دانه را می‌توان به افزایش رشد رویشی و زایشی در اثر مصرف هورمون‌های یادشده نسبت داد که باعث افزایش دوره مؤثر پر شدن دانه و نیز بهبود سنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌های در حال رشد می‌شوند (Baptista et al., 2016).

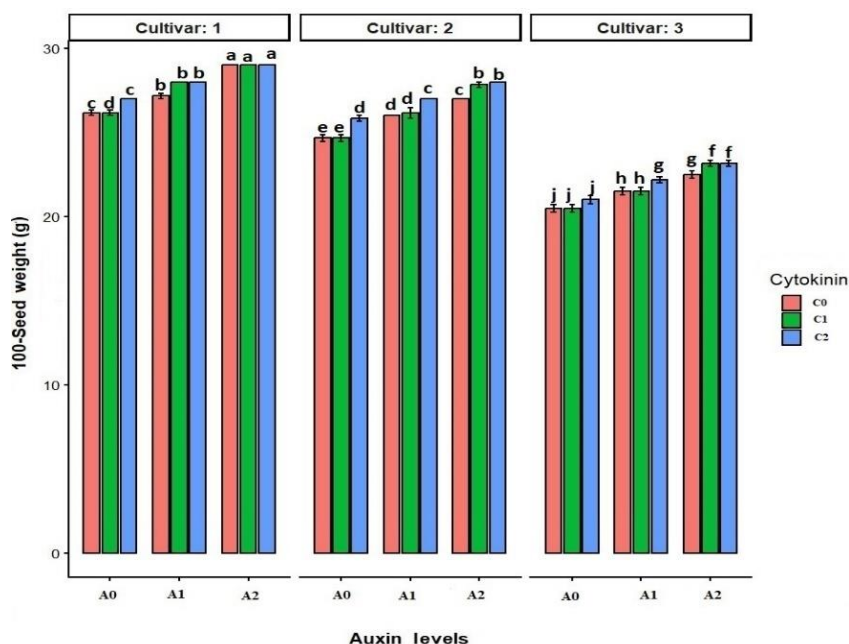
براساس نتایج ما، بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن ۱۰۰ دانه تفاوت وجود داشت و رقم مشهد با توجه به اینکه در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر دارای پتانسیل بیشتری از نظر این صفت بود، آسمیلات بیشتری را جذب دانه نمود و در نتیجه وزن ۱۰۰ دانه آن نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود، که خصوصیت ژنتیکی گیاه در این شاخص دخیل بود. مصرف سطوح بالای اکسین و سیتوکینین، بیشترین تأثیر را بر وزن ۱۰۰ دانه داشت و شاید با توجه به نقش مکملی این دو هورمون در تقسیم و افزایش ابعاد سلولی گیاه و ژنوتیپ گیاه لوبیا، در نهایت بهبود اجزای عملکرد این نتیجه قابل توجیه باشد.

یکی دیگر از دلایل افزایش تعداد دانه در غلاف، افزایش میزان گل‌دهی بود که در نتیجه آن تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافت. با ارزیابی این تحقیق مشاهده شد که افزایش تعداد دانه در غلاف توسط تنظیم‌کننده‌های رشد می‌تواند ناشی از تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه به ویژه اکسین باشد که افزایش تعداد دانه در غلاف گیاه را نیز به همراه خواهد داشت. تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر افزایش تعداد دانه در غلاف در گیاه *Pigeonpea* توسط سوماسی و همکاران (et al., Sumathi, 2018)، در گیاه *Dulichos* توسط ساجان و همکاران (Sajjan et al., 2020) و گیاه ماش سیاه (*Vigna mungo*) توسط ساجین و همکاران (Sachin et al., 2019) گزارش شده است که در تطابق با نتایج این تحقیق هستند.

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه مربوط به رقم مشهد با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر سیتوکینین تیمار ۷۱۸۲۲ به میزان ۲۹ گرم و کمترین آن به رقم عربی تیمار شاهد ۷۳۸۰۰ با ۲۰/۵ گرم اختصاص داشت (شکل ۴).

وزن ۱۰۰ دانه یکی از اجزای مهم عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی بوده و نسبت به سایر اجزای عملکرد، از نوسانات بیشتری برخوردار است و



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات سه جانبه رقم، اکسین و سیتوکینین بر وزن ۱۰۰ دانه لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 4- Mean comparison of triple interaction effects of cultivar × auxin × cytokinin on 100-seed weight of cowpea across two cropping years

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local, and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

گیاه، پیگمان‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه گردید (Amal et al., 2009). نتایج آزمایش‌های شریف و دال (Sharif & Dal, 1980) روی جو (*Hordeum vulgare* L.) نشان داد که مصرف سیتوکینین در ریشه‌ها باعث تحریک رشد جوانه‌های پنجه شد. از طرف دیگر لیو و همکاران (Liu et al., 2001) گزارش دادند که سیتوکینین باعث افزایش نسبت پنجه‌های بارور به تعداد پنجه کل گردید.

شاخه‌های فرعی از عوامل مهم شکل‌دهنده ظاهر گیاه هستند و در صورت تولید گل و دانه، تأثیر مستقیمی بر تعداد دانه و عملکرد نهایی دارند. افزایش تعداد شاخه‌های فرعی موجب افزایش تعداد نیام و در نتیجه تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد هورمون‌های اکسین و سیتوکینین بر ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی در تحریک شاخه‌زایی مؤثر بود و منجر به افزایش تعداد غلاف و عملکرد دانه شد. همچنین عملکرد دانه با ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه، تعداد شاخه‌های فرعی و شاخص سطح برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت که احتمالاً ناشی از تفاوت ژنتیکی ارقام، تاریخ کاشت مناسب و اثر هورمون‌ها بود. تعداد شاخه‌های فرعی در رقم مشهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام محلی و عربی بود که این برتری با درصد سبز شدن بالاتر و اثر هورمون‌ها

گزارش‌های متعددی در مورد تأثیر هورمون‌های گیاهی بر افزایش وزن ۱۰۰ دانه حبوبات ارائه شده است که با نتایج ما مطابقت دارند. در همین راستا، ساداک و همکاران (Sadak et al., 2013) اظهار داشتند که بیشترین تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در گیاه باقلا با محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌در گرم در لیتر هورمون اکسین به دست آمد. همچنین چنین گزارش‌هایی توسط سوماسی و همکاران (Sumathi et al., 2018) در گیاه *Pigeonpea* و توسط ساجان و همکاران (Sajan et al., 2020) در گیاه *Dulichos* bean ارائه شده است.

تعداد شاخه فرعی

بررسی مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی مربوط به تیمار رقم محلی با محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین V2A2 با ۱۴ شاخه فرعی و کمترین آن مربوط به شاهد رقم عربی V3C0 با تعداد ۵/۷ شاخه فرعی بود (شکل ۵).

محققان گزارش دادند که محلول‌پاشی گیاه لوبیا با محلول ایندول ۳- بوتیریک اسید باعث افزایش معنی‌دار عوامل رشدی از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ، وزن تر و خشک

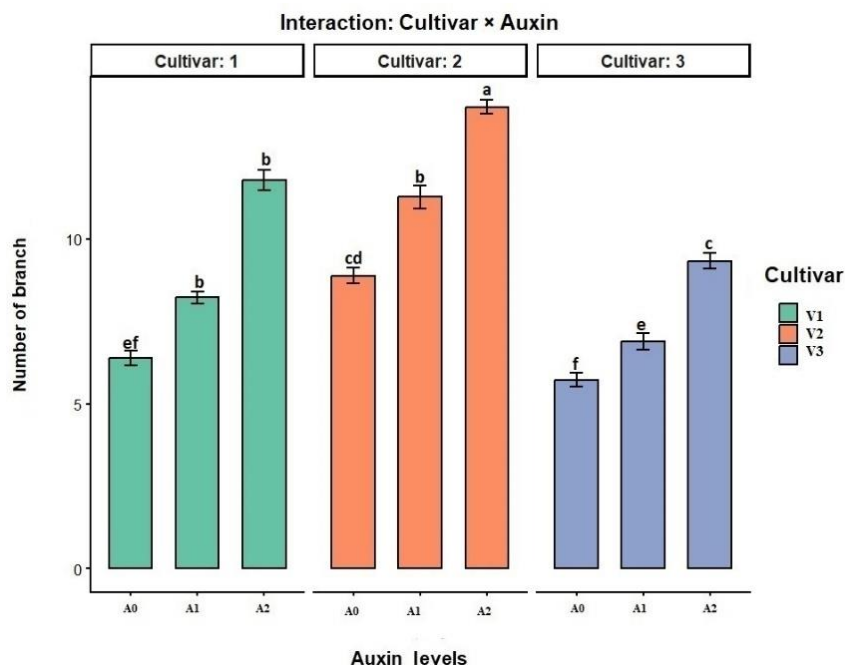
بالاترین دوزهای هورمونی تنها به ۱۱۱۵ کیلوگرم در هکتار دست یافت و فقط ۱۸۲ کیلوگرم (۱۹/۵ درصد) افزایش عملکرد دانه داشت که از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. بنابراین رقم مشهد قادر است که از پتانسیل هم‌افزایی اکسین و سیتوکینین به‌طور کامل بهره‌برداری کند و به‌عنوان رقم برتر این مطالعه مشخص گردید (شکل ۶).

عملکرد دانه حاصل بخش‌هایی از جمله تعداد بوته‌ها در واحد سطح، میزان تولید ماده خشک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه می‌باشد (Prasad, 2008). رقم عامل مهمی است که بر رشدنمو گیاه تأثیرگذار بوده و در شرایط فراهمی مقادیر مناسب هورمون‌ها سبب بهبود وضعیت رشد رویشی در نتیجه گسترش اندام هوایی، توسعه برگ‌ها و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر جهت مصرف اندام‌های زایشی می‌شود که در نهایت منجر به بهبود عملکرد دانه می‌گردد (Dwivedi et al., 2014). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مثل IAA منجر به افزایش میزان عملکرد دانه لوبیا شد که این تأثیر اکسین از طریق افزایش تقسیم سلولی در آندوسپرم در مراحل اولیه پُر شدن دانه بود (Ghorbani Javid et al., 2011). بررسی‌ها نشان داد که کاربرد هورمون گیاهی اکسین در شرایط تنش شوری سبب افزایش عملکرد دانه گیاه باقلا (*Vicia faba*) گردید (Abdel Latif et al., 2021).

مرتبط است. در تراکم یکسان، دسترسی بهتر به منابع و تأثیر متقابل رقم و هورمون‌ها موجب تولید شاخه‌های فرعی بیشتر و افزایش عملکرد دانه شد که با یافته‌های مطالعات قبلی مطابقت دارد (Amal et al., 2009; Anjum et al., 2011; Zhang et al., 2018). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی هورمون‌ها با کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی، عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاه را بهبود داده و تولید گل در شاخه‌های جانبی را افزایش داده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌جانبه رقم × اکسین × سیتوکینین بر عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار گردید که ترکیب ارقام و تیمارهای هورمونی نقش قابل توجهی در افزایش عملکرد داشت. ارقام مختلف لوبیا چشم‌بلبلی پاسخ کاملاً متفاوتی به کاربرد اکسین و سیتوکینین نشان دادند؛ رقم مشهد با ثبت بالاترین عملکرد (۲۳۴۶ کیلوگرم در هکتار) و افزایش ۵۳۳ کیلوگرم (معادل ۲۹٪/۴) نسبت به شاهد خود، بهترین و اقتصادی‌ترین پاسخ را به هورمون‌ها داشت. رقم محلی در بهترین حالت به ۱۹۹۱ کیلوگرم در هکتار رسید که ۳۶۶ کیلوگرم (۲۲/۵ درصد) بیشتر از شاهد بود و پاسخ متوسطی از خود نشان داد، درحالی‌که رقم عربی حتی در

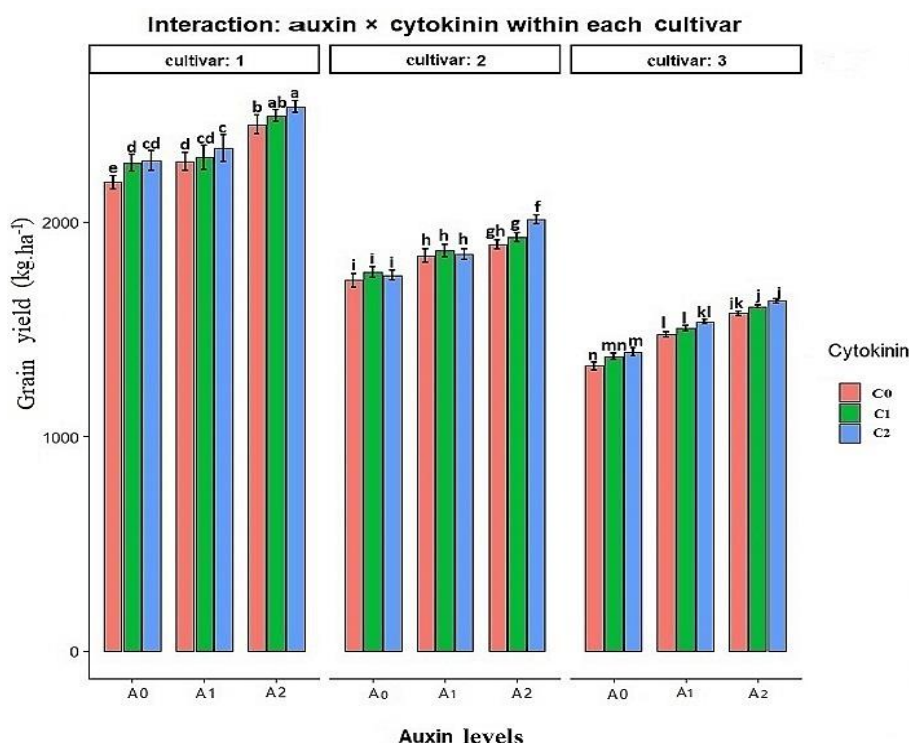


شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم و اکسین بر تعداد شاخه‌های فرعی لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 5- Mean comparison of cultivar × auxin interaction effects on the number of secondary branches in cowpea across two cropping years

V1, V2 and V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات سه‌جانبه رقم، اکسین و سیتوکینین بر عملکرد دانه ارقام لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 6- Mean comparison of triple interaction effects of cultivar × auxin × cytokinin on seed yield of cowpea cultivars across two cropping years

V1، V2 و V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین؛ C0، C1 و C2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin; C0, C1 and C2: indicate no application, 100 mg.l⁻¹ and 200 mg.l⁻¹ cytokinin.

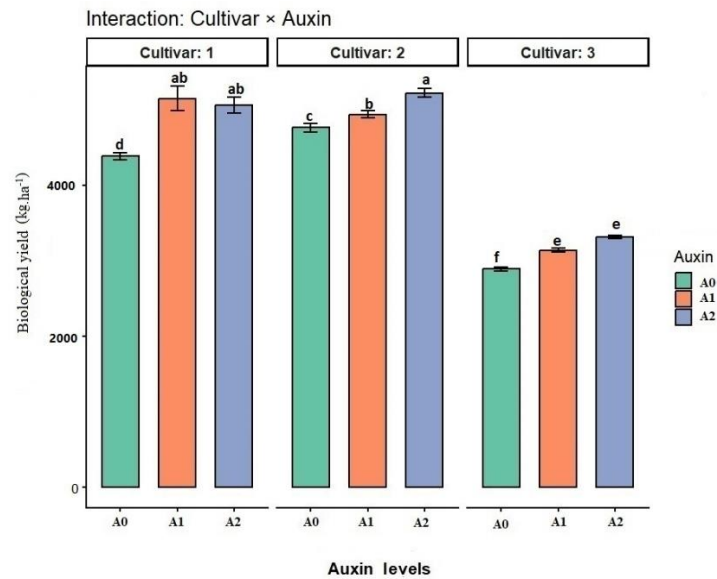
همبستگی بین صفات ارزیابی شده

نتایج جدول همبستگی (جدول ۵) نشان می‌دهد که عملکرد دانه با عملکرد زیستی رابطه‌ای قوی و مثبت (۰/۷۵**) دارد و عملکرد زیستی نیز با تعداد غلاف در بوته همبستگی بالایی (۰/۷۳**) نشان می‌دهد، که بیانگر نقش مهم تعداد غلاف در افزایش عملکرد کل گیاه است. تعداد دانه در غلاف با طول غلاف همبستگی بسیار قوی (۰/۸۸**) داشت و طول غلاف نیز با وزن ۱۰۰ دانه رابطه مثبت و قوی (۰/۸۹**) داشت که نشان‌دهنده آن است که غلاف‌های بلندتر و پر دانه‌تر معمولاً دانه‌های سنگین‌تری تولید می‌کنند. تعداد شاخه فرعی تأثیر متوسطی بر سایر صفات دارد، به‌طور مثال تعداد شاخه فرعی با وزن ۱۰۰ دانه همبستگی (۰/۳۴**) داشت، اما نقش آن در تعیین عملکرد دانه و زیستی نسبتاً کمتر است. به‌طور کلی، صفاتی مانند طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته و عملکرد زیستی بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد دانه دارند و برای بهبود ژنتیکی یا مدیریتی این صفات باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. چنین نتیجه‌ای توسط ال-امیری (Al-Amri, 2018) در لوبیا چشم‌بلبلی گزارش شده است که با نتایج ما هم‌خوانی دارد.

عملکرد زیستی

نتایج اثرات متقابل تیمارها نشان داد که تیمار محلول‌پاشی ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسین و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیتوکینین V2A2 با میانگین ۵۲۲۶ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تیمار شاهد رقم عربی V3A0 با میانگین ۲۸۸۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد زیستی را به خود اختصاص دادند (شکل ۷).

ژنوتیپی دارای عملکرد دانه بالایی خواهد بود که مواد فتوسنتزی بیشتری در اندام خود ذخیره نماید. رقم مشهد بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد که به نظر می‌رسد کارایی فتوسنتزی بالای این رقم می‌باشد. استفاده از هورمون‌های گیاهی نیز با افزایش رشد رویشی و زایشی، سطح فتوسنتزی و جذب گیاه را افزایش می‌دهد که این وضعیت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Sachin et al., 2019). بررسی اثر سیتوکینین روی ارقام گندم نیز نشان داد که مصرف این هورمون باعث افزایش عملکرد دانه ارقام گندم گردید (Dwivedi et al., 2013).



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات دوجانبه رقم و اکسین بر عملکرد زیستی لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Figure 7- Interaction effects of cultivar and auxin application on biological yield of cowpea in two cropping years

V1, V2 and V3: به ترتیب رقم مشهد، محلی و عربی؛ A0، A1 و A2: به ترتیب عدم مصرف، مصرف ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اکسین

V1, V2 and V3: represent Mashhad, local and Arabic cultivars; A0, A1 and A2: indicate no application, 200 mg.l⁻¹ and 400 mg.l⁻¹ auxin

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد ارزیابی در ارقام لوبیا چشم‌بلبلی طی دو سال زراعی

Table 6- Pearson correlation coefficients among studied traits in cowpea cultivars across two cropping years

تعداد شاخه	وزن ۱۰۰ دانه	طول غلاف	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	عملکرد زیستی	عملکرد دانه
Number of sub-branches	Weight of one hundred seeds	Pod Length	Number of pods per plants	Number of pods per plants	Biological yield	Grain yield
						1
					1	0.75**
			1		0.59**	0.72**
		1		0.60**	0.28**	0.35**
			0.85**	0.59**	0.27**	0.37**
	1	0.43**	0.43**	0.79**	0.88**	0.89**
1	0.62**	0.55**	0.58**	0.65**	0.61**	0.34**

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

ns: not significant, **: significant at 1% probability level, *: significant at 5% probability level

نتیجه‌گیری

نشان‌دهنده پتانسیل بالای این هورمون‌ها در بهبود صفات زراعی و افزایش عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی بود. نوآوری برجسته این تحقیق، اثبات اثر هم‌افزایی قوی هورمون‌ها در ابتدای مرحله گل‌دهی بود که منجر به افزایش متوسط ۲۴ درصدی عملکرد دانه در ارقام مشهد، محلی و عربی گردید. این افزایش نه‌تنها از نظر آماری معنادار، بلکه از منظر اقتصادی نیز قابل توجه است و می‌تواند به‌عنوان راهبرد بهبود عملکرد دانه در شرایط محیطی گرم و خشک به کار گرفته شود.

نتایج این تحقیق نشان داد که در بین واریته‌های مورد بررسی، رقم مشهد از نظر صفات طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد شاخه‌های فرعی و عملکرد دانه بهترین عملکرد را داشت، درحالی‌که از نظر عملکرد زیستی، رقم محلی برتری نشان داد. تمامی صفات مورد بررسی تحت تأثیر مصرف بالاترین غلظت هورمون‌های اکسین و سیتوکینین (۴۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفتند، که

References

- Abdel Latef, A. A. H., Tahjib-Ul-Arif, M., & Rhaman, M. S. (2021). Exogenous auxin-mediated salt stress alleviation in faba bean (*Vicia faba* L.). *Agronomy*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030547>
- Aiking, H. (2011). Future protein supply. *Trends in Food Science and Technology*, 22, 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.005>
- Amal, M., Shraiy, E., & Hegazi, A. M. (2009). Effect of acetyl salicylic acid, indole-3- butyric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Basic and Applied Science*, 3(4), 3514-3523.
- Al-Amri, S. M. (2018). Functional activity of some growth regulators on yield components and endogenous hormones of cowpea plants (*Vigna sinensis* L.). *Agricultural Sciences*, 9(10), 1229. <https://doi.org/10.4236/as.2018.910086>
- Anjum, S. A., Wang, L. C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L. L., & Zou, C. M. (2011). Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(3), 177-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>
- Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. C., & Kwon, T. R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in Agronomy*, 97, 45-110. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8)
- Aremu, M. O., Edem, R. L., Aremu, S. O., Ortutu, S. C., Ayakeme, E. B., Enyioha, I. M., Muhammad, H., & Obasi, B. C. (2024). Comparative studies on nutritive and antinutritive values of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and rice (*Oryza sativa* L.). *Lafia Journal of Scientific and Industrial Research*, 40-45.
- Baptista, A., Pinho, O., Pinto, E., Casal, S., Mota, C., & Ferreira, I. M. (2016). Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and Bambara groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2(11), 442-450. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9412-2>
- Bahmankar, M., Rahnama, H., Salehi, M., & Noori, S. A. S. (2024). Somatic embryogenesis and genetic fidelity in camelina by RAPD markers and flow cytometry. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 156(3), 67. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02686-9>
- Da Silva, A. C., da Costa Santos, D., Junior, D. L. T., da Silva, P. B., dos Santos, R. C., & Siviero, A., (2018). Cowpea: A strategic legume species for food security and health. In *Legume Seed Nutraceutical Research*. IntechOpen <https://doi.org/10.5772/intechopen.79006>
- Dwivedi, S. K., Arora, A., Singh, S. D., Singh, G. P., Nagar, S., & Kumar, S. (2014). PGRs improve carbohydrate metabolism and yield attributes in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit condition. *Journal of Cereal Research*, 5(2).
- Gajdosova, S., Spichal, L., Kaminek, M., Hoyerova, K., Novak, O., Dobrev, P. I., & Motyka, V., (2011). Distribution, biological activities, metabolism and the conceivable function of cis-zeatin-type cytokinins in plants. *Journal of Experimental Botany*, 62, 2827-2840. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq457>
- Ghorbani Javid, M., Sorooshzadeh, A., Moradi, F., Sanavy, S. A. M. M., & Allahdadi, I. (2011). The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Australian Journal of Crop Science*, 5(6), 726-734. (In Persian).
- Golchin, L., Tavakoli, A., & Mohseni Fard, E., (2021). Evaluation of the effects of 6-benzyl aminopurine application on safflower cultivars production under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 321-334. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.300707.2381>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, L., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

- Hirose, N., Takei, K., Kuroha, T., Kamada-Nobusada, T., Hayashi, H., & Sakakibara, H., (2008). Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization and translocation. *Journal of Experimental Botany*, 59(1), 75-83. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm157>
- Heydari, H., Dahmardeh, M., & Khammari, E. (2016). Evaluation of the quantity and quality yield of roselle (*Hibiscus abdarriffa* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) in intercropping at replacement series. *Research in Crop Ecosystems*, 3(1, 2), 43-53.
- Kaya, C., Tuna, A. L., & Okant, A. M., (2010). Effect of foliar application of kinetin and indoleacetic acid on maize plants grown under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 529-538. <https://doi.org/10.3906/tar-0906-173>
- Khaled, A. M., Sikder, S., Islam, M. R., Hasan, M. A., & Bahadur, M. M. (2015). Growth yield and yield attributes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by indole acetic acid. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8(1), 139-145.
- Khadr, A., Wang, G. L., Wang, Y. H., Zhang, R. R., Wang, X. R., Xu, Z. S., & Xiong, A. S. (2020). Effects of auxin (indole-3-butyric acid) on growth characteristics, lignification and expression profiles of genes involved in lignin biosynthesis in carrot taproot. *PeerJ*, 8, e10492. <https://doi.org/10.7717/peerj.10492>
- Kushwaha, S. P., Tripathi, D. K., Singh, O. P., & Prajapati, L. (2021). Effect of growth regulators on yield of paddy (*Oryza sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 10(7), 304-306
- Liu Z., Goto, Y., Nishiyama, I., & Kokubun, M. (2001). Effects of foliar and root-applied benzylaminopurine on tillering of rice plants grown in hydroponics. *Plant Production Science*, 4(3), 220-226. <https://doi.org/10.1626/ppp.4.220>
- Miransari, M., Abrishamchi, A., Khoshbakht, K., & Niknam, V. (2014). Plant hormones as signals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34(2), 123-133. <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.731684>
- Norouzi, Y., Ghobadi, M., Saeidi, M., & Dogan, H. (2021). Effect of nitrogen and cytokinin on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(1), 52-60. <https://doi.org/10.22126/ETIC.2021.6481.1012>
- Peleg, Z., & Blumwald, E. (2011). Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 14, 290-295. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2011.02.001>
- Pramanik, K., & Mohapatra, P. P. (2017). Role of auxin on growth, yield and quality of tomato-A review *International Journal of Current Microbiology and Applied*, 6(11), 1624-1636. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.195>
- Prasad, A. S. (2008). Zinc deficiency: Has been known of for 40 years but ignored by global health organisations. *British Medical Journal*, 326(7386), 409-410. <https://doi.org/10.1136/bmj.326.7386.409>
- Pourfarokhi, M., Sakinejad, T., Lak, S., Zarifinia, N., & Mojaddam, M. (2025). Influence of auxin and cytokinin on nutrient absorption, nitrogen fixation and root nodulation in cowpea varieties. *Journal of Plant Nutrition*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2492292>
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2025). Statistical pocketbook world food and agriculture. Available at web site <http://www.fao.org/Statistics> (verified 31 Aug 2025).
- Syed, N. (2016). A comparative study between molecular and agro-morphological methods for describing genetic relationships in Tunisian faba bean populations. *Journal of New Sciences: Agri & Biotech*, 27(8), 1513-1518.
- Sachin, A. S., Sivakumar, T., KrishnaSurendar, K., & Senthivelu, M. (2019). Influence of plant growth regulators and nutrients on biometric, growth and yield attributes in blackgram (*Vigna mungo* L.). *Journal of Agriculture and Ecology*, 7, 55-63.
- Sadak, M., Dawood, M., Bakry, B. A., & El-Karamany, M. F. (2013). Synergistic effect of indole acetic acid and kinetin on performance, some biochemical constituents and yield of faba bean plant grown under newly reclaimed sandy soil. *World Journal of Agricultural Sciences*, 9(4), 335-344.
- Sajjan, A. S., Malabasari, T. A., & Shashidhar, T. R. (2020). Seed and yield parameters as influenced by season and plant growth regulators in dolichos bean [*Lablab purpureus* L. (Sweet)]. *Legume Research-An International Journal*, 43(6), 856-860. <https://doi.org/10.18805/LR-4046>
- Sánchez-Navarro, V., Zornoza, R., Faz, Á., & Fernández, J. A. (2019). Does the use of cowpea in rotation with a vegetable crop improve soil quality and crop yield and quality field study in SE Spain. *European Journal of Agronomy*, 107, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.03.007>
- Sharif, R., & Dale, J. E. (1980). Growth-regulating substances and the growth of tiller buds in barley; effects of cytokinins. *Journal of Experimental Botany*, 31(4), 921-930. <https://doi.org/10.1093/jxb/31.4.921>
- Sumathi, A., Prasad, V., & Vanangamudi, M. (2018). Influence of plant growth regulators on yield and yield components in pigeonpea. *Legume Research-an International Journal*, 41(3), 392-398.

- Zarei, I., Mohammadi, G., Sohrabi, Y., Kahrizi, D., Khah, E. M., & Yari, K. (2011). Effect of different hydropriming times on the quantitative and qualitative characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 10, 14844-14850. (In Persian). <https://doi.org/10.5897/AJB11.1283>
- Zhang, Q., Yue, D., Fang, M., Yu, Q., Huang, Y., Su, K., Ma, H., & Wang, Y. (2018). Study on sustainability of land resources in Dengkou county based on emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, 171, 580-591. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.275>



 <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96383.1121>

Assessment of Germination Traits and Seed Vigour in Promising Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genotypes

Turan Amanzadeh^{1*}, Ahmad Tobeh¹, Salim Farzaneh¹, Negin Amanzadeh¹, Saeid Heydarzadeh¹

Received: 09 November 2025

Revised: 18 December 2025

Accepted: 25 January 2026

Available Online: 25 January 2026

Cite this article:

Amanzadeh, T., Tobeh, A., Farzaneh, S., Amanzadeh, N., & Heydarzadeh, S. (2025). Assessment of germination traits and seed vigour in promising lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(1), 379-394. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96383.1121>

Introduction

Legumes are the second most important group of cultivated crops after cereals, accounting for approximately 27% of global plant production. According to statistics from the Ministry of Agriculture Jihad, the average yield of rainfed lentil in Iran is 485 kg.ha⁻¹. Globally, lentil is cultivated on more than five million hectares, with a total production exceeding 5.6 million tons and an average yield of 1,305 kg.ha⁻¹. The lentil crop (*Lens culinaris* Medik.), after chickpea (*Cicer arietinum* L.), ranks second in terms of cultivated area in Iran, covering approximately 132,034 hectares, more than 90% of which is grown under rainfed conditions. Seed germination is one of the earliest physiological processes in plants. This process has numerous implications for the development of post-germination traits, ecological niche occupation, and the geographical distribution of plant species. Seed germination begins with water uptake and is completed by the emergence of the radicle. In most species, the radicle emerges first, and the seed is therefore considered germinated. According to the definition of the International Seed Testing Association (ISTA, 2009), seed vigour is the sum of seed characteristics that determine the potential level of activity and performance of seed germination and seedling emergence of an individual seed or a seed lot. This study aimed to compare and select superior lentil genotypes based on germination indices, stress tolerance, and seed viability, in order to identify those with better establishment, higher adaptability, and potential for high yield under field conditions.

Materials and Methods

To compare and select the best genotypes in terms of germination traits and growth indices, an experiment was conducted as a completely randomized design (CRD) with four replications in the laboratory of the Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. The experimental treatments consisted of 12 promising lentil genotypes, including Varzeqan 6, Varzeqan 7, Nir D, Nir C, Boukan Karim Beigi, Naqadeh Mosalman, Khalkhal Sheikh Janlou, Mohagharloo, Namin B, Pardis, Bilesavar, and Sana. It should be noted that the seeds used in this study were obtained from the local seed populations of the Agricultural Research, Education, and Natural Resources Center of Ardabil Province. Sowing operations were carried out immediately after confirming the viability and health of the received seeds. For the experiment, 48 Petri dishes with a diameter of 9 cm and a depth of 1.6 cm were prepared. Twenty-five seeds from each genotype were placed in each Petri dish containing filter paper, with four replications, and five milliliters of distilled water were added to each dish. The Petri dishes were then transferred to a germinator set at 25 °C. Counting of germinated seeds began 24 hours after transfer to the germinator and was performed three times a day (every 8 hours) for 14 days. Seeds were considered germinated when the radicle had emerged at least 2 mm from the seed coat. Germination indices were calculated using the Germin software. Seed vigour of the genotypes was assessed using accelerated aging and electrical conductivity tests, and finally, the Seed vigour index was determined. At the end of the fourteenth day, to measure radicle and plumule lengths as well as fresh and dry weights of seedlings, ten seedlings were randomly selected from each Petri dish and evaluated. Statistical analysis of the data was performed using SPSS software (version 16), and mean comparisons were conducted using Duncan's multiple range test at the 5% probability level. Figures and graphs were prepared using Microsoft Excel.

Results and Discussion

The *Pardis* genotype exhibited the highest germination percentage (98%), whereas the *Nir C* genotype showed the lowest germination percentage and germination rate (75% and 0.023 seeds per day, respectively). To determine seed vigour,

1- Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

* Corresponding Author: Amanzadeh@student.uma.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/).

accelerated aging and electrical conductivity tests were applied, followed by evaluation of the seed vigour index relationship. Under the accelerated aging test, the lowest reduction in germination percentage (10%) was observed in the *Pardis* and *Nir C* genotypes, while the highest reduction in germination percentage (25%) was obtained in the *Mohagherloo* genotype. The electrical conductivity test indicated that the *Sana* genotype, due to greater leakage of solutes from the seeds, had the highest electrical conductivity ($68.98 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$), whereas the *Nir D* and *Varzeghan 7* genotypes showed lower electrical conductivity values (26.37 and $26.84 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively). The *Sana* genotype was classified as having weak vigour, while the *Nir D* and *Varzeghan 7* genotypes were categorized as genotypes with good vigour. The highest vigour index (671.60) and radicle length (4.74 cm) were observed in the *Sana* genotype. The *Bukan-Karim Beigi* genotype had the highest seedling dry weight (0.064 g).

Conclusions

According to the results, the highest germination percentage was observed in the *Pardis* genotype, while the *Nir C* genotype showed a lower germination percentage and germination rate. Since the seed vigour index alone is not sufficient to predict actual seed performance, accelerated aging and electrical conductivity tests were conducted. After the accelerated aging test, the lowest reduction in germination percentage (10%) was observed in the *Pardis* and *Nir C* genotypes, whereas the highest reduction in germination percentage (25%) was observed in the *Mohagherloo* genotype, indicating that the vigour of the *Mohagherloo* genotype decreased under high temperature and humidity conditions. The electrical conductivity test, which measures the extent of electrolyte leakage from seeds into water, showed that the *Mohagherloo* genotype had relatively weak seed vigour. Based on germination percentage and seedling growth (seed vigour index), the highest seed vigour was observed in the *Bilesavar* genotype, and the highest seedling dry weight was recorded in the *Bukan Karim Beigi* genotype. Due to the direct effect of the seed vigour index on seedling length, the *Bilesavar* genotype exhibited the greatest radicle length. Therefore, the *Nir D*, *Varzeghan 6*, *Varzeghan 7*, and *Nir C* genotypes can be recommended for further studies under the Ardabil climatic conditions; however, to confirm these results, both greenhouse and field evaluations are also required.

Keywords: Accelerated aging test, Electrical conductivity test, Germination uniformity



بررسی ویژگی‌های جوانه‌زنی و بنیه بذر ژنوتیپ‌های امیدبخش عدس (*Lens culinaris Medik*)

توران امن زاده^{۱*}، احمد توبه^۱، سلیم فرزانه^۱، نگین امن زاده^۱، سعید حیدرزاده^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۵

چکیده

به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ عدس (*Lens culinaris Medik*) از نظر صفات جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۴-۱۴۰۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۲ ژنوتیپ امیدبخش عدس (ورزقان ۶، ورزقان ۷، نیر D، نیر C، بوکان کریم بیگی، نقده مسلمان، خلخال شیخ جانلو، محقرلو، نمین B، پردیس، بيله‌سوار و سنا) بودند که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شدند. ژنوتیپ پردیس از بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۸ درصد) و ژنوتیپ نیر C از کمترین درصد و سرعت جوانه‌زنی (۷۵ درصد و ۰/۰۲۳ بذر در روز) برخوردار بودند. برای تعیین بنیه بذر از آزمون‌های تسریع پیری و هدایت الکتریکی و در نهایت رابطه شاخص بنیه بذر استفاده شد. با اعمال آزمون تسریع پیری، کمترین افت جوانه‌زنی (۱۰ درصد) در ژنوتیپ‌های پردیس و نیر C و بیش‌ترین افت جوانه‌زنی (۲۵ درصد) در ژنوتیپ محقرلو به دست آمد. آزمون هدایت الکتریکی نشان داد که ژنوتیپ سنا به دلیل تراوش بیشتر مواد به بیرون بذر دارای هدایت الکتریکی بیش‌تر (۶۸/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) و ژنوتیپ‌های نیر D و ورزقان ۷ هدایت الکتریکی کمتری (۲۶/۳۷ و ۲۶/۸۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) داشتند. ژنوتیپ سنا از نظر بنیه در گروه ضعیف و ژنوتیپ‌های نیر D و ورزقان ۷ جزء ژنوتیپ‌هایی با بنیه خوب طبقه‌بندی شدند. بیش‌ترین شاخص بنیه (۶۷۱/۶۰) و طول ریشه‌چه (۴/۷۴ سانتی‌متر) در ژنوتیپ سنا مشاهده شد. ژنوتیپ بوکان کریم بیگی (۰/۰۶۴ گرم) نیز بیش‌ترین مقدار وزن خشک گیاهچه را دارا بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون تسریع پیری، آزمون هدایت الکتریکی، یکنواختی جوانه‌زنی

مقدمه

روی، پروتئین، آنتی‌اکسیدان‌ها، سلنیوم و مواد معدنی است. از دلایل کشت گسترده عدس می‌توان به چرخه زندگی کوتاه، سازگاری بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک، داشتن کاه با کیفیت و پتانسیل ژنتیکی در تثبیت کودهای بیولوژیکی و نیتروژن اشاره کرد (Foschi et al., 2020). عواملی چون نبود ارقام اصلاح‌شده و پایداری ضعیف آن‌ها در شرایط مختلف محیطی سبب کاهش کشت عدس شده است (Zaccardelli et al., 2010). به ترکیب ژنتیکی (لاین، رقم یا نمونه گیاهی) که در مقایسه با شاهد‌های معمولی عملکرد بالا و صفات برتری از خود نشان می‌دهد، ژنوتیپ امیدبخش گفته می‌شود و به‌عنوان نامزد معرفی رقم جدید و یا استفاده در اصلاح نباتات در نظر گرفته می‌شود. ژنوتیپ‌های امیدبخش، یک ژنوتیپ برتر ولی در مرحله آزمایش است که اگر برتری آن در مکان و زمان‌های مختلف ثابت

حبوبات، دومین خانواده مهم گیاهان زراعی بعد از غلات هستند که حدود ۲۷ درصد از تولیدات گیاهی جهان مربوط به این دسته از گیاهان است (Coyne et al., 2020). طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی (Agricultural Statistics Booklet, 2020)، متوسط عملکرد عدس دیم در کشور ۴۸۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. عدس در سطح جهانی دارای سطح زیر کشت بیش از پنج میلیون هکتار و مجموع تولید بیش از ۶/۵ میلیون تن با میانگین عملکرد ۱۳۰۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2020). گیاه زراعی عدس (*Lens culinaris Medik*) بعد از نخود (*Cicer arietinum L.*) از نظر سطح زیر کشت در ایران در جایگاه دوم قرار گرفته و حدود ۱۳۲/۳۴ هزار هکتار سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده که بیش از ۹۰ درصد سطح زیر کشت آن به‌صورت دیم می‌باشد (FAOSTAT, 2022). از خصوصیات این گیاه می‌توان به دیپلوئیدی، خودگشنی، سرمادوست و یکساله بودن آن اشاره کرد. عدس منبع غنی از آهن،

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*)- نویسنده مسئول: Amanzadeh@student.uma.ac.ir

نسبت به سایر ارقام نشان داد. این برتری در صفاتی نظیر سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، وزن خشک ساقه‌چه و طول ریشه‌چه بود (Ahmadpour et al., 2023). این تحقیق با هدف مقایسه و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر عدس از نظر شاخص‌های جوانه‌زنی، تحمل تنش و حفظ قوه نامیه انجام شد تا ژنوتیپ‌های برتر با استقرار بهتر و سازگاری بالاتر شناسایی و به‌منظور کشت در مزرعه و رسیدن به عملکرد بالا در مزرعه معرفی شوند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مقایسه و انتخاب بهترین ژنوتیپ از نظر صفات جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه زراعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۲ ژنوتیپ امیدبخش عدس (ورزقان ۶، ورزقان ۷، نیر D، نیر C، بوکان کریم بیگی، نقده مسلمان، خلخال شیخ جانلو، محقرلو، نمین B، پردیس، بيله‌سوار و سنا) بودند. بذور کشت‌شده در این بررسی از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل و از توده بذر محلی تهیه شد. لازم به ذکر است که عملیات کاشت پس از اطمینان از قومنایه و سلامت بذور دریافت‌شده، انجام گرفت. جهت اجرای آزمایش، همه وسایل مورد نیاز به همراه کاغذ صافی و پتری دیش در اتوکلاو با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت ضدعفونی گردید. بذرها قبل از انجام عملیات کاشت به مدت ۳۰ ثانیه به‌صورت سطحی توسط سدیم هیپوکلریت یک درصد ضدعفونی و سه بار با آب مقطر شست‌وشو داده شدند (Talei et al., 2011). برای انجام آزمایش، تعداد ۳۶ پتری دیش با قطر ۹ و عمق ۱/۶ سانتی‌متر تهیه گردید. تعداد ۵۰ بذر از هر ژنوتیپ در سه تکرار در هر پتری حاوی کاغذ صافی کشت گردید و پنج میلی‌لیتر آب مقطر به هر پتری اضافه شد و در نهایت به ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل گردید (Ghanbari et al., 2016). شمارش بذره‌های جوانه‌زده ۲۴ ساعت پس از انتقال به ژرمیناتور به مدت سه بار در روز (هر هشت ساعت) شروع و تا ۱۴ روز ادامه داشت. بذرهایی به‌عنوان بذر جوانه‌زده تلقی شد که ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر از پوسته خارج شده باشد (Soltani et al., 2001). در پایان روز چهاردهم به‌منظور اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک گیاهچه، ۱۰ عدد گیاهچه از هر پتری انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه صفات جوانه‌زنی از برنامه Germin استفاده گردید. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از معادله ۱ (Omidi et al., 2014)، سرعت جوانه‌زنی از معادله ۲ (Soltani et al., 2001) استفاده شد و یکنواختی جوانه‌زنی به‌وسیله برنامه Germin محاسبه شد (Soltani et al., 2001). برای محاسبه سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، ابتدا منحنی جوانه‌زنی تجمعی

گردد، به‌عنوان رقم تجاری معرفی خواهد شد (Bhandari et al., 2023).

جوانه‌زنی بذر، یکی از اولین رفتارهای فیزیولوژیک توسط گیاهان می‌باشد. این واقعیت، پیامدهای متعددی برای تکامل صفات بعد از جوانه‌زنی، آشیان اکولوژیک و محدوده جغرافیایی گیاه دارد (Hasan et al., 2024). جوانه‌زنی بذر با جذب آب شروع می‌شود و با ظاهر شدن ریشه‌چه، کامل می‌شود. در اکثر گونه‌ها، ابتدا ریشه‌چه ظاهر می‌شود و بذر به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته می‌شود (Bhandari et al., 2023). لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2019) چهار ژنوتیپ مختلف عدس (کیمیا، بيله‌سوار، قزوین و محلی) را به‌منظور پیش‌بینی ظاهر شدن و استقرار گیاهچه در مزرعه، توسط آزمون جوانه‌زنی استاندارد مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که ارقام مختلف عدس از نظر صفاتی چون درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. شاخص‌های جوانه‌زنی مانند درصد جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر از مهم‌ترین صفات جوانه‌زنی به‌منظور ارزیابی عملکرد جوانه‌زنی و کیفیت بذر محسوب می‌شوند (ISTA, 2009; Armand et al., 2015). طبق تعریف لنجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA)، بنیه بذر مجموعه خصوصیات بذر است که سطح بالقوه فعالیت و کارایی جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه بذر یا توده آن را تعیین می‌نماید (Powell, 2007). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش بنیه بذر، از دست رفتن تمامیت غشاء سلولی است. شرایط نامناسب انبارداری و از بین رفتن نفوذپذیری غشاء باعث افزایش نشت ترکیبات بذری و در نهایت کاهش بنیه بذر می‌شود (Oskouei & Sheidaei, 2016; Sheidaei et al., 2013). برای تعیین بنیه بذر در گیاهان مختلف آزمون‌هایی انجام شده است که می‌توان به آزمون هدایت الکتریکی در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Khavari et al., 2009)، آزمون سرما در ذرت (*Zea mays* L.) (Noli et al., 2008)، آزمون تسریع پیری در نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Hampton et al., 2004) و آزمون جوانه‌زنی در سرما در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) (Hampton & Tekrony, 1995) اشاره کرد. اسدی دانالو و همکاران (Asadi-Danalo et al., 2014) برای تعیین بنیه بذر در ارقام مختلف عدس، از آزمون هدایت الکتریکی و آزمون تسریع پیری استفاده کردند و گزارش نمودند که افزایش نفوذپذیری غشاء (هدایت الکتریکی بالا)، نتیجه بنیه (قدرت) ضعیف بذر است. در مطالعه‌ای ارقام پرکاربرد گیاه عدس شامل گچساران، رباط، کیمیا، بيله‌سوار و زیبا در سه تیمار دمایی مورد بررسی قرار گرفتند. در این تحقیق رقم بيله‌سوار بیش‌ترین شاخص‌های جوانه‌زنی و رشدی را در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

شدن مدت مقرر، میزان هدایت الکتریکی مواد نشست‌یافته به داخل آب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج (LF 538, WTW, Germany) اندازه‌گیری و نتایج برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم گزارش شدند (DehghanShoar et al., 2005). به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه، گیاهچه‌های مربوط به هر ژنوتیپ و تکرار به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و وزن خشک آن‌ها به‌وسیله ترازوی AND مدل ۳۰۰ GT- ساخت کشور آلمان با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز توسط خط‌کش اندازه‌گیری گردید (Lekh & Kairwal, 1993). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین برای ترسیم شکل‌ها و نمودارها از برنامه Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی: نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها از نظر درصد جوانه‌زنی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۱). در این تحقیق، ژنوتیپ‌های پردیس (۹۸ درصد)، ورزقان ۶ (۹۷ درصد)، نمین B (۹۵ درصد)، بوکان کریم بیگی و خلخال شیخ جانلو (۹۳ درصد)، بيله‌سوار (۹۲ درصد)، ورزقان ۷ و نقده مسلمان (۸۹ درصد) دارای بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (در یک گروه) و ژنوتیپ‌های امیدبخش نیر C (۷۵ درصد)، محقرلو (۷۹ درصد) و نیر D (۸۳ درصد) دارای کمترین درصد جوانه‌زنی (بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر) بودند (شکل ۱). در جوانه‌زنی طی مراحل جذب آب، تغییرات متابولیکی زیادی در بذر صورت می‌گیرد که می‌توان به تغییرات رنویسی، ترجمه‌ای و پس‌ترجمه‌ای اشاره کرد (Gallardo et al., 2001). در مرحله دوم جوانه‌زنی پس از آبیگری، ترمیم DNA آسیب‌دیده و سنتز DNA میتوکندریایی صورت می‌گیرد (Zlatanova et al., 1987). بنابراین در بذرهایی با بنیه پایین، میزان DNA و RNA کاهش می‌یابد و آسیب وارده به DNA در بذرهایی که از بنیه بالایی برخوردار هستند، کمتر می‌باشد و عمل ترمیم‌کنندگی DNA در این بذرها سریع‌تر از بذرهایی با بنیه پایین صورت می‌گیرد (Kalpana & Madhava, 1997). ثلث شده است که یکپارچگی rRNA ارتباط نزدیکی با توانایی سنتز پروتئین دارد (Bray et al., 1993; Fu et al., 2000). از آنجاکه توانایی سنتز پروتئین در جنین بذرهایی قوی (بنیه بالا) بیش‌تر از بذرهایی با بنیه ضعیف است، بنابراین ساختار و یکپارچگی rRNA در بذرهایی با بنیه ضعیف تخریب می‌شود و در نهایت کاهش درصد جوانه‌زنی در این بذرها صورت می‌گیرد (Liu et al., 1999).

هر تکرار در مقابل زمان (برحسب ساعت) رسم و سپس با استفاده از روش درون‌یابی خطی، مدت زمان از کاشت تا زمانی که ۱۰ درصد و ۹۰ درصد جوانه‌زنی اتفاق افتاد، محاسبه شد. این زمان‌ها به‌ترتیب به‌صورت D10 تا D90 نشان داده می‌شود. سرعت جوانه‌زنی D50 معادل عکس زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی است و یکنواختی جوانه‌زنی یعنی تفاضل زمان رسیدن از ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (D90-D10)، هرچه عدد یکنواختی جوانه‌زنی کمتر باشد، یکنواختی بیشتر است (Soltani et al., 2001). برای تعیین بنیه بذر ژنوتیپ‌ها از دو آزمون تسریع پیری و هدایت الکتریکی و در نهایت برای محاسبه شاخص بنیه بذر از معادله ۳ (Vashisth & Nagarajan, 2010) استفاده شد. از آزمون تسریع پیری و هدایت الکتریکی به این دلیل که این آزمون‌ها کیفیت فیزیولوژیکی واقعی بذر را بهتر از درصد جوانه‌زنی ساده نشان می‌دهند و به‌طور مستقیم با شاخص بنیه بذر مرتبط هستند، استفاده گردید.

$$\text{معادله (۱)} \quad GP = (N \times 100)/M$$

که در آن، GP: درصد جوانه‌زنی، M: تعداد کل بذور و N: تعداد بذر جوانه‌زده است.

$$\text{معادله (۲)} \quad R50 = 1/D50$$

که در آن، R50: سرعت جوانه‌زنی و D50: مدت زمان لازم برای اینکه ۵۰ درصد جوانه‌زنی صورت بگیرد.

$$\text{معادله (۳)} \quad Vi = GP \times (rl + sl)$$

که در آن، Vi: بنیه بذر، rl: طول ریشه‌چه برحسب سانتی‌متر، sl: طول ساقه‌چه برحسب سانتی‌متر و GP: درصد جوانه‌زنی است.

برای انجام آزمون تسریع پیری، ۵۰ عدد بذر هر ژنوتیپ در سه تکرار انتخاب و برای مدت زمان ۷۲ ساعت در دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد قرار گرفتند (AOSA, 1983). بذرها روی یک توری سیمی از جنس آلومینیوم قرار گرفته و به درون ظرف‌های پلاستیکی که از قبل درون آن‌ها آب مقطر ریخته شده، منتقل گردید و سپس ظرف‌ها برای مدت ۷۲ ساعت در دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار گرفتند. بعد از اعمال آزمون تسریع پیری، ارزیابی جوانه‌زنی انجام شد (AOSA, 1983). جهت انجام آزمون هدایت الکتریکی، سه تکرار ۵۰ بذری از هر ژنوتیپ که وزن آن‌ها قبلاً تعیین شده بود، برای این آزمایش در نظر گرفته شدند. برای هر تکرار یک ارلن پلاستیکی درب‌دار، حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه در نظر گرفته شد. ابتدا ارلن‌های حاوی آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید تا دمای آب یونیزه نیز به حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس بذرهایی هر تکرار در داخل یک ارلن ریخته شده و پس از بستن درب آن، دوباره به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از سپری

گزارش شده است که رقم تالار سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) به دلیل داشتن بنيه بالا، از سرعت جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Pasandideh et al., 2014).

مدت زمان تا ۱۰ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D10, D50): طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، مدت زمان تا ۱۰ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی در بین ژنوتیپ‌های مختلف به ترتیب اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد نشان دادند (جدول ۱). جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین زمان لازم تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی در ژنوتیپ پردیس (۳۶/۷۲ ساعت) و کمترین این مقدار در ژنوتیپ نمین B (۱۶/۰۸ ساعت) مشاهده شد و همچنین بیشترین زمان لازم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در ژنوتیپ نیر C (۴۲/۷ ساعت) و کمترین این مقدار در ژنوتیپ نمین B (۳۱/۶۰ ساعت) به دست آمد (شکل ۲). خروج زود هنگام ریشه اولیه به دوره و میزان انرژی مصرف شده برای فعال‌سازی مجدد متابولیسم، فعالیت سازوکارهای ترمیم غشاء و ازسرگیری سنتز DNA و پروتئین مرتبط است. این دوره و میزان مصرف انرژی در بذره‌ای با بنيه (ویگور) کمتر، طولانی‌تر است که این موضوع خود را به صورت تأخیر در جوانه‌زنی و کاهش سرعت رشد نشان می‌دهد (Patil et al., 2019; Kumari et al., 2021).

کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌ها در بذره‌ای آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) با بنيه ضعیف مشاهده گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Thiayarajeh & Kapilon, 2015).

سرعت جوانه‌زنی: طبق جدول تجزیه واریانس، سرعت جوانه‌زنی در بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۱). به طوری که بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۰/۳۱۰ بذر در روز) به ژنوتیپ نمین B و کمترین این مقدار (۰/۰۲۳) به ژنوتیپ نیر C تعلق داشت (شکل ۱). سرعت جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین و اولین شاخص‌های بنيه بذر است (Hamidi et al., 2005). سرعت جوانه‌زنی بیانگر سرعت خروج ریشه‌چه از بذر بوده و با گونه گیاهی و ترکیبات موجود در بذر ارتباط نزدیکی دارد. بذرهایی با بنيه بالا از شاخص بنيه و سرعت جوانه‌زنی بالایی برخوردار می‌باشند (Patil et al., 2019; Kumari et al., 2021). بذرهایی با بنيه قوی از سرعت جوانه‌زنی مطلوبی برخوردار هستند و بذرهایی که بنيه کمتر دارند، توانایی جوانه‌زنی مطلوب در یک زمان مشخص را ندارند و مشکلاتی چون عدم یکنواختی پوشش سطح خاک، مواجه شدن با بذرهایی که دیر جوانه می‌زنند را در شرایط نامساعد محیطی افزایش می‌دهد (Hamidi et al., 2005). ژنوتیپ نیر C به دلیل بنيه بذر کمتر، از سرعت و درصد جوانه‌زنی کمتری برخوردار بود (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس و مقایسه گروهی (میانگین مربعات) خصوصیات جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های مختلف عدس

Table 1- Analysis of variance and group comparison (mean of squares) of germination characteristics in different lentil genotypes

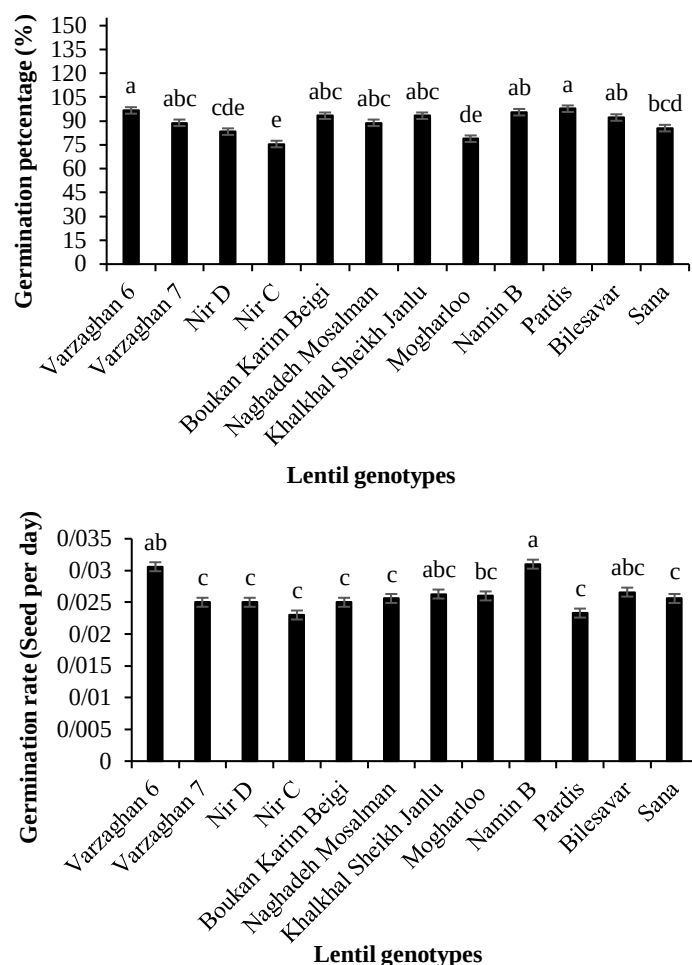
میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی D10	مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی D50	مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی D90
ژنوتیپ Genotype	11	150.93**	0.000017*	70.157 ns	112.2**	37.32**	77.72 ns
خطا Error	24	27.46	0.0000066	42.61	21.80	13.17	35.39
ضریب تغییرات CV (%)		5.87	9.82	30.56	16.40	9.56	11.92

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

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

D10: مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، D50: مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، D90: مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی

D10: Duration up to 10% germination, D50: Duration up to 50% germination, D90: Duration up to 90% germination



شکل ۱- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های عدس از نظر درصد و سرعت جوانه‌زنی
Figure 1- Comparison of average lentil genotypes in terms of germination percentage and speed

آزمون‌های تعیین بنیه بذر آزمون تسریع پیری

درصد جوانه‌زنی: پس از اعمال آزمون تسریع پیری، درصد جوانه‌زنی در بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۲). بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های پردیس (۸۸ درصد)، ورزقان ۶ (۸۱ درصد)، نمین B (۷۹ درصد)، بوکان کریم بیگی (۷۲ درصد)، خلخال شیخ جانلو (۷۱ درصد)، بیله‌سوار (۷۰ درصد) و سنا (۶۸ درصد) در یک گروه و کمترین درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های محقرلو (۵۴ درصد)، ورزقان ۷ و نقده مسلمان (۶۰ درصد)، نیر D و نیر C (۶۵ درصد) بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر مشاهده گردید (جدول ۳). با اعمال آزمون پیری، درصد جوانه‌زنی همه ژنوتیپ‌ها کاهش یافت. در طی فرآیند پیری، تغییرات بیوشیمیایی و متابولیکی مختلفی در بذر رخ می‌دهد که سبب کاهش توان جوانه‌زنی می‌شوند (McDonald, 1999). از دلایل کاهش جوانه‌زنی در طی تسریع پیری می‌توان به تخریب DNA،

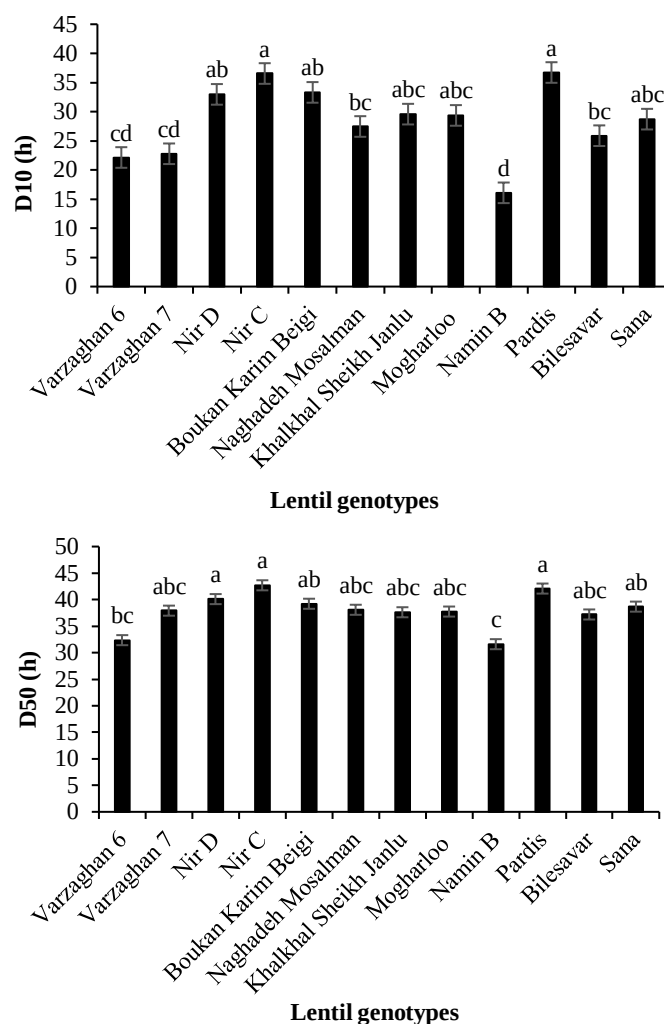
پراکسیداسیون چربی‌ها، آسیب به فرآیند سنتز RNA، خسارت به غشاهای سلول و غیرفعال شدن آنزیم‌ها اشاره کرد (Lehner et al., 2008).

سرعت جوانه‌زنی: پس از اعمال آزمون تسریع پیری، سرعت جوانه‌زنی در بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۲). بیش‌ترین و کمترین سرعت جوانه‌زنی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ورزقان ۶ (۰/۰۴۶ بذر در روز) و محقرلو (۰/۰۲۳ بذر در روز) مشاهده گردید (جدول ۳). سرعت جوانه‌زنی با اعمال پیری فقط در ژنوتیپ‌های سنا، بیله‌سوار، محقرلو و نمین B کاهش و در بقیه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. مدت زمان لازم برای تکمیل فرآیند جوانه‌زنی در بذرهایی که در معرض پیری قرار گرفتند نسبت به بذرهایی طبیعی افزایش یافته و در نتیجه شاخص جوانه‌زنی کاهش نشان داد (Bailly et al., 2000). در ژنوتیپ‌های دیگر، دلیل افزایش سرعت جوانه‌زنی در اثر اعمال تسریع پیری را می‌توان این‌گونه تعبیر کرد که جذب آب توسط بذر به‌صورت فیزیکی

یکنواختی در ژنوتیپ ورزقان ۷ (۶۲/۰۶) مشاهده گردید (جدول ۳). در یکنواختی جوانه‌زنی هرچه عدد به‌دست‌آمده کمتر باشد، نشانگر یکنواختی بیشتر است (Soltani et al., 2001). آسیب به DNA و mRNA، تخریب بیوشیمیایی مواد ذخیره‌ای بذر و پراکسیداسیون لیپیدها در اثر تسریع پیری ایجاد می‌شوند. پراکسیداسیون لیپیدها، اثر مخربی بر عملکرد میتوکندری از طریق اضمحلال غشاء خواهند داشت و موجب کاهش میزان ATP تشکیل‌شده در جوانه‌زنی می‌شوند و در نهایت منجر به کاهش سنتز آنزیم‌های لازم در مراحل اولیه جوانه‌زنی می‌شود (McDonald, 1999).

بوده که ربطی به زنده بودن بذر ندارد، بنابراین پوسته بذر برای خروج ریشه‌چه نرم شده و این امر باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی می‌شود (Soltani et al., 2002). چگنی و همکاران (Chegeni et al., 2016) گزارش کردند که درصد و سرعت جوانه‌زنی لاین‌های امیدبخش کلزا (*Brassica napus* L.) در اثر پیری تسریع‌شده کاهش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

یکنواختی جوانه‌زنی: براساس جدول تجزیه واریانس، یکنواختی جوانه‌زنی، در بین ژنوتیپ‌های مختلف عدس اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۲). کمترین میزان یکنواختی جوانه‌زنی مربوط به ژنوتیپ سنا (۱۸/۰۵) و بیش‌ترین میزان



شکل ۲- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های عدس از نظر مدت زمان لازم تا ۱۰ و ۵۰ درصد جوانه‌زنی

Figure 2- Comparison of average lentil genotypes in terms of time required to reach 10 and 50 percent germination

D10: مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، D50: مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، D90: مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی

D10: Duration up to 10% germination, D50: Duration up to 50% germination, D90: Duration up to 90% germination

(۲۲/۲۰ ساعت) و کمترین این مقدار به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ورزقان ۶ (۴/۷۶ ساعت)، ورزقان ۶ (۲۲/۴۵ ساعت)، ورزقان ۶ (۳۵/۳۵ ساعت) مشاهده گردید (جدول ۳). در طی فرآیند تسریع پیری، پایداری غشاء پلاسمایی و فعالیت‌های آنزیمی کاهش یافته و ساختار مولکولی اسید نوکلئیک دچار تغییراتی می‌شود و در نتیجه زمان جوانه‌زنی سریع افزایش می‌یابد (Justice & Bass, 1979).

مدت زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی (D10, D50, D90): براساس جدول تجزیه واریانس، ژنوتیپ‌های مختلف عدس از نظر مدت زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی با یکدیگر، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۲). بیش‌ترین زمان لازم تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های سنا (۳۳/۵۸ ساعت)، محقرلو (۴۲/۸۰ ساعت)، ورزقان ۷

جدول ۲- تجزیه واریانس و مقایسه گروهی (میانگین مربعات) خصوصیات جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های مختلف عدس پس از اعمال آزمون تسریع پیری

Table 3- Analysis of variance and group comparison (mean of squares) of germination characteristics in different lentil genotypes after applying the accelerated aging test

میانگین مربعات Mean of squares							
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	یکنواختی جوانه‌زنی Germination uniformity	مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی D10	مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی D50	مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی D90
ژنوتیپ Genotype	11	275.056**	0.00015**	377.93**	352.84**	155.53**	349.82**
خطا Error	24	110.18	0.000027	91.08	17.80	36.11	56.49
ضریب تغییرات CV (%)		15.09	15.9	28.9	25.67	18.44	15.40

**, معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

***: significant at the 1% probability levels.

D10: مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، D50: مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، D90: مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی

D10: duration up to 10% germination, D50: duration up to 50% germination, D90: duration up to 90% germination

به بذر و ترک خوردن آن، به مواد و عناصر داخل بذر اجازه خارج شدن از بذر را می‌دهد. بنابراین بذره‌های آسیب‌دیده، میزان نشتی و هدایت الکتریکی بالایی خواهند داشت (Rahman et al., 2004; Vearasilpa et al., 2001). طبق قوانین انجمن بین‌المللی آزمون بذر (ISTA) بذرهایی دارای بنیه قوی هستند که هدایت الکتریکی آن‌ها کمتر از ۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم باشد. بذرهایی با هدایت الکتریکی ۲۵-۲۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم جزء بذرهایی با بنیه خوب و بذرهایی با هدایت الکتریکی بین ۳۰-۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم جزء بذرهایی با بنیه نسبتاً ضعیف و بذرهایی با هدایت الکتریکی بیش‌تر از ۴۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم جزء بذرهایی با بنیه ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند (DehghanShoar et al., 2005). بنابراین ژنوتیپ‌های سنا، بوکان کریم بیگی، نقده مسلمان، خلخال شیخ جانلو و پردیس از نظر بنیه بذر ضعیف و ژنوتیپ‌های نیر D، ورزقان ۶ و ۷ و نیر C از نظر بنیه بذر در گروه خوب و ژنوتیپ‌های محقرلو و بيله‌سوار در گروه نسبتاً ضعیف قرار داشتند. قبادی و همکاران (Ghobadi et al., 2017)، آزمون هدایت

آزمون هدایت الکتریکی: براساس جدول تجزیه واریانس، صفت آزمون هدایت الکتریکی در بین ژنوتیپ‌های مختلف عدس اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۴). با انجام آزمون هدایت الکتریکی مشاهده گردید که ژنوتیپ‌های سنا (۶۸/۹۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم)، بوکان کریم بیگی (۶۲/۸۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم)، نقده مسلمان (۵۶/۸۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) و خلخال شیخ جانلو (۵۱/۵۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بیش‌ترین هدایت الکتریکی و ژنوتیپ‌های نیر D، ورزقان ۷، ورزقان ۶، نیر C، محقرلو، بيله‌سوار و پردیس بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر به‌ترتیب (۲۶/۳۷، ۲۶/۸۴، ۲۹/۷۰، ۲۹/۷۲، ۳۹/۷۸، ۴۱/۴۹ و ۴۳/۴۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) کمترین هدایت الکتریکی را دارا بودند (شکل ۳). از دلایل کاهش پتانسیل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، می‌توان به تخریب غشاء و نشت مواد مختلف از سلول اشاره کرد (Goel & Sheoran, 2003). به‌منظور اندازه‌گیری قابلیت حیات و بنیه بذر از آزمون هدایت الکتریکی استفاده می‌شود. آسیب واردشده

الکتریکی را روی ژنوتیپ‌های عدس به‌منظور پیش‌بینی سبز شدن گیاهچه عدس در مزرعه انجام دادند و گزارش کردند که ژنوتیپ‌های قزوین ۸۹، کرمانشاه ۸۹، بيله‌سوار ۸۹ بیش‌ترین هدایت الکتریکی و ژنوتیپ‌های کرمانشاه و کیمیا ۹۳ کمترین هدایت الکتریکی را داشتند.

جدول ۳- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های عدس از نظر صفات جوانه‌زنی پس از اعمال آزمون تسریع پیری

Table 4- Comparison of average lentil genotypes in terms of germination traits after applying the accelerated aging test

ژنوتیپ Genotype	درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination rate (seed per day)	یکنواختی جوانه‌زنی (ساعت) Germination Uniformity (h)	مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) D10 (h)	مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) D50 (h)	مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی (ساعت) D90 (h)
ورزقان ۶ Varzaghan 6	81.11 ab*	0.046 a	30.60 bc	4.74 c	22.45 e	35.35 e
ورزقان ۷ Varzaghan 7	59.99 cd	0.030 cde	62.06 a	10.13 c	32.58 cd	72.20 a
نیر D Nir D	65.55 bcd	0.037abc	35.26 bc	6.63 c	26.54 e	41.90 cde
نیر C Nir C	65.55 bcd	0.040 ab	33.13 bc	5.11 c	24.63 e	38.25 cde
بوکان کریمیگی Boukan Karim Beigi	72.21 abcd	0.034 bcd	36.02 bc	7.43 c	28.69 de	43.46 cde
نقده مسلمان Naghadeh Mosalman	60 cd	0.044 ab	32.92 bc	4.98 c	23.43 e	37.90 de
خلخال شیخ جانلو Khalkhal Sheikh Janlu	71.10 abcd	0.027 de	22.39 c	24.05 b	37.36 abc	46.45 cde
محقرو Mogharloo	54.44 d	0.023 e	41.82 b	28.26 ab	42.80 a	63.23 ab
نمین B Namin B	78.88 abc	0.026 de	23.99 bc	26.98 ab	37.76 abc	50.97 bcd
پردیس Pardis	87.77 a	0.028cde	29.60 bc	21.88 b	34.83 bc	51.49 bcd
بيله‌سوار Bilesavar	69.99 abcd	0.025 de	29.18 bc	23.38 b	38.98 ab	52.56 bc
سنا Sana	67.77 abcd	0.024 e	18.05 c	33.58 a	40.89 ab	51.64 bcd

* حرف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است

* A different letter in each column indicates a significant difference at the 1% probability level.

D10: مدت زمان تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی، D50: مدت زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی، D90: مدت زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی

D10: duration up to 10% germination, D50: duration up to 50% germination, D90: duration up to 90% germination

بيله‌سوار) رقم بيله‌سوار در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌ترین بنیه بذر را داشت که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. کاهش بنیه بذر به‌دلیل کاهش درصد، سرعت جوانه‌زنی، کیفیت و عملکرد بذر می‌باشد و سبب می‌شود که حساسیت بذر به تنش‌های محیطی افزایش یابد (Tekrony et al., 1989). تضمین تولید مطلوب، استفاده از بذرهای با بنیه بالا است؛ زیرا این امر برای بیشینه‌سازی تولید ضروری بوده و باعث افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی می‌شود و در نتیجه بر استقرار بوته‌ها و آرایش فضایی گیاهان در مزرعه تأثیر می‌گذارد. بااین‌حال، ظهور دیر هنگام گیاهچه‌ها که بازتابی از توان پایین بذرها است،

شاخص بنیه بذر: شاخص بنیه بذر در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال پنج درصد نشان داد (جدول ۴). ژنوتیپ بيله‌سوار بیش‌ترین بنیه بذر (۶۷۲) و ژنوتیپ نیر C کمترین مقدار (۲۹۴) را نشان داد (شکل ۳). شاخص بنیه بذر یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده کیفیت بذر می‌باشد که از طریق جوانه‌زنی نهایی و طول گیاهچه بر کیفیت بذر تأثیر می‌گذارد. بذرهایی که دارای بنیه قوی هستند ضمن داشتن درصد جوانه‌زنی بالا، توانایی تولید گیاهچه قوی را دارند. احمدپور و همکاران (Ahmadpour et al., 2023) گزارش کردند که در بین ارقام (گچساران، رباط، زیبا، کیمیا و

ریشه‌چه یکی از شاخص‌های اولیه رشدنمو و بنیه بذر محسوب می‌شود که تغییرات آن به‌عنوان شاخصی از بنیه گیاهچه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (Alghabari & Zahid Ihsan, 2018). طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از مهم‌ترین صفات تعیین‌کننده بنیه بذر می‌باشد، که تحت تأثیر ژنوتیپ و شرایط محیطی قرار می‌گیرد. وجود گیاهچه‌های کوچک و ضعیف دلالت بر ضعیف بودن بنیه بذر دارد (Bhandari et al., 2023). طول گیاهچه معیاری از بنیه بذر بوده و در بسیاری از گیاهان، همبستگی بین طول گیاهچه و بنیه آن مشخص شده و از آن برای ارزیابی رشد و بنیه گیاهچه استفاده می‌کنند (Bhandari et al., 2023).

وزن خشک گیاهچه: وزن خشک در بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌دار را در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۵). در ژنوتیپ بوکان کریم بیگی بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۰/۰۶۴ گرم) و در ژنوتیپ‌های ورزقان ۶ نمین B و سنا (۰/۰۴۱ گرم)، ورزقان ۷ (۰/۰۴۳ گرم)، نیر C و نقده مسلمان (۰/۰۴۶ گرم) و پردیس (۰/۰۵۱ گرم) بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر کمترین وزن خشک گیاهچه گزارش گردید (شکل ۴). یکی از بهترین معیارهای قوه نامیه (بنیه بذر) برای پیش‌بینی استقرار بوته در مزرعه، ارزیابی وزن خشک می‌باشد (Steiner et al., 1989). تعامل پیچیده بین عوامل محیطی و ژنتیکی سبب تفاوت وزن خشک گیاهچه در ارقام مختلف یک گیاه می‌شود. طبق نظر محققان، بذره‌های قوی که قابلیت جوانه‌زنی بالایی به‌دلیل جوانه‌زنی سریع و یکنواخت دارند، می‌توانند از وزن خشک گیاهچه بالایی برخوردار باشند (Delouche & Baskin, 1973; Hampton, 1992). در مطالعه‌ای روی گندم (*Triticum aestivum* L.) گزارش شد که کاهش وزن خشک گیاهچه ممکن است به‌دلیل کاهش دو مؤلفه مؤثر بر رشد گیاهچه شامل وزن ذخایر بذری انتقال‌یافته و کارایی تبدیل ذخایر انتقال‌یافته به بافت گیاهچه باشد (Soltani et al., 2008).

می‌تواند منجر به کاهش بقاء در مرحله بلوغ شود (Ellis, 1992; Marcosfilho, 2015). پس از اعمال آزمون تسریع پیری، کمترین افت جوانه‌زنی (۱۰ درصد) در ژنوتیپ‌های پردیس و نیر C و بیش‌ترین افت جوانه‌زنی (۲۵ درصد) در ژنوتیپ محقرلو مشاهده شد. بنابراین ژنوتیپ پردیس و نیر C دارای بنیه بذر بالا و ژنوتیپ محقرلو نسبت به این دو ژنوتیپ دارای بنیه بذر پایین بود. آزمون تسریع پیری، به‌دلیل اضمحلال تمامیت ساختار غشاء سیتوپلاسمی سلول‌های بذر سبب کاهش قوه نامیه و بنیه بذر می‌شود (Rao et al., 2017). پس از انجام آزمون هدایت الکتریکی، طبقه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر بنیه بذر به این صورت انجام شد که ژنوتیپ‌های سنا، بوکان کریم بیگی، نقده مسلمان و خلخال شیخ جانلو و پردیس از نظر بنیه بذر در گروه ضعیف و ژنوتیپ‌های نیر D، ورزقان ۶ و ۷ و نیر C از نظر بنیه بذر در گروه خوب و ژنوتیپ‌های محقرلو و بیله‌سوار در گروه نسبتاً ضعیف قرار گرفتند.

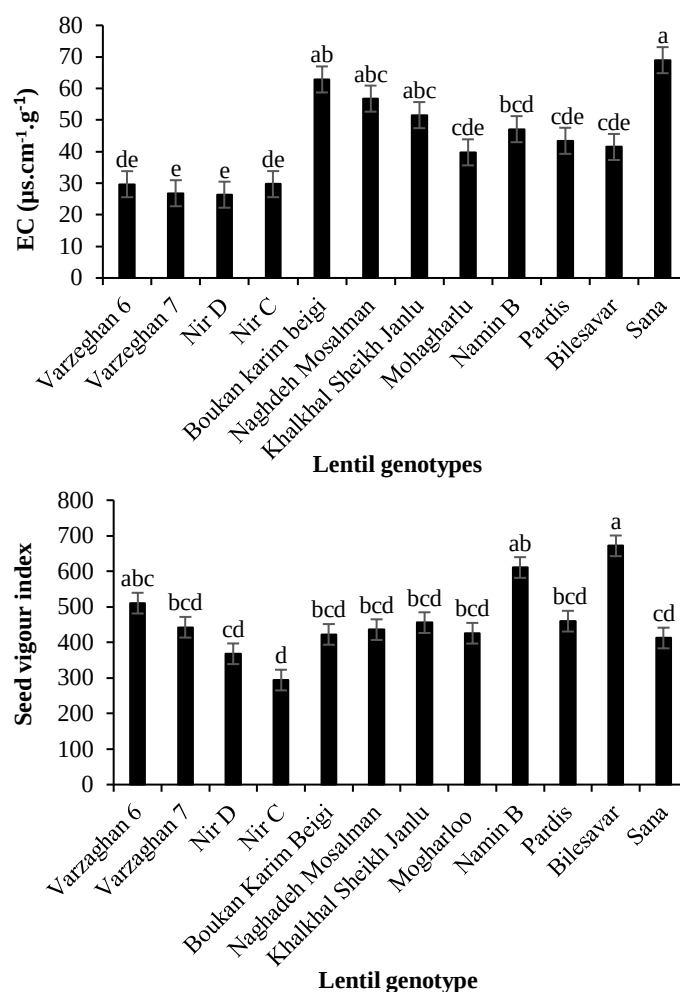
طول ریشه‌چه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول ریشه‌چه در بین ژنوتیپ‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۵). ژنوتیپ بیله‌سوار بیش‌ترین طول ریشه‌چه (۴/۷۴ سانتی‌متر) و ژنوتیپ نیر C کمترین طول ریشه‌چه (۲/۳۸ سانتی‌متر) را نشان دادند (شکل ۴). بذرها براساس شرایط نگهداری، دارای بنیه متفاوتی هستند و بنیه بذر به‌طور مستقیم بر طول گیاهچه تأثیر می‌گذارد (Martin et al., 1988). با توجه به اینکه بیش‌ترین شاخص بنیه بذر در ژنوتیپ بیله‌سوار مشاهده گردید و بنیه بذر تأثیر مستقیمی بر طول گیاهچه دارد، بنابراین این ژنوتیپ دارای طول ریشه‌چه و گیاهچه بیش‌تری بود و همچنین ژنوتیپ نیر C از بنیه بذر و طول ریشه‌چه کمتری برخوردار بود. نتایج پژوهشی روی لاین‌های اینبرد والدینی ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نشان داد که بذرهایی که بنیه قوی داشتند از طول گیاهچه بالاتری برخوردار بودند که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Duroshi et al., 2020). طول

جدول ۴- تجزیه واریانس و مقایسه گروهی (میانگین مربعات) آزمون‌های بنیه بذر در ژنوتیپ‌های مختلف عدس
Table 4- Analysis of variance and group comparison (mean of squares) of seed vigour tests in different lentil genotypes

میانگین مربعات Mean of squares			
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	هدایت الکتریکی EC	شاخص بنیه بذر Seed vigour index
ژنوتیپ Genotype	11	613.20**	30479.75*
خطا Error	24	98.93	10229.13
ضریب تغییرات CV (%)		22.74	22.02

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

* and **: Significant at the five percent and one percent probability levels, respectively.



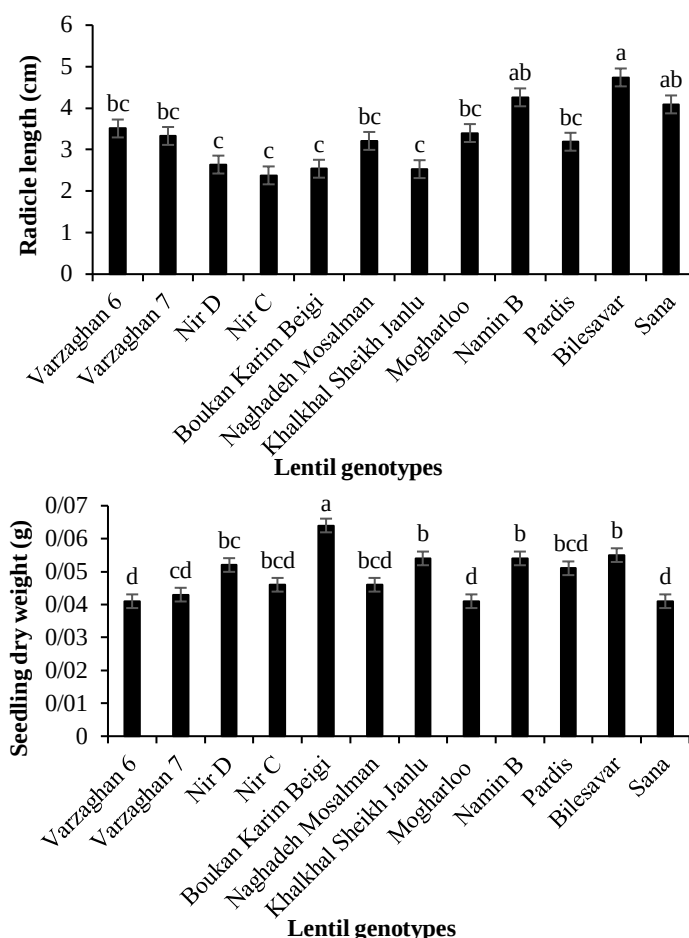
شکل ۳- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های عدس از نظر آزمون‌های بنیه بذر (هدایت الکتریکی و شاخص بنیه بذر)
Figure 3- Comparison of average lentil genotypes in terms of seed vigor tests (EC and seed vigour index)

جدول ۵- تجزیه واریانس و مقایسه گروهی (میانگین مربعات) شاخص‌های رشد گیاهچه در ژنوتیپ‌های مختلف عدس

Table 5- Analysis of variance and group comparison (mean of squares) of seedling growth indices in different lentil genotypes

میانگین مربعات Mean of squares					
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Plumule length	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight
ژنوتیپ Genotype	11	1.68**	0.299 ns	0.0010 ns	0.00015**
خطا Error	24	0.44	0.18	0.000061	0.000026
ضریب تغییرات CV (%)		20.14	22.36	13.32	10.34

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns: non significant, *and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۴- مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های عدس از نظر طول ریشه‌چه و وزن خشک گیاهچه
Figure 4- Comparison of average lentil genotypes in terms of radicle length and seedling dry weight

نتیجه‌گیری

جوانه‌زنی یکی از مراحل بحرانی رشد در گیاهان بوده و نتیجه نهایی مجموعه‌ای از واکنش‌های بیوشیمیایی است که با واسطه آنزیم‌های متعددی انجام می‌شود که در گونه‌های مختلف گیاهی و حتی ژنوتیپ‌های یک گونه، متفاوت هستند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی در ژنوتیپ پردیس به دست آمد و ژنوتیپ نیر C نیز کمترین درصد و سرعت جوانه‌زنی را نشان داد. از آنجا که شاخص بنیه بذر به‌تنهایی برای پیش‌بینی عملکرد واقعی بذر کافی نیست، از آزمون تسریع پیری و هدایت الکتریکی استفاده شد. بعد از اعمال آزمون تسریع پیری، کمترین افت جوانه‌زنی (۱۰ درصد) در ژنوتیپ‌های پردیس و نیر C و بیش‌ترین افت جوانه‌زنی (۲۵ درصد) در ژنوتیپ محقرلو مشاهده شد و نتایج نشان داد که بنیه ژنوتیپ محقرلو بعد از اعمال دما و رطوبت بالا، کاهش یافت. آزمون هدایت الکتریکی با اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها از بذر به آب نشان داد که ژنوتیپ محقرلو از نظر بنیه بذر نسبتاً ضعیف بود. براساس درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه (شاخص بنیه بذر)، بیش‌ترین بنیه بذر

در ژنوتیپ بیل‌سوار و بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه در ژنوتیپ بوکان کریم بیگی مشاهده شد. به‌دلیل تأثیر مستقیم شاخص بنیه بذر بر طول گیاهچه، ژنوتیپ بیل‌سوار بیش‌ترین طول ریشه‌چه را نشان داد. به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های نیر D، ورزقان ۶ و ۷ و نیر C از نظر تحمل تنش و سلامت غشایی مطلوب هستند. با وجود اینکه کمترین شاخص جوانه‌زنی و رشد در ژنوتیپ نیر C مشاهده شد، ولی برای معرفی ژنوتیپ‌ها برای کشت در مزرعه، شاخص بنیه بذر (درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه) نمی‌تواند معیار مناسبی برای سنجش باشد. در شرایط مزرعه، حفظ قوه نامیه و تحمل تنش توسط ژنوتیپ مهم است. بنابراین می‌توان ژنوتیپ‌های نیر D، ورزقان ۶ و ۷ و نیر C را برای مطالعات بعدی در اقلیم اردبیل معرفی کرد، اما برای اطمینان از این نتایج باید بررسی‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای نیز صورت گیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

- Agricultural Statistics Booklet. (2020). Volume I: Crop production. Ministry of Jihad-e-Keshavarzi. Office of Statistics and Information Technology. (In Persian). Available at: <http://amar.maj.ir>
- Ahmadpour, R., Ghalavand, R., Hosseinzadeh, S. R., & Armand, N. (2023). Determining of optimal temperature for germination of lentil cultivars for autumn cultivation in Khuzestan province. *Nova Biologica Reperta*, 9, 307-316. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24236330.1401.9.4.7.9>
- Alghabari, F., & Zahid Ihsan, M. (2018). Effects of drought stress on growth, grain filling duration, yield and quality attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 47(3), 421-428.
- Armand, N., Amiri, H. & Ismaili A. (2015). Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 6: 42-53. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1394i1.43942>
- Asadi-Danalo, A., Ghassemi-Golezani, A., Shafagh-Kalvanagh, K., & Bakhshy, J. (2014). Effectsof Seed Quality and Water Deficit on Performance of Lentil (*Lens culinaris* Medik). *Journal of Agricultural Science and Sustalnabe Production*. 24(1), 83-94.
- Association of Official Seed Analysts. (1983). Seed Vigour Testing Handbook. No. 32. Las Cruces, N.M.
- Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., & Come, D. (2000). Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research*, 10(1), 35-42. <http://doi.org/10.1017/S0960258500000040>
- Bhandari, S., Bhattarai, S., Yadav, S., Kattel, I., Yadav, P., & Bhujel, S., (2023). Comparative analysis of seed priming on the germination and growth of lentil landraces (*Lens culinaris* Medik). *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, 5(1), 26-38. <http://doi.org/10.53663/turjfas.1275739>
- Bray, C. M., Ashraf, M., & Davison, P. A. (1993). Molecular markers of seed quality. In: D. Come, & F. Combineau (Eds.). *Proceedings of the Fourth International Workshops on Seeds*. ASFIS, Paris. pp. 887-896.
- Chegeni, H., Goldani, M., Shirani-Rad, A. H., & Kafi, M. (2016). Effect of accelerated aging on germination indices of promising lines of canola (*Brasica napus* L.). *Journal of Crop Breeding*, 8(9), 209-217. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286128.1395.8.19.24.9>
- Coyne, C. J., Kumar, S., Von Wettberg, E. J. B., Marques, E., Berger, J. D., Redden, R. J., Noel Ellis, T.H., Brus, J., Zablitzká, L., & Smýkal, P. (2020). Potential and limits of exploitation of crop wild relatives forpea, lentil, and chickpea improvement. *Legume Science*, 2(2), 36. <https://doi.org/10.1002/leg3.36>.
- DehghanShoar, M., Hamidi, A., & Mobasser. S. (2005). Evaluation Techniques / Handbook of Vigor Test Methods. Agricultural Education Publishing, Tehran, Iran. (In Persian).
- Delouche, J. C., & Baskin, C. C. (1973). Accelerated ageing technique for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, 1, 427-452.
- Duroshi, F., Hamidi, A., & Shoaee, S. (2020) Correlation of hybrid maize single cross SC704 parental inbred lines seed germination ability and seedling vigour indices with seedling field emergence. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 7(2), 191-203. (In Persian with English Abstract).
- Ellis, R. H. (1992). Seed and seedling vigour in relation to crop growth and yield. *Plant Growth Regulation*, 11, 249-255. <https://doi.org/10.1007/BF00024563>
- FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>
- FAOSTAT. (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#compare> (Accessed: 23 December 2020).
- Foschi, M., D'Archivio, A. A., & Rossi, L. (2020). Geographical discrimination and authentication of lentils (*Lens culinaris* Medik.) by ICP-OES elemental analysis and chemometrics. *Food Control*, 118, 107-438. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107438>
- Fu, J. R., Huang, S. Z., Li, H. J., & Zheng, X. H. (2000). Seed vigour in relation to the synthesis and degradation of storage protein and the integrity of rRNA in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. *Acta Srientiamm Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 39, 80-83.
- Gallardo, K., Job, C., Groot, S. P., Puype, M., Demol, H., Vandekerckhove, J., & Job, D. (2001). Proteomic analysis of *Aarabidopsis* seed germination and priming. *Plant Physiology*, 126(2), 835-848. <https://doi.org/10.1104/pp.126.2.835>
- Ghanbari, M., Mansour Ghanaei Pashaki, K., Safaei Abdolmanaf, S., & Aziz Ali-Abadi, K., (2016). Effect of salt stress and hydropriming on germination characteristics of mungbean (*Vigna radiata* L.) Wilczek). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(1), 65-80. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v7i1.37908>

- Ghobadi, M., Lotfi, S., Lotfali Honarmand, S., & Eghbal Ghobadi, M. (2017). The comparison of electrical conductivity, imbibition and hiltner tests to predict seedling emergence of lentil in the field. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(4), 501-512. (In Persian with English Abstract).
- Goel, A., & Sheoran, I. S. (2003). Lipid peroxidation and peroxide scavenging enzyme in cotton seeds under natural ageing. *Biologia Plantarum*, 46, 429-434. <https://doi.org/10.1023/A:1024398724076>
- Hamidi, A., Rezazadeh, J., & Asgri, V. (2005). Study on relationship of hybrid maze (*Zea mays* L.CV. Single Croos 704) field seedling emergence and some related laboratoaila measured traits. *Seed and Plant*, 21, 213-240. (In Persian with English Abstract).
- Hampton, J. G., & Tekrony D. M. (1995). Handbook of vigour test methods. 3rd Eds. International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. 3, 117 p
- Hampton, J. G., Btunton, B. J., Pemberton, G. M., & Rowarth, J. S. (2004). Temperature and time variables for accelerated ageing vigour of pea (*Pisum sativum* L.). *Seed Science and Technology*, 32(1), 261-264. <https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.30>
- Hampton, J. G. (1992). Prolonging seed quality. Proceeding of the 4th Australian Seeds Research Conference, p. 181-194.
- Hasan, M. M. A., Mondal, U., Azam, M. G., Hossain, M. A., Sarkar, U., Gaber, A., & Hossain, A., (2024). Evaluation of thirty lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes suitable for drought stress based on morpho-biochemical traits and stress tolerance indices. *Journal of Crop Health*, 76(4), 903-916. <https://doi.org/10.1007/s10343-024-00992-y>
- ISTA. International Seed Testing Association. (2009). International Rules for Seed Testing. Zurichstr.50. CH. 8303, Bassersdorf, Switzerland, Edition 2009/1.
- Justice, O. L. & Bass, L. N. (1979). Principles and Practices of Seed Storage. Castle House, Pub London. 289 pp.
- Kalpana, R., & Madhava, R. K. V. (1997). Nucleic acid metabolism of seeds of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) cultivars during accelerated ageing. *Seed Science and Technology*, 25(2), 293-301.
- Khavari, F., Ghaderi-Far, F., & Soltani, E. (2009). Laboratory tests for predicting seedling emergence of safflower (*Carthamus tinctorius*, L.) cultivars. *Seed Science and Technology*, 31(2), 189-193. <https://www.jstor.org/stable/23433314>
- Kumari, N., Chaurasia, A. K., & Mishra, S. N. (2021). Effect of accelerated ageing on quality, growth and yield in seeds (artificial ageing techniques): Review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(7), 1750-1752.
- Lehner, A., Mamadou, N., Poels, P., Come, D., Bailly, C., & Corbineau, F. (2008). Change in soluble carbohydrates, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in the embryo during ageing in wheat grains. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.017>
- Lekh, R., & Khairwal, I. S., (1993). Evaluation of pearl millet hybrids and their parents for germinability and field emergence. *Indian Journal of Plant Physiology*, 2, 125-127.
- Liu, J., Huang, S. Z., & Fu, J. R. (1999). Changes of embryo protein in maize seeds with different vigours during germination. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 7, 65-69.
- Lotfi, S., Ghobadi, M., Honarmand, S. J., & Ghobadi, M. E. (2019). Assessment of the standard germination test to predict seedling emergence of lentil (*Lens culinaris* L.) in rainfed farm. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 8(15), 213-225. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.115217.1126>
- MarcosFilho, J. (2015). Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Seed Physiology of Cultivated Plants. Abrates, Londrina, 660 p.
- Martin, B. A., Smith, O. S., & O'Neil, M. (1988). Relationships between laboratory germination tests and field emergence of maize inbreds. *Crop Science Communty*, 28(5), 801-805. <http://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X0028000500016x>
- McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27(1), 177-237.
- Noli, E., Casarini, G., Urso, G., & Conti, S. (2008). Suitability of three vigour test procedures to predict field performance of early sown maize seed. *Seed Science and Technology*, 36(1), 168-176. <http://doi.org/10.15258/sst.2008.36.1.18>
- Omidi, H., Jafarzadeh, L., & Naghdi Badi, H. (2014). Seeds of Medicinal Plants and Crops. Tehran University Publications, Tehran, Iran. Reb. 444 p. (In Persian)
- Oskoue, B., & Sheidaei, S., (2013). Study of different kinds of seed packaging and storage durations on seed vigour of canola using electrical conductivity test. *International Journal Agriculture and Crop Sciences*, 5(5), 538-543.
- Pasandideh, H., Seyed Sharifi, R., Hamidi, A., Mobasser, S., & Sedghi, M. (2014). Reationship of seed germination and vigour indices of commercial soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars with seedling

- emergence in field. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 1(1), 29-50. (In Persian with English Abstract).
- Patil, K. G., Karjule, A., Patel, D. A., & Sasidharan, N. (2019). Effect of accelerated ageing on viability and longevity of wheat (*Triticum aestivum*) seed. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(6), 920-928. <http://doi.org/10.56093/ijas.v89i6.90760>.
- Powell, A. A., (2007). Seed vigour and its assessment. A. S. Basra (Ed.). *Handbook of Seed Science and Technology*. Scientific Publishers, India, p. 603-648.
- Rahman, M. M., Hampton, J. G., & Hill, M. J. (2004). Effect of seed moisture content following hand harvest and machine threshing on seed quality of cool tolerant soybean. *Seed Science and technology*, 32(1), 149-158. <http://doi.org/10.15258/sst.2004.32.1.15>
- Rao, N. K., Dulloo, M., & Engels, J. M., (2017). A review of factors that influence the production of quality seed for long-term conservation in genebanks. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 64(5), 1061-1074. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0425-9>
- Sheidaei, S., Heidari Sharisabad, H., Hamidi, A., Noormohammadi, G., & Moghaddam A., (2016). Effect of storage condition, initial seed moisture content and germination on soybean seed deterioration. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 2(2), 31-47. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23831251.1394.2.2.12.6>
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Latifi, N., (2001). Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coasts of Iran. *Seed Science and Technology*, 29(3), 653-662. (In Persian with English Abstract).
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., & Latifi, N. (2002). Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Science and Technology*, 30(1), 51-60. (In Persian with English Abstract).
- Soltani, E., Kamkar, B., Galeshi, S., & Ghaderi, F. A. (2008). The effect of seed deterioration on seed reserves depletion and heterotrophic seedling growth of wheat. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 3(2), 184-192. (In Persian with English Abstract). <http://doi.org/10.3923/rjes.2009.184.192>
- Steiner, J. J., Grabe, D. F., & Tulo, M. (1989). Sing and multiple vigour test for predicting seedling emergence of wheat. *Crop Science*, 29, 782-786.
- Talei, D., Saad, M. S., Yusop, M. K., AbdulKadir, M., & Valdiani, A., (2011). Effects of different surface sterilizers on seed germination and contamination of king of bitters (*Andrographis paniculata* Nees). *American Eurasian Journal Agricultural Environmental Sciences*, 10, 639-643.
- TeKrony, D. M., Egli, D. B., & Wickham, D. A. (1989). Corn seed vigour effect on no-tillage field performance. *Journal of Crop Science and Biochnology*, 29(6), 1523-1528.
- Thiayarajeh, M., & Kapilan, R. (2015). Effect of aging on the germination characteristics and enzyme activity of sunflower seeds. *International Journal of Research and Innovations in Earth Science*, 2(6), 147-150.
- Vashisth, A., & Nagarajan, S. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167(2) 149-156. <http://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.08.011>
- Vearasilpa, S., Somchai, P., Nattasak, K., Sanguansak, T., Sangtiwa, S., & Elke, P. (2001). Assessment of post harvest soybean seed quality loss. Conference on International Agricultural Research for Development Institute for Agricultural Chemistry, Georg-August University, Göttingen, 37075 Germany.
- Zaccardelli, M., Sonnante, G., Lupo, F., Branca, F., & de Falco, E. (2010). Leguminose minori (cece, lenticchia, cicerchia, fava); Consiglio per Ricerca Sperimentazione Agricoltura: Rome, Italy, 73 p.
- Zlatanova, J. S., Ivanov, P. V., Stoilov, L. M., Chimshirova, K. V., & Stanchev, B. S. (1987). DNA repair precedes replicative synthesis during early germination of maize. *Plant Molecular Biology*, 10(2), 139-144. <https://doi.org/10.1007/BF00016151>



<https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96712.1124>

Evaluation of the Interaction between Sowing Date and Seed Treatment with Bio-Fertilizers on Root Traits and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a Two-Year Study

Yaser Azimzadeh^{1*}, Hamid Hasanian Khoshroo¹, Arash Mohammadzadeh¹,
Gholamreza Ghahramanian¹, Ramin Lotfi¹, Halimeh Razmi¹

Received: 26 November 2025
Revised: 18 January 2026
Accepted: 19 January 2026
Available Online: 19 January 2026

Cite this article:

Azimzadeh, Y., Hasanian Khoshroo, H., Mohammadzadeh, A., Ghahramanian, G., Lotfi, R., & Razmi, H. (2025). Evaluation of the interaction between sowing date and seed treatment with bio-fertilizers on root traits and yield of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a two-year study. *Iranian Journal of Pulses Research*, 16(2), 395-411. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.96712.1124>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) serves as a vital source of dietary protein and plays a crucial role in sustainable crop rotations within the Iranian agricultural system. Its productivity in dryland conditions is predominantly constrained by suboptimal sowing dates and inadequate nutrient management, leading to significant yield gaps. In recent years, bio-fertilizers have emerged as a promising ecological strategy to improve crop growth, soil health, and resource use efficiency. However, the performance of these microbial inoculants is highly context-dependent and influenced by agronomic practices, particularly sowing date. Despite this, the interactions between sowing dates and specific bio-fertilizer formulations under the variable climatic conditions of Iran's rain-fed ecosystems remain poorly understood. Therefore, this two-year field study was conducted to evaluate the efficacy of various commercial bio-fertilizers applied as seed treatments on the growth, yield, and water productivity of rain-fed chickpea, with a focus on comparing autumn and spring sowing dates.

Materials and Methods

A two-year field study (2023-2025) was conducted in Maragheh, East Azerbaijan province, using a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications. The main plots were assigned to two sowing dates (autumn and spring), and the sub-plots to five seed treatments: Non-inoculated control, Probio96, Bioguard, MycoSupre Plus, and Humic acid. Following land preparation with a combined tiller, chickpea seeds (cv. Ana) were inoculated and sown at a density of 40 seeds.m⁻² on plots measuring 30×5 m in rotation with wheat, using a three-axis ASKE seeder with a 17.5-53 cm row arrangement. Weed control was performed manually. At flowering, plant density, root volume, dry root weight, root nodule weight, and plant height were measured. At physiological maturity, whole plots were hand-harvested to determine 100-seed weight, biological yield, grain yield, harvest index, and rainwater productivity.

Results and Discussion

Combined analysis of variance revealed that the main effect of sowing date was significant ($p \leq 0.01$) for all studied traits except plant establishment and 100-grain weight. Autumn sowing consistently and significantly enhanced root system development, resulting in higher root dry weight (2.97 g.plant⁻¹ in Year 1) and root nodule weight compared to spring sowing across both years. This superior root architecture under autumn sowing translated directly into improved agronomic performance, culminating in significantly higher mean grain yield (1084 kg.ha⁻¹) and rainwater productivity (2.84 kg.mm⁻¹). The main effect of year was also highly significant ($p \leq 0.01$) for key traits, reflecting the substantial impact of inter-annual environmental variability. The performance of bio-fertilizer treatments was profoundly influenced by these year-to-year fluctuations and their interactions with the sowing date. Among them, Bioguard, a consortium of *Trichoderma* and *Bacillus velezensis*, achieved the peak performance under optimal conditions (autumn sowing in the favorable Year 1), yielding the highest grain yield (1084 kg.ha⁻¹) and biological yield (2337 kg.ha⁻¹). However, its

1- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

* Corresponding Author: y.azimzadeh@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/).

efficacy was highly unstable, showing the most drastic decline in the stressful Year 2 under spring sowing, where it produced the lowest yield (405 kg.ha^{-1}), even underperforming the control. This highlights its high sensitivity to environmental stress. In contrast, MycoSupre Plus, a complex formulation containing mycorrhizal fungi, *Azotobacter*, and *Pseudomonas*, demonstrated greater stability across contrasting years. While it did not reach the absolute peak yield of Bioguard in the optimal year, it provided consistent and reliable improvements in root volume, plant height, and final yield in both autumn and spring sowings, establishing it as a lower-risk option. Probio96, based on *Bacillus velezensis*, had a limited impact on root biomass but registered the highest harvest index (46.8%), indicating a superior efficiency in partitioning photosynthetic assimilates towards grain production rather than vegetative growth. Significant two-way (Year $\times$ Sowing Date, Sowing Date $\times$ Bio-fertilizer) and three-way (Year $\times$ Sowing Date $\times$ Bio-fertilizer) interactions were observed for most traits, including root volume, grain yield, and rainwater productivity. These interactions underscore the complex interplay between management practices and the environment. For instance, in spring sowing under stressful conditions, the untreated control sometimes showed better plant establishment than some bio-fertilizers, suggesting that the inoculated microbes could pose an additional osmotic stress on germinating seeds when environmental conditions were already adverse.

Conclusions

The choice of bio-fertilizer should be tailored to specific environmental conditions, including seasonal climate and sowing date. Integrating autumn sowing with bio-fertilizers that possess stable mechanisms of action, particularly MycoSupre Plus, is recommended as an effective strategy for achieving both high yield and production stability in rain-fed chickpea systems.

Keywords: Bio-fertilizer, Humic acid, Nutritional requirement



ارزیابی اثر متقابل تاریخ کاشت و بذرمال زیستی بر صفات ریشه و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم در یک مطالعه دوساله

یاسر عظیم‌زاده^{۱*}، حمید حسینیان خوشرو^{۱*}، آرش محمدزاده^{۱*}، غلامرضا قهرمانیان^{۱*}، رامین لطفی^{۱*}

حلیمه رزمی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۹

چکیده

استفاده از کودهای زیستی به‌عنوان یکی از راهکاری افزایش بهره‌وری و پایداری نظام‌های کشت دیم به شمار می‌رود. با این حال، اثر متقابل این نهاده‌ها با تاریخ کاشت کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بر این اساس، به‌منظور ارزیابی کارایی بذرمال نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم با کودهای زیستی در دو تاریخ کاشت پاییزه و بهاره، پژوهشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان مراغه در استان آذربایجان شرقی به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۴) اجرا شد. تاریخ کاشت در دو سطح پاییزه و بهاره در کرت‌های اصلی و بذرمال زیستی در پنج سطح شامل شاهد (بدون بذرمال) و بذرمال با کودهای پروبیو ۹۶، بایوگارد، مایکوسوپرپلاس و اسیدهیومیک زیستی در کرت‌های فرعی بودند. بعد از آماده‌سازی زمین با استفاده از خاکورز مرکب، بذر نخود رقم آنا با هر یک از کودهای مورد نظر بذرمال شد و با تراکم ۴۰ بذر در مترمربع، در کرت‌های به ابعاد ۵ × ۳۰ متر و در تناوب با گندم (*Triticum aestivum*) به‌صورت پاییزه در ۱۸ آبان و به‌صورت بهاره در ۲۶ اسفند کشت شد. در مرحله گل‌دهی، تراکم بوته در مترمربع، حجم ریشه، وزن ریشه خشک، وزن گره‌های ریشه و ارتفاع بوته اندازه‌گیری گردید. در مرحله رسیدگی و بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، کل کرت به‌روش دستی برداشت و وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب باران در هر یک از کرت‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت پاییزه به‌طور معنی‌داری موجب بهبود شاخص‌های رشد ریشه از جمله وزن خشک ریشه (۲/۴۸ گرم در بوته)، عملکرد دانه (۱۰۸۴ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری آب باران (۲/۸۴ کیلوگرم بر میلی‌متر) در مقایسه با کشت بهاره گردید. در بین تیمارهای بذرمال، بایوگارد در شرایط محیطی مطلوب (سال اول) به بالاترین عملکرد منجر شد، اما عملکرد آن در سال دوم که با کاهش ۲۶ درصدی و توزیع نامطلوب بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق همراه بود، به‌شدت کاهش یافت. در مقابل، مایکوسوپرپلاس با دارا بودن قارچ‌های میکوریزا، پایداری عملکرد بیشتری در هر دو سال نشان داد. تیمار پروبیو ۹۶ نیز با بالاترین شاخص برداشت (۴۶/۸ درصد)، کارآمدترین تیمار در تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه بود. به‌طور کلی، انتخاب نوع کود زیستی باید با در نظر گرفتن شرایط محیطی از جمله اقلیم منطقه و تاریخ کاشت صورت گیرد. تلفیق کشت پاییزه با کودهای زیستی دارای سازوکار عمل پایدار (به‌ویژه مایکوسوپرپلاس) به‌عنوان یک راهبرد کارآمد برای دستیابی هم‌زمان به عملکرد مطلوب و پایداری تولید در نظام‌های کشت دیم نخود توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدهیومیک، کود زیستی، نیاز غذایی

مقدمه

با توجه به چالش‌های پیچیده و بسیار جدی تغییرات اقلیمی و محدودیت‌های فزاینده منابع آب و خاک، تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد جهان به یکی از بحرانی‌ترین دغدغه‌های قرن حاضر تبدیل شده است. در پاسخ به این چالش جهانی، گذار به سمت نظام‌های کشاورزی پایدار که از یک‌سو بهره‌وری بالا را تضمین کند و از سوی دیگر، وابستگی به نهاده‌های شیمیایی را کاهش دهد، به اولویتی اجتناب‌ناپذیر بدل شده است. در این میان، حبوبات با دارا بودن قابلیت منحصربه‌فرد تثبیت زیستی نیتروژن اتمسفری، نه تنها به‌عنوان

منبع غذایی ارزشمند، بلکه به‌عنوان عاملی کلیدی در تناوب‌های زراعی و پایداری بلندمدت سیستم‌های کشاورزی ایفای نقش می‌کنند (Rani et al., 2020). نخود (*Cicer arietinum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های این تیره، در مناطق غرب و شمال غرب ایران، عمدتاً به‌صورت دیم و در الگوی کشت پاییزه و بهاره جایگاه ویژه‌ای دارد. هرچند ایران از نظر سطح زیرکشت این گیاه، پس از کشورهای هند، پاکستان و ترکیه در رتبه چهارم جهانی قرار دارد، اما عملکرد نخود در شرایط دیم مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به‌دلیل مواجهه با تنش‌های محیطی متعدد از جمله خشکی و گرمای انتهای

۱- مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

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

فصل و گرمای هم‌زمان با دوره گل‌دهی و پُر شدن دانه و همچنین چالش‌های مدیریتی، فاصله قابل توجهی با پتانسیل ژنتیکی ارقام و میانگین جهانی دارد (Sabaghpour et al., 2006).

در بسیاری از مناطق تحت کشت دیم ایران، بارش‌های نامطمئن بهار و توزیع نامناسب آن، دوره رشد بحرانی گیاه را با کمبود رطوبت مواجه می‌سازد. یکی از راهبردهای مدیریتی مؤثر برای هماهنگ‌سازی دوره رشد حساس نخود با الگوی بارش‌های فصلی و اجتناب از تنش‌های پایان فصل، انتقال تاریخ کاشت از بهار مرسوم به پاییزه است. کشت پاییزه نخود در مقایسه با کشت بهار، مراحل اولیه رشد را با دوره خنک و مرطوب‌تر پاییز و اوایل زمستان هم‌زمان می‌سازد. این هم‌زمانی، دسترسی مستقیم به بارش‌های این فصل را برای جوانه‌زنی و استقرار اولیه گیاه فراهم کرده و پیش از فرارسیدن گرما و خشکی، فرصت توسعه سیستم ریشه را به گیاه می‌دهد. در نتیجه، گیاه با ریشه‌های توسعه‌یافته‌تر، به ذخیره رطوبت عمقی خاک دسترسی داشته و می‌تواند در مواجهه با تنش‌های رطوبتی و گرمایی اواخر فصل، عملکرد بهتری داشته باشد (Valizadeh et al., 2024). در این رابطه، شواهد پژوهشی متعددی نشان می‌دهند که گیاه نخود در کشت پاییزه با بهره‌گیری از نزولات پاییزه و زمستانه، می‌تواند سیستم ریشه‌ای قوی‌تر و عمیق‌تری را ایجاد کرده و با تسریع در رشد رویشی، از اوج تنش‌های گرمایی و خشکی اواخر بهار در امان بماند (Singh et al., 2023). به‌عنوان مثال، ولی‌زاده و همکاران (Valizadeh et al., 2024) گزارش کردند که عملکرد نخود دیم و شاخص بهره‌وری آب در کاشت پاییزه بیشتر از بهار بود. باین‌حال، موفقیت این راهکار مشروط به مدیریت دقیق چالش‌های همراه آن، به‌ویژه مهار موفقیت‌آمیز علف‌های هرز و کاهش خطر سرمازدگی در مناطق با زمستان‌های بسیار سرد است.

جولنه‌زنی یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین مراحل فنولوژیک چرخه زندگی گیاه و یک فرآیند کلیدی در سبز شدن گیاهچه است. رشد گیاهچه در مرحله جوانه‌زنی متکی به مواد غذایی ذخیره‌شده در بذر است و علاوه بر مقدار ماده غذایی ذخیره‌شده، کارایی و سرعت به‌کارگیری آن در فعالیت‌های متابولیکی گیاهچه می‌تواند بر سرعت میزان رشد نهایی گیاهچه قبل از ورود به مرحله مستقل رشدی مؤثر باشد؛ لذا استفاده از روش‌هایی از جمله بذر مال برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار مناسب گیاه در شرایط نامساعد محیطی توصیه شده است (Singh et al., 2023). بذر مال، تکنیکی است که طی آن، بذر پیش از قرار گرفتن در بستر کشت، با انواع کودهای شیمیایی، زیستی و با محرک‌های رشد آغشته می‌شود؛ به‌طوری‌که ترکیب مورد نظر

به‌صورت یک لایه بسیار نازک در سطح بذر قرار می‌گیرد. با این کار، علاوه بر اینکه به‌واسطه بروز برخی از تغییرات زیستی و فیزیولوژیک در بذر، شاخص‌های جوانه‌زنی بذر تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد، عناصر غذایی، ترکیبات محرک رشد و ریزجاندانان موجود در کود، شرایط تغذیه‌ای و رشدی گیاهچه را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به تقویت بنیه گیاهچه و استقرار بهتر و سریع‌تر آن در خاک می‌شود (Casenave & Toselli, 2007). در این رابطه، قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2013) با ارزیابی برخی از خصوصیات نخود در واکنش به پیش‌تیمار بذر با اسیدهیومیک نشان دادند که بذر مال با اسیدهیومیک سبب افزایش عملکرد نخود شد. جاویدی و همکاران (Javidi et al., 2024) نیز گزارش کردند که بذر مال سویا (*Glycine max*) با اسیدهیومیک منجر به افزایش عملکرد سویا شد و کاربرد کود پایه نیتروژن، کارایی بذر مال با اسیدهیومیک را افزایش داد. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از باکتری‌های مفید خاکزی از جمله *Bacillus velezensis* به‌عنوان بذر مال می‌تواند باعث افزایش جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و توسعه سیستم ریشه‌ای نخود شود. این باکتری محرک رشد گیاه (PGPR¹)، از طریق سازوکارهای غیرمستقیم از جمله تولید هورمون‌های رشد (مانند اکسین)، حل کردن فسفات، تولید آنزیم‌های مفید، مقابله با بیمارگرها و تحریک سیستم ایمنی گیاه، رشد گیاه را بهبود می‌بخشد (Cheng et al., 2025). استفاده از قارچ‌های تریکودرما² به‌صورت بذر مال می‌تولند نه تنها سلامت ریشه و مقاومت گیاه در برابر بیماری‌های ریشه مانند پوسیدگی مرطوب³ را افزایش دهد، بلکه رشد و استقرار گیاهچه نخود را نیز بهبود می‌بخشد. به‌عنوان مثال، دوبی و همکاران (Dubey et al., 2012) گزارش کردند که بذر مال و کاربرد خاکی قارچ تریکودرما باعث افزایش شاخص‌های رشد و کاهش شیوع بیماری در نخود شد. علاوه بر آن، گزارش شده است که بذر مال با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نیز می‌تواند به افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر و توسعه سیستم ریشه‌ای نخود کمک کند (Rocha et al., 2019).

اگرچه اهمیت هر یک از عوامل تاریخ کاشت و بذر مال زیستی به‌صورت جداگانه در کشت نخود دیم مورد تأیید قرار گرفته است، اما شواهد پژوهشی کافی در مورد اثر متقابل آن‌ها بر رشد و عملکرد نخود دیم به‌ویژه در شرایط اقلیم سردسیر ایران وجود ندارد. بیشتر مطالعات پیشین به بررسی اثرات مستقل تاریخ کاشت یا انواع کودهای زیستی پرداخته‌اند. باین‌حال، وابستگی شدید فعالیت ریزجاندانان موجود در کودهای زیستی به عوامل محیطی به‌ویژه دما و رطوبت خاک موجب می‌شود تا کارایی این کودها در روش بذر مال، در تاریخ‌های مختلف

1- Plant growth-promoting rhizobacteria

2- *Trichoderma* spp.

3- Wet root rot

به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۴) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو تاریخ کاشت پاییزه و بهاره در کرت‌های اصلی و پنج سطح بذرمال شامل بدون بذرمال (شاهد) و بذرمال با کودهای پروبیو ۹۶، بایوگارد، اسیدهیومیک زیستی (هر سه تولید شرکت بایوران) و مایکوسوپریلاس (تولید شرکت زیست فناوری توران) در کرت‌های فرعی بودند. تمامی کودهای زیستی مورد استفاده از بازار تهیه و مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده استفاده شدند. برخی از مشخصات کودهای زیستی مورد استفاده برای بذرمال در جدول ۱ ارائه شده است.

قبل از اجرای آزمایش برای اطلاع از ویژگی‌های خاک محل اجرای آزمایش، نمونه خاکی به روش مرکب از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت‌شده از مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به اینکه محتوای پتاسیم قابل دسترس خاک در هر دو سال بیشتر از حد بحرانی بود، هیچ‌گونه کود پتاسیمی به خاک اضافه نشد. در مقابل، میزان فسفر قابل دسترس خاک کمتر از حد بحرانی (۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. بر این اساس، پیش از عملیات کاشت، مقدار ۳۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار مصرف شد.

کاشت و به‌ویژه تحت شرایط دیم، کاملاً متغیر باشد. به‌عنوان نمونه، در کشت پاییزه، کاهش دمای خاک می‌تواند فعالیت ریزجانداران مفید را محدود کند، درحالی‌که در کشت بهاره، گرمای خاک ممکن است به استقرار سریع‌تر آن‌ها کمک کند. این کمبود اطلاعات به‌ویژه در مواجهه با شرایط پرتنش دیم بیشتر حس می‌شود. بنابراین، بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت و بذرمال زیستی در یک مطالعه دوساله که بتواند علاوه بر تغییرات فصلی (تاریخ کاشت)، تغییرات بین سالی را نیز پوشش دهد، برای درک واقع‌بینانه‌تر از کارایی این نهاده‌ها در سیستم‌های کشت دیم ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از این مطالعه، ارزیابی اثر متقابل تاریخ کاشت (پاییزه و بهاره) و بذرمال با کودهای زیستی پروبیو ۹۶، بایوگارد، مایکوسوپریلاس و اسیدهیومیک زیستی بر صفات مورفولوژیک ریشه و عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر متقابل تاریخ کاشت و بذرمال با کودهای زیستی بر صفات مورفولوژیک ریشه، عملکرد دانه و اجزای عملکرد نخود دیم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان مراغه در استان آذربایجان شرقی

جدول ۱- مشخصات کودهای مورد استفاده برای بذرمال در این پژوهش

Table 1- Characteristics of the fertilizers used for seed coating in this study

کود Fertilizer	اسیدیته pH (1:10)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (1:10) (dS.m ⁻¹)	ریزجانداران Microorganisms	جمعیت Papulation (CFU.g ⁻¹)	سایر ترکیبات Other components
پروبیو ۹۶ Probio96	3.15	2	<i>Bacillus velezensis</i>	10 ⁸	-
بایوگارد Bioguard	4.3	6.3	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Bacillus velezensis</i>	10 ⁶ 10 ⁷	اسیدهیومیک (۵٪) Humic acid (5%)
مایکوسوپریلاس Mycosuper plus	-	-	<i>Arbuscular mycorrhiza</i> species, <i>Trichoderma</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i>		عصاره جلبک دریایی، اسیدهیومیک، اسیدفلوئیک Seaweed extract, humic acid, fulvic acid
اسیدهیومیک Humic acid	7.2	8	<i>Bacillus velezensis</i>	2×10 ⁶	اسیدهیومیک (۶۰٪)، اسیدفلوئیک (۱٪)، پتاسیم محلول (۸٪)، سدیم محلول (۳/۸٪) Humic acid (60%), fulvic acid (1%), soluble potassium (8%), soluble sodium (3.8%)

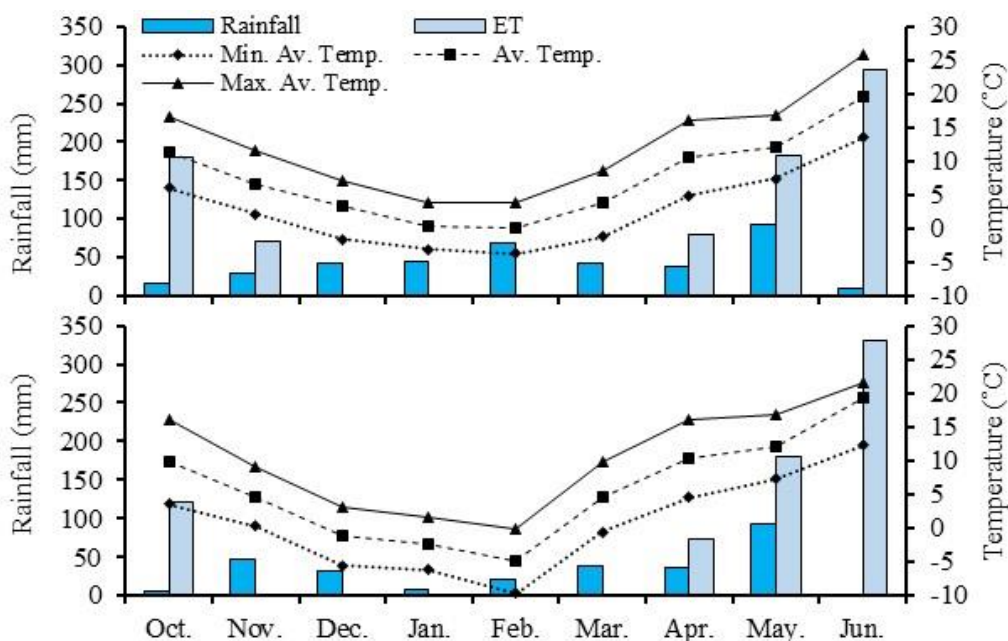
بارندگی نیز دچار تغییرات شدیدی شد؛ به‌طوری‌که مهرماه با کاهش ۶۴ درصدی و بهمن‌ماه با کاهش ۷۰ درصدی بارش مواجه شدند و بارندگی خرداد ماه به صفر رسید. از سوی دیگر، اگرچه تبخیر و تعرق در ماه‌های سرد سال ناچیز بود، اما در خرداد ماه به ۳۳۱ میلی‌متر رسید که افزایش ۱۳ درصدی نسبت به سال قبل را نشان داد.

داده‌های هواشناسی منطقه مراغه در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به این داده‌ها، سال دوم نسبت به سال اول آزمایش سردتر و خشک‌تر بود. مجموع بارندگی سال دوم نسبت به سال اول حدود ۲۶ درصد کاهش داشت و این کاهش عمدتاً در خرداد و سه ماه زمستان رخ داد. علاوه بر کاهش کمی بارش، در سال دوم، الگوی توزیع ماهانه

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 2- Some physical and chemical properties of the studied farm soils

سال Year	بافت Texture	اسیدیته pH	فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K	مواد خنثی‌شونده Total neutralizing value	ماده آلی Organic matter	قابلیت هدایت الکتریکی EC _e (dS.m ⁻¹)
			(mg.kg ⁻¹)		(%)		
2023-2024	لوم رسی Clay loam	7.81	4.4	305	9	1.03	0.721
2024-2025	لوم رسی Clay loam	7.73	4.1	336	8	1.03	0.815



شکل ۱- میانگین دما و بارندگی شهرستان مراغه در دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ (بالا) و ۱۴۰۴-۱۴۰۳ (پایین)

Figure 1- Average temperature and precipitation of Maragheh in two years 2023-2024 (up) and 2024-2025 (bottom)

بذر به‌عنوان کود آغازگر مصرف شد. در طول دوره داشت، تمامی مراقبت‌های زراعی لازم از جمله وجین دستی علف‌های هرز انجام گردید. در مرحله گل‌دهی، بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، تراکم بوته در مترمربع تعیین و تعداد ۱۰ بوته تصادفی از هر کرت به‌طور کامل و همراه با توده خاک اطراف ریشه (به قطر تقریبی ۲۰ سانتی‌متر و عمق ۳۰ سانتی‌متر) از خاک خارج شدند. پس از شست‌وشو، گره‌های ریشه به‌آرامی جدا و مجموع وزن تر آن‌ها برای ۱۰ بوته ثبت گردید.

بعد از آماده‌سازی زمین به‌روش کم‌خاکورزی (خاکورز مرکب)، بذر نخود رقم لانا بعد از بذر مال یا کودهای مورد نظر، با تراکم ۴۰ بذر در مترمربع به‌صورت پاییزه در ۱۸ آبان ماه و به‌صورت بهاره در ۲۶ اسفند توسط کارنده آسکه سه‌محوره ۱۱ ردیفه با آرایش کشت ۵۳-۱۷/۵ سانتی‌متر در تناوب با گندم کشت شد. ابعاد هر یک از کرت‌ها ۵ × ۳۰ متر بود. هم‌زمان با کاشت، مقدار ۴۵ کیلوگرم اوره بر هکتار توسط کارنده و به‌صورت جای‌گذاری در پنج الی شش سانتی‌متری زیر

اقلیمی خاص هر سال قرار گرفته و ثابت نیست. اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت $\times$ بذرمال بر صفات استقرار بوته، حجم ریشه، ارتفاع بوته، عملکرد دلنه و بهره‌وری آب باران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. این یافته‌ها حاکی از آن است که کارایی هر یک از تیمارهای بذرمال در بهبود این صفات، به زمان کاشت (پاییزه یا بهاره) وابسته بود. همچنین اثر متقابل سال $\times$ بذرمال بر حجم ریشه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب باران معنی‌دار بود که بر تغییرپذیری پاسخ گیاه به کودهای زیستی در سال‌های مختلف دلالت دارد. معنی‌داری اثر متقابل سه‌گانه سال $\times$ تاریخ کاشت $\times$ بذرمال بر عملکرد زیستی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب باران، پیچیدگی روابط بین عوامل مورد مطالعه و حساسیت این شاخص‌ها به عوامل مورد بررسی را نشان می‌دهد.

اثر مدیریت کاشت بر استقرار و رشد رویشی گیاه

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمارهای مایکوسوپرایلاس (۲/۴۸ گرم در بوته) و بایوگارد (۲/۳۹ گرم در بوته) بود که در یک گروه آماری قرار گرفتند و به‌طور معنی‌داری برتر از تیمارهای پروبیو۹۶ (۲/۰۲ گرم در بوته)، اسیدهیومیک (۱/۹۷ گرم در بوته) و شاهد (۱/۹۹ گرم در بوته) بودند (شکل ۲). این برتری را می‌توان به اثر هم‌افزایی ترکیبات پیچیده موجود در این دو کود زیستی نسبت داد. باکتری‌های سودمند مایکوسوپرایلاس (ملند *Azotobacter* و *Pseudomonas*) و محرک‌های رشد طبیعی (مانند عصاره جلبک دریایی)، به یک محرک قوی برای توسعه زیست‌توده ریشه تبدیل شده است. علاوه بر آن، این کود با دارا بودن قارچ‌های میکوریزا، شبکه هیفی گسترده‌ای ایجاد می‌کند که حجم خاک در دسترس ریشه را به‌طور مؤثری افزایش داده و جذب آب و عناصر کم‌تحرك مانند فسفر را به‌ویژه در خاک‌های آهکی بهبود می‌بخشد. این یافته‌ها با نتایج کوزولینو و همکاران (Cozzolino et al., 2021) همسو است که نشان دادند، میکروب‌های محرک رشد گیاه (PGPM) به‌تنهایی یا در ترکیب با اسیدهای هیومیک و قارچ‌های میکوریزا، رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را بهبود می‌بخشند. به‌طور مشابه، عملکرد مطلوب تیمار بایوگارد احتمالاً ناشی از همکاری قارچ تریکودرما (که از طریق رقابت با بیمارگرها و ایجاد رابطه همزیستی، سلامت ریشه را تضمین می‌کند) و باکتری *Bacillus velezensis* است که در کنار اسیدهیومیک، یک سیستم یکپارچه دفاعی-تغذیه‌ای را برای گیاه فراهم می‌کند. این نتایج با مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد که نشان دادند، ترکیب باکتری‌های

سپس، طول ریشه اصلی و ریشه‌های جانبی در حالت کشیده به‌وسیله خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. حجم ریشه به‌روش جابه‌جایی آب در استوانه مدرج تعیین گردید. در نهایت، نمونه‌های ریشه به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. پس از رسیدگی کامل و بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، برداشت هر کرت به‌صورت دستی انجام و عملکرد زیستی و عملکرد دانه با توزین تعیین گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد زیستی و بهره‌وری آب باران از تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مجموع بارندگی فصل رشد (میلی‌متر) به دست آمد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ویرایش ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت‌شده (PLSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. پیش از تجزیه مرکب داده‌ها، مفروضات نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها به‌وسیله آزمون شاپیرو-ویلک^۱ و همگنی واریانس خط‌ها بین سال‌ها از طریق آزمون بارتلت^۲ مورد بررسی قرار گرفت و برقراری آن‌ها تأیید شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت بر تمامی صفات مورد مطالعه به‌جز استقرار بوته (تراکم بوته در واحد سطح) (جدول ۳) و وزن ۱۰۰ دانه (جدول ۴) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که به‌دلیل اثر تاریخ کاشت بر فیزیولوژی رشد، توسعه سیستم ریشه و در نهایت عملکرد گیاه است. اثر اصلی سال نیز بر صفات مهمی مانند وزن خشک ریشه، حجم ریشه، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب باران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که به‌علت تفاوت قابل توجه شرایط محیطی در دو سال اجرای آزمایش می‌باشد. اثر اصلی تیمارهای بذرمال زیستی بر استقرار بوته، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، ارتفاع بوته، عملکرد زیستی و شاخص برداشت معنی‌دار بود. باین‌حال، اثر این تیمارها بر عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار نبود که نشان می‌دهد، افزایش عملکرد زیستی لزوماً به انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه (عملکرد دانه) منجر نشده است.

اثر متقابل سال $\times$ تاریخ کاشت نیز بر بسیاری از صفات مورد مطالعه از جمله وزن گره ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب باران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. این تعامل معنی‌دار نشان می‌دهد که پاسخ گیاه به تاریخ کاشت (پاییزه یا بهاره) به‌شدت تحت تأثیر شرایط

1- Shapiro-Wilk

2- Bartlett

تیمارهای پروبیو۹۶، اسیدهیومیک و شاهد حاکی از آن است که کاربرد این مواد به صورت تنها و بدون وجود سازوکارهای هم‌افزایی در فرمولاسیون‌های ترکیبی، تأثیر محسوسی بر افزایش وزن ریشه نداشت (شکل ۲). در این رابطه، زنگ و همکاران (Zeng et al., 2025) گزارش کردند که اگرچه کاربرد تکی ریزجانداران موجب بهبود رشد ریشه گیاه توتون (*Nicotiana tabacum*) شد، اما بیشترین مقادیر وزن خشک ریشه در تیمارهای ترکیبی به دست آمد. آنان مشاهده کردند که تیمار ترکیبی قارچ میکوریزا و باکتری *Pseudomonas* بیشترین تأثیر را در افزایش وزن خشک ریشه نشان داد که برهم‌کنش‌های هم‌افزایی بین ریزجانداران مختلف در دستیابی به حداکثر پتانسیل محرک رشد را تأیید می‌کند.

محرک رشد، قارچ‌های میکوریزا و عوامل کنترل بیولوژیک مانند گونه‌های تریکودرما، یک راهبرد جامع برای تأمین بسته کاملی از مزایا در اختیار گیاه قرار می‌دهد که شامل افزایش زیست‌توده گیاهی، مقاومت به تنش‌های غیرزیستی، کنترل بیولوژیک بیمارگرهای گیاهی و جذب بهتر عناصر غذایی می‌شود (Santoyo et al., 2021). به عنوان مثال، در یک مطالعه، تیمار بذری ترکیبی حاوی باکتری *P. fluorescens* و قارچ‌های تریکودرما و میکوریزا موجب بهبود رشد گیاهی و کاهش بیماری پوسیدگی ریشه کتان (*Gossypium herbaceum*) در شرایط مزرعه‌ای شد (Sain et al., 2023) که اثربخشی رویکرد ترکیبی را در مدیریت یکپارچه تأمین سلامت و بهبود رشد گیاه تأیید می‌کند. در مقابل، عملکرد مشابه و پایین‌تر

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر تاریخ کاشت و بذرمال‌های مختلف بر استقرار و ارتفاع بوته و ویژگی‌های ریشه نخود
دیم در طی دو سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Table 3- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of sowing date and different seed treatments on plant establishment and height, and root traits of rainfed chickpea in two years 2023-2024 and 2024-2025

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	استقرار بوته Plant establishment	وزن گره ریشه Root nodule weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume	ارتفاع بوته Plant height
سال Year (Y)	1	46.82	0.22	10.91**	4.94**	0.02
بلوک (سال) Block (Year)	4	15.73	0.15	0.04	0.93	4.63
تاریخ کاشت Sowing date (A)	1	22.82	4.56**	13.53**	44.41**	98.82**
تاریخ کاشت × سال Y × A	1	6.02	0.55*	0.58*	2.55**	79.35**
تاریخ کاشت × بلوک (سال) A × Block (Year)	4	21.57	0.10	0.07	0.06	5.73
بذرمال Seed treatments (B)	4	293.52**	0.19	0.72**	1.65**	27.65**
سال × بذرمال Y × B	4	20.48	0.06	0.23	1.17**	6.27
تاریخ کاشت × بذرمال A × B	4	167.40**	0.10	0.12	0.37**	37.32**
سال × تاریخ کاشت × بذرمال Y × A × B	4	7.93	0.09	0.01	0.19**	11.77
خطا Error	32	8.61	0.10	0.11	0.01	5.67
ضریب تغییرات C.V (%)		13.87	13.48	15.14	2.84	5.48

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

* and **: indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

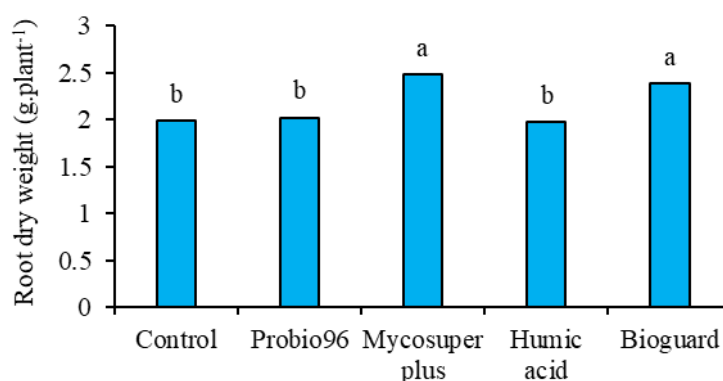
جدول ۴- تجربه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر تاریخ کاشت و بذرمال‌های مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود دیم در طی دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۳-۱۴۰۴

Table 4- Combined analysis of variance (mean of squares) of the effect of sowing date and different seed treatments on yield and yield components of rainfed chickpea in 2023-2024 and 2024-2025

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	بهره‌وری آب باران Rainwater use efficiency
سال Year (Y)	1	4420563.27**	1209272.07**	126.15**	2.82	1.24**
بلوک (سال) Block (Year)	4	33114.22	12109.87	6.98	3.07	0.08
تاریخ کاشت Sowing date (A)	1	2326176.60**	277168.07**	132.02**	4.82	2.06**
تاریخ کاشت × سال Y × A	1	791661.07**	170666.67**	2.82	0.42	1.06**
تاریخ کاشت × بلوک (سال) A × Block (Year)	4	20137.58	5249.67	30.42	1.07	0.04
بذرمال Seed treatments (B)	4	65881.28*	4153.81	46.36**	1.39	0.04
سال × بذرمال Y × B	4	96091.39**	19915.61**	2.78	0.19	0.19**
تاریخ کاشت × بذرمال A × B	4	26735.06	18497.11**	16.89	0.86	0.13**
سال × تاریخ کاشت × بذرمال Y × A × B	4	84836.11**	22751.71**	5.61	0.13	0.16**
خطا Error	32	17825.17	3455.81	11.60	1.88	0.03
ضریب تغییرات C.V (%)		9.44	9.39	7.70	3.99	9.00

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می باشد.

* and **: indicate significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively



شکل ۲- اثر بذرمال‌های مورد مطالعه بر وزن خشک ریشه

Figure 2- Effect of the studied seed treatments on root dry weight

تشکیل گره‌های ریشه را می‌توان به توسعه بهتر سیستم ریشه و فراهم بودن شرایط محیطی مطلوب‌تر (دما و رطوبت) برای فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در این تاریخ کاشت نسبت داد. باین‌وجود، یک اثر متقابل قوی بین سال و تاریخ کاشت نیز مشاهده

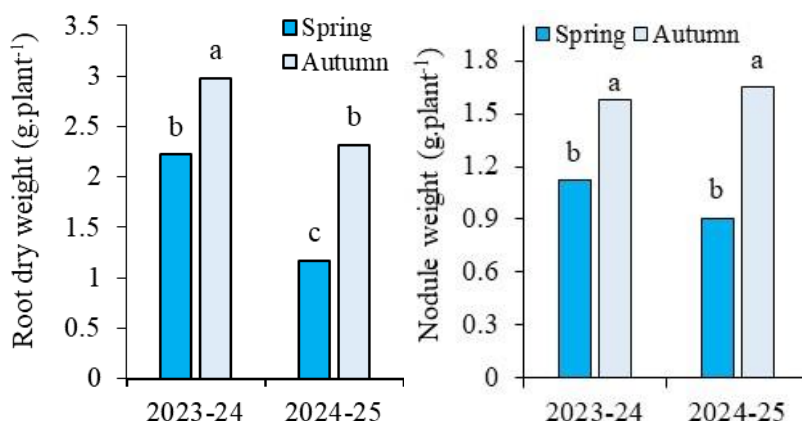
تاریخ کاشت به‌عنوان یک عامل اصلی، تأثیر چشمگیری بر رشد ریشه داشت، به‌طوری‌که کشت پاییزه به‌طور میانگین در هر دو سال، برتری معنی‌داری را نسبت به کشت بهاره در صفات وزن خشک ریشه و وزن گره‌های ریشه نشان داد (شکل ۳). برتری کشت پاییزه در

شد. بیشترین وزن خشک ریشه (۲/۹۷ گرم در بوته) مربوط به کشت پاییزه در سال اول (۱۴۰۳-۱۴۰۲) بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت پاییزه در سال دوم (۲/۳۲ گرم در بوته) و به‌مراتب بیشتر از کشت بهاره در هر دو سال (۲/۲۲ و ۱/۱۷ گرم در بوته به‌ترتیب برای سال اول و دوم) بود. این روند در مورد وزن گره‌های ریشه نیز تکرار شد، به‌طوری‌که کشت پاییزه در هر دو سال با مقادیر ۱/۶۵ و ۱/۵۸ گرم در بوته در گروه برتر قرار گرفت؛ درحالی‌که کشت بهاره در دو سال با مقادیر ۱/۲۲ و ۰/۹۱ گرم در بوته در رده‌های پایین‌تر جای گرفتند. این الگوی تغییرات نشان می‌دهد که کشت پاییزه با ایجاد دوره رشد طولانی‌تر و استفاده کارآمدتر از رطوبت زمستانه، پتانسیل توسعه سیستم ریشه و تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را به‌طور پایدارتری افزایش داد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2024) با بیان اینکه سیستم ریشه به‌عنوان اندام اصلی زمستان‌گذرانی گیاه شناخته می‌شود، تأکید کردند که هرچه کاشت زودتر انجام شود، سیستم ریشه گیاه قطورتر شده و مواد مغذی بیشتری جذب و ذخیره می‌کند و این ذخایر ریشه‌ای می‌تواند عملکرد را در مراحل بعدی رشد افزایش دهد. کاهش مقادیر در سال دوم را می‌توان عمدتاً به شرایط پرتنش از جمله کاهش بارش و افزایش دما در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ نسبت داد. بااین‌حال، حتی تحت این شرایط تنش نیز کشت پاییزه همچنان برتری خود را نسبت به کشت بهاره حفظ کرد که حاکی از سازگاری بالاتر و مقاومت بهتر این نظام کشت به تنش‌های محیطی در منطقه مورد مطالعه است.

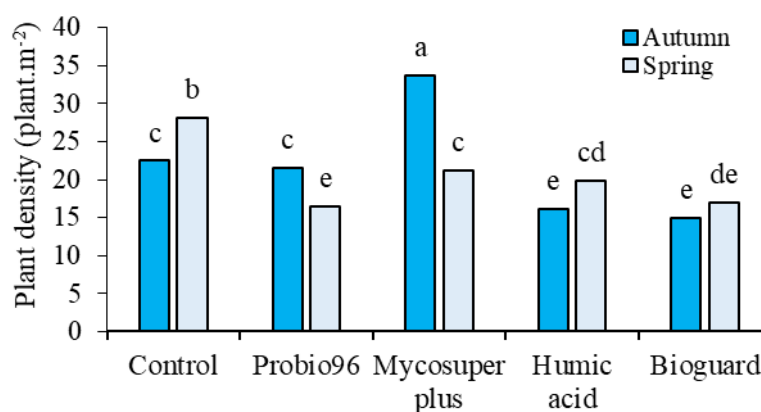
در تاریخ کاشت بهاره، بیشترین تراکم بوته (۲۸ بوته در مترمربع) به‌طور غیرمنتظره‌ای متعلق به شاهد بود که از نظر آماری برتر از تیمارهای پروبیو ۹۶ و بایوگارد (با ۱۷ بوته در مترمربع) بود (شکل ۴). این نتایج را می‌توان با دو سازوکار تفسیر کرد: اولاً، در شرایط تنش‌زای کشت بهاره (دوره رشد کوتاه‌تر و تنش گرمایی آخر فصل)، جمعیت‌های میکروبی بومی خاک ممکن است سازگاری اکولوژیک بهتری داشته باشند (Prudent et al., 2020). دوماً و شاید مهم‌تر، ترکیبات همراه و مواد شیمیایی موجود در فرمولاسیون برخی از بذرمال‌ها (مانند نمک‌های محلول، مواد نگهدارنده یا غلظت‌های بالای اسیدهای آلی) می‌توانند به‌طور بالقوه و به‌صورت موضعی یک ریزمحیط^۱ دارای تنش اسمزی یا حتی سمیت خفیف در اطراف دانه در

حال جوله‌زنی ایجاد کنند (Afzal et al., 2020). این وضعیت در شرایطی که گیاهچه در تلاش برای استقرار تحت تنش‌های رطوبتی و دمایی است، می‌تواند به یک عامل محدودکننده اضافی تبدیل شده و به‌طور مستقیم درصد جوانه‌زنی و استقرار اولیه را کاهش دهد. در این رابطه، محمد و همکاران (Muhammad et al., 2024) به این نتیجه رسیدند که تعامل‌های گیاه-خاک-ریزجاندار تحت تنش‌های محیطی بازآرایی می‌شوند؛ میکروبیوم بومی که پیش‌تر با شرایط محلی تطابق یافته بود، می‌تواند عملکرد گیاه را در مواجهه با تنش حفظ کند یا سریع‌تر بازسازی نماید. بنابراین، وقتی دوره رشد، کوتاه و دمای خاک بالا است، تلقیح‌های خارجی که برای شرایط متفاوت فرموله شده‌اند، ممکن است که نتوانند هم‌زمان با نیازهای فیزیولوژیک گیاه جوان هماهنگ شده و در نتیجه نمونه شاهد (بومی) تراکم بالاتری نشان دهد. در مقابل، در تاریخ کاشت پاییزه که شرایط محیطی برای جوانه‌زنی و استقرار اولیه ملایم‌تر است، این اثرات منفی بالقوه خنثی شده و مزایای واقعی ریزجانداران برجسته می‌شود. در این شرایط، تیمار میکوسوپرپلاس با ۳۴ بوته در مترمربع به‌طور معنی‌داری برتر از شاهد (۲۳ بوته در مترمربع) بود که نشان می‌دهد، قارچ‌های میکوریزا توانسته‌اند در غیاب تنش‌های شدید، رابطه همزیستی مؤثری برقرار کنند. نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که فعال‌سازی روابط میکوریزا در شرایط محیطی ملایم‌تر (دما و رطوبت مناسب برای جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه) منجر به توسعه شبکه‌های هیفی گسترده و افزایش جذب آب و عناصر کم‌تحرک مانند فسفر می‌شود؛ این مزیت در مرحله استقرار اولیه موجب افزایش تراکم بوته و رشد ریشه می‌شود (Wahab et al., 2023). عملکرد ضعیف تیمارهای اسیدهیومیک و بایوگارد در کشت پاییزه نیز می‌تواند علاوه بر مسائلی سازگاری میکروبی، تا حدی به حساسیت بیشتر فرمولاسیون آن‌ها به شرایط خاص محیطی مرتبط باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داده‌اند که نه تنها خود ریزجانداری موجود در کود زیستی، بلکه حامل‌ها و روش تحویل (مانند ریزکپسوله‌سازی^۲، نوع ماده چسباننده^۳ و غلظت مواد آلی و معدنی) نیز اثربخشی کود زیستی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که برخی از فرمولاسیون‌ها ممکن است در شرایط مرطوب و خنک بهتر عمل کنند و در برخی از شرایط ناکارآمد یا حتی مضر واقع شوند (Javed et al., 2022).

1- Microenvironment
2- Microencapsulation
3- Binder



شکل ۳- اثر متقابل سال و تاریخ کاشت بر وزن گره‌ها و وزن خشک ریشه
Figure 3- Interaction effect of year and sowing date on nodule weight and root dry weight



شکل ۴- اثر متقابل بذرمال و تاریخ کاشت بر تراکم بوته
Figure 4- Interaction effect of seed treatment and sowing date on plant density

هم‌افزایی میکوریزا با سایر عوامل سودبخش مانند باکتری‌های محرک رشد یا قارچ‌های تریکودرما وقتی به‌طور هم‌زمان حضور دارند، منجر به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه از جمله حجم و طول ریشه می‌شود؛ این هم‌افزایی در شرایط محیطی مساعد (دما و رطوبت مناسب در مرحله استقرار) بیشینه و آشکار است (Li et al., 2025). در مقابل، در سال دوم (۱۴۰۳-۱۴۰۴) که با تنش خشکی و دمای بالاتر همراه بود، این برتری کاملاً از بین رفت و حتی در برخی از تیمارها حجم ریشه به کمتر از سطح شاهد نیز رسید. به‌ویژه، کمترین حجم ریشه در این مطالعه (۴/۲ سانتی‌مترمکعب) به‌طور مشترک در تیمارهای پروبیو۹۶ و اسیدهیومیک تحت کشت بهاره در سال دوم ثبت شد. این افت شدید عملکرد، حساسیت باکتری‌های محرک رشد (مانند آنچه در پروبیو۹۶ وجود دارد) و همچنین ناکارآمدی مواد آلی مانند اسیدهیومیک را در شرایط تنش شدید محیطی و در یک تاریخ کاشت نامساعد (بهاره) به‌وضوح نشان می‌دهد. جالب اینکه در سال پرتنش (سال دوم)، گیاهان شاهد (بدون بذرمال) در برخی از

براساس نتایج، یک اثر متقابل سه‌گانه پیچیده و معنی‌دار بین سال، تاریخ کاشت و بذرمال بر حجم ریشه مشاهده شد (شکل ۵) که نشان‌دهنده وابستگی شدید عملکرد ریزجانداران به شرایط محیطی است. در سال اول با شرایط نسبتاً مطلوب (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، بیشترین حجم ریشه (۵/۶ سانتی‌مترمکعب) به‌طور مشترک در تیمارهای بایوگارد و مایکوسوپرپلاس تحت کشت پاییزه مشاهده شد. این موضوع نشان می‌دهد که در نبود تنش‌های شدید، ترکیبات میکروبی پیچیده اعم از تعامل باکتری-قارچ در بایوگارد و قارچ‌های میکوریز در مایکوسوپرپلاس می‌توانند با ایجاد هم‌افزایی، بیشترین سود را برای توسعه سیستم ریشه داشته باشند (Begum et al., 2019). چاندراسکاران (Chandrasekaran, 2022) گزارش کرد که پاسخ ریشه به تلقیح‌های میکروبی بسیار وابسته به شرایط محیطی است؛ به‌طور خاص، شدت تنش خشکی یا دما، فصل رشد و شرایط خاک می‌توانند جهت و اندازه اثر تلقیح‌ها (مثبت، خنثی یا حتی منفی) را تعیین کنند. علاوه بر آن، تحقیقات تجربی نشان داده‌اند که رفتار

فیتوهورمون‌های محرک رشد و مواد هیومیک با بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی ریزوسفر، در مجموع بستری برای رشد طولی مطلوب فراهم کرده‌اند. در مقابل، در تاریخ کاشت بهاره، هیچ‌یک از تیمارهای بذرمال نتوانستند برتری معنی‌داری نسبت به شاهد در زمینه ارتفاع بوته ایجاد کنند که مجدداً بر وابستگی شدید کارایی این نهاده‌ها به شرایط محیطی مربوط می‌شود. این یافته‌ها با گزارش‌های پیشین هم‌خوانی دارد که بیان کرده‌اند، واکنش گیاهان لگوم به کودهای زیستی به عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی، ترکیب و سازگاری ریزجاندارها و خصوصیات خاک وابسته است (Begum et al., 2019; Fan et al., 2017).

الگوی نهایی عملکرد دانه به‌طور کامل، منطق بیولوژیک مشاهده‌شده در مراحل رشد اولیه و رویشی را تأیید کرد و نقش حیاتی هماهنگی بین مدیریت، محیط و نهاده را در دستیابی به پتانسیل عملکرد نشان داد. یک همبستگی قوی بین عملکرد زیستی و عملکرد دانه مشاهده شد که حاکی از تخصیص کارآمد مواد فتوسنتزی به دلته در تیمارهای برتر است. نقطه اوج این هم‌افزایی در کشت پاییزه سال اول (۱۴۰۳) و در تیمار بایوگارد مشاهده شد که با بیشترین عملکرد دانه (۱۰۸۴ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۸) و عملکرد زیستی (۲۳۳۷ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۹) همراه بود. این نتیجه، پیامد مستقیم توسعه مطلوب سیستم ریشه است که در بخش‌های قبل برای این تیمار گزارش شد. شمیسی و همکاران (Shomeisi et al., 2023) در پژوهشی نشان دادند که تلقیح بذر کینوا با قارچ تریکودرما^۱ و باکتری *Bacillus subtilis* می‌تولند عملکرد دلته را به ترتیب حدود ۲۷ و ۱۹ درصد افزایش دهد. در مقابل، کمترین عملکردها (۴۰۵ کیلوگرم در دلته و ۹۴۱ کیلوگرم در زیست‌توده) نیز متعلق به تیمار بایوگارد بود، اما این بار در کشت بهاره سال دوم (۱۴۰۴). این تضاد قابل توجه، حساسیت زیاد و وابستگی شدید برخی از کودهای زیستی به شرایط محیطی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که در شرایط مطلوب، عملکرد مطلوبی نیز دارند، اما در شرایط تنش، می‌توانند حتی از تیمار شاهد نیز عملکرد ضعیف‌تری داشته باشند. نیتو-جاکوبو و همکاران (Nieto-Jacobo et al., 2017) بیان کردند که شرایط محیطی از جمله تنش می‌تواند با تحت تأثیر قرار دادن ترشح ترکیبات فعال مانند هورمون‌ها، شبه‌هورمون‌ها و آنزیم‌ها، در ریزجاندارانی مانند تریکودرما منجر به ایجاد اثرهای متفاوت بر رشد و عملکرد گیاه شود. در مقابل، تیمارهایی مانند مایکوسوپرپلاس و در حدی پروبیو۹۶، اگرچه در شرایط ایده‌آل به اوج عملکرد بایوگارد نرسیدند، اما در شرایط مختلف، پایداری عملکرد بسیار بیشتری از خود نشان دادند. این پایداری

موارد سازگاری بهتری از خود نشان دادند. مطالعات نشان می‌دهند که مزایای تلقیح AMF و بعضی از باکتری‌های محرک رشد در مواجهه با خشکی شدید کاهش می‌یابد و در سطوح بالا یا طولانی‌مدت تنش، پاسخ گیاهان به تلقیح‌ها ناپایدار می‌شود و در برخی شرایط، پاسخ‌ها نه تنها کاهش می‌یابند، بلکه می‌توانند به سطوحی پایین‌تر از شاهد نیز برسند؛ چرا که عملکرد ریزجانداران و هم‌چنین ظرفیت فتوسنتزی گیاه محدود می‌شود و هم‌افزایی‌های مفید پیشین از بین می‌رود (Chandrasekaran, 2022). این پدیده را می‌توان در چارچوب تئوری هزینه-فایده^۱ در روابط هم‌زیستی تبیین کرد. براساس این تئوری، گیاه میزبان در ازای خدمات دریافت‌شده از ریزجانداران (مانند جذب آب و مواد غذایی)، بخشی از کربن و انرژی فتوسنتزی خود را به آن‌ها اختصاص می‌دهد (Bennett & Groten, 2022). در شرایط تنش شدید (مانند سال دوم) که هم‌فعالیت ریزجانداران و هم فتوسنتز گیاه به‌طور هم‌زمان محدود می‌شود، هزینه حمایت و نگهداری جمعیت میکروبی ارائه‌شده ممکن است بر فایده حاصل از آن پیشی بگیرد. در چنین شرایطی، گیاهان شاهد که پرداخت این هزینه اضافی در این شرایط به ضررشان تمام می‌شود، می‌توانند منابع انرژی محدود خود را به‌طور کامل بر سازوکارهای ذاتی تحمل تنش متمرکز کنند که این امر می‌تولند به‌طور موقت به برتری ظاهری آن‌ها بینجامد. بنابراین، کارایی بذرمال‌های زیستی همیشگی و ثابت نبوده، بلکه کاملاً وابسته به شرایط است.

پاسخ اجزای عملکرد و عملکرد دلته به تیمارهای مورد مطالعه

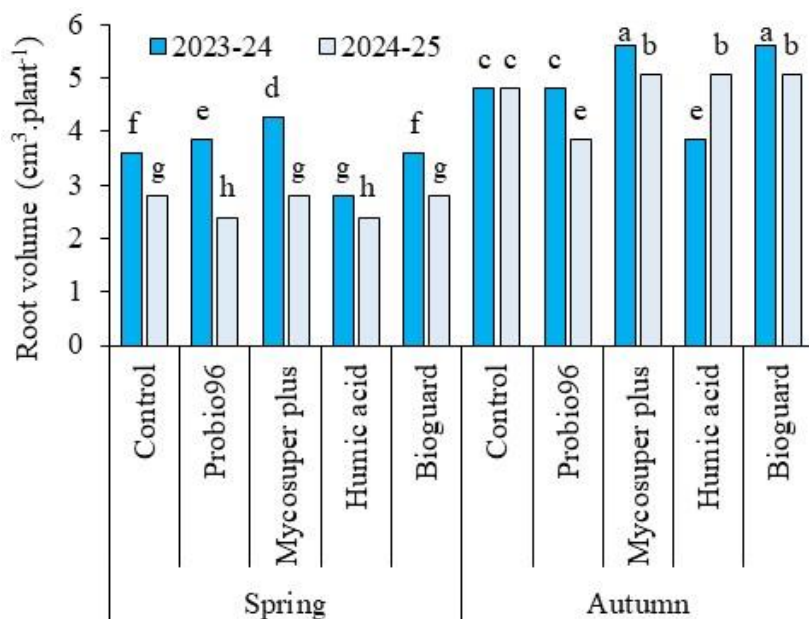
به‌طور کلی، در هر دو سال، کشت پاییزه نسبت به کشت بهاره بوته‌های بلندتری ایجاد کرد و بیشترین میانگین ارتفاع بوته (۴۵/۹ سانتی‌متر) در سال دوم مشاهده شد (شکل ۶). این برتری احتمالاً ناشی از دوره رشد طولانی‌تر و توسعه بهتر سیستم ریشه در این تاریخ کاشت است که در بخش قبل به‌طور مفصل بیان شد و با یافته‌های بگوم و همکاران (Begum et al., 2019) نیز همسو است. با این حال، در تاریخ کاشت پاییزه، تیمار مایکوسوپرپلاس با رسیدن به میانگین ارتفاع ۴۹ سانتی‌متر، به‌طور معنی‌داری از تمامی تیمارها از جمله شاهد (۴۲ سانتی‌متر) پیشی گرفت (شکل ۷). این نتیجه، همسو با برتری این تیمار در صفات ریشه و تراکم بوته در کشت پاییزه است و می‌توان آن را به اثر هم‌افزایی بین اجزای تشکیل‌دهنده آن نسبت داد؛ به این صورت که قارچ‌های میکوریزا و تریکودرما با بهبود جذب آب و عناصر غذایی در خاک‌های سرد کشت پاییزه، باکتری‌های سودمند با تولید

1- Cost-Benefit

2- *Trichoderma asperelloides*

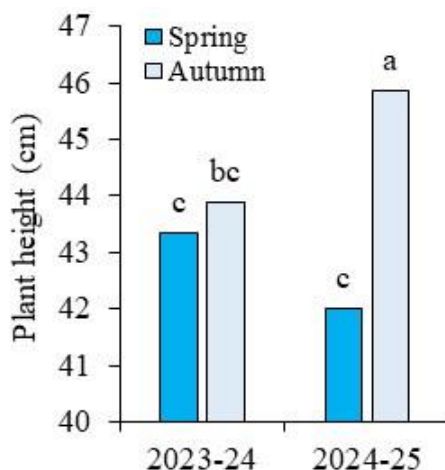
ریسک و تضمین عملکرد پایدار و قابل اطمینان در شرایط غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی باشد، مایکوسوپرپلاس به‌عنوان یک راهکار مدیریتی باثبات‌تر و کم‌خطرتر برای ایجاد یک سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر قابل توصیه است.

به‌ویژه برای مایکوسوپرپلاس، احتمالاً ناشی از ماهیت رابطه همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه است که در برابر نوسانات محیطی مقاومت بیشتری دارد. در نتیجه، می‌توان چنین استنباط کرد که اگر هدف، دستیابی به حداکثر عملکرد مطلق در یک سال نرمال است، بایوگارد می‌تواند در کشت پاییزه گزینه بهتری باشد. اما اگر هدف کاهش



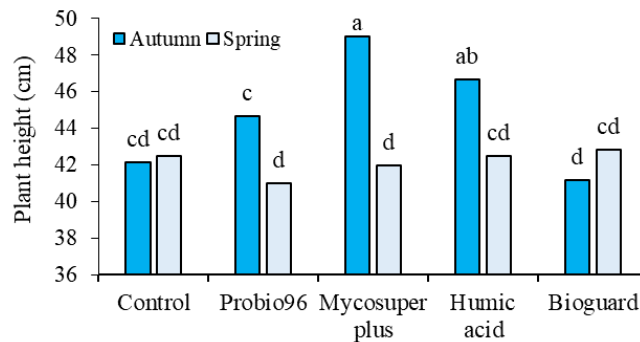
شکل ۵- اثر متقابل سال، تاریخ کاشت و بذرمال بر حجم ریشه

Figure 5- Interaction effect of year, sowing date and seed treatment on root volume



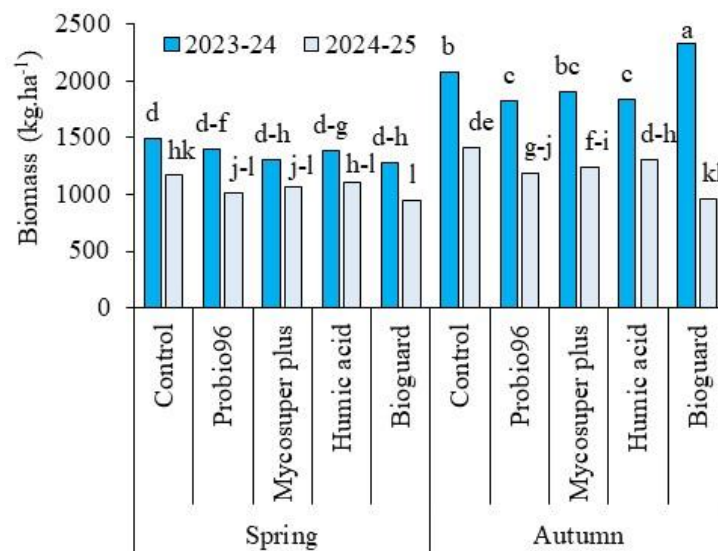
شکل ۶- اثر متقابل سال و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته

Figure 6- Interaction effect of year and sowing date on plant height



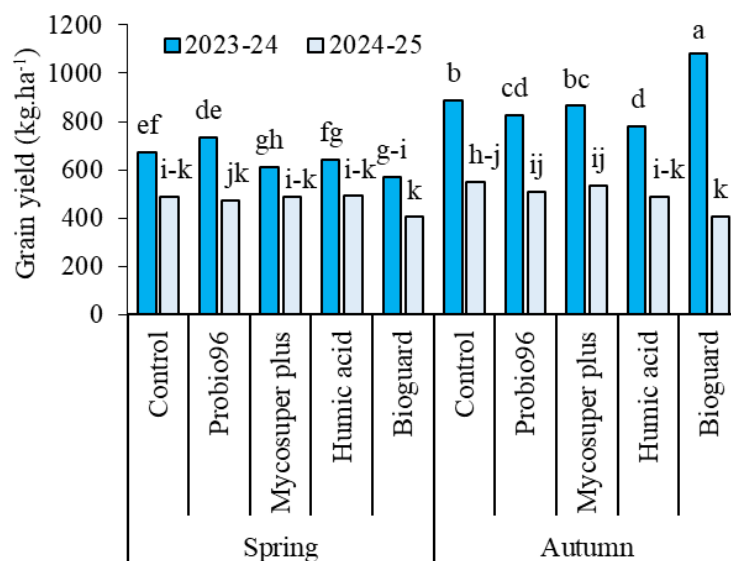
شکل ۷- اثر متقابل بذرمال و تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته

Figure 7- Interaction effect of seed treatment and sowing date on plant height



شکل ۸- اثر متقابل سال، تاریخ کاشت و بذرمال بر عملکرد زیستی

Figure 8- Interaction effect of year, sowing date, and seed treatment on biomass



شکل ۹- اثر متقابل سال، تاریخ کاشت و بذرمال بر عملکرد دانه

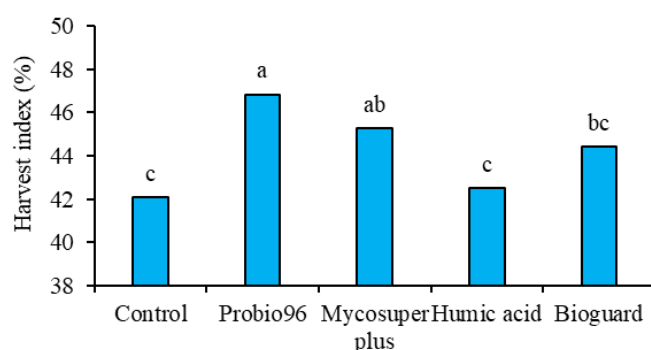
Figure 9- Interaction effect of year, sowing date and seed treatment on grain yield

کارایی مصرف منابع و پایداری سیستم

بررسی مقایسه میانگین شاخص برداشت نشان داد که تیمار پروبیو ۹۶ با وجود اینکه تأثیر محدودی بر افزایش زیست‌توده ریشه داشت (بخش‌های قبل)، توانست به‌طور معنی‌داری بالاترین شاخص برداشت (۴۶/۸ درصد) را به خود اختصاص دهد (شکل ۱۰). این یافته‌ها نشان می‌دهد که احتمالاً باکتری *Bacillus velezensis* موجود در این بذرمال، فیزیولوژی گیاه را به‌گونه‌ای تنظیم کرده که تخصیص مواد فتوسنتزی به‌طور کارآمدتری به سمت تولید دانه (بخش اقتصادی) سوق یابد. این امر احتمالاً از طریق تولید هورمون‌های خاص (مانند سیتوکینین) یا بهبود جذب عناصر کم‌مصرف که نقش مهمی در فرآیند پُر شدن دانه دارند، محقق شده است. در مقابل، اگرچه تیمار بایوگارد در تولید زیست‌توده کل (عملکرد زیستی) و توسعه ریشه برتر بود، اما شاخص برداشت پایین‌تر آن (۴۴/۴ درصد) حاکی از آن است که این تیمار، سهم بیشتری از کربن را به توسعه اندام‌های رویشی و ریشه اختصاص داده و در نتیجه، کارایی تبدیل آن به دانه نسبت به پروبیو ۹۶

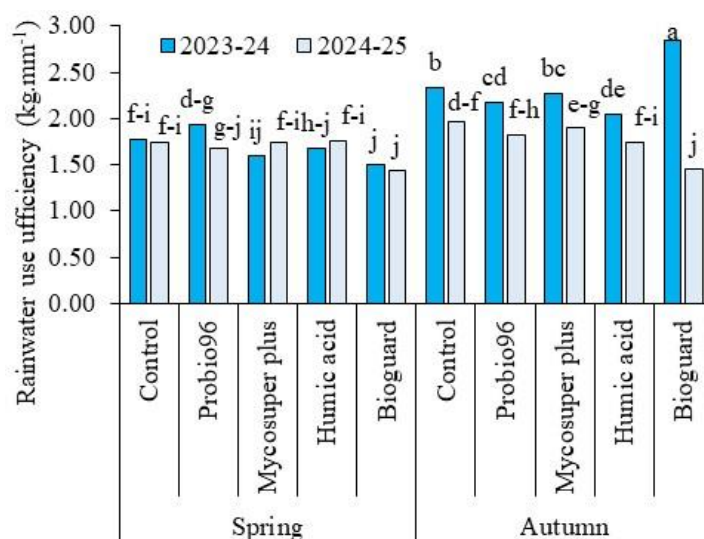
کمتر بود. عملکرد قوی تیمار مایکوسوپرپلاس (۴۵/۳ درصد) نیز به نقش قارچ میکوریزا در تأمین پایدار آب و فسفر به‌عنوان دو عامل تعیین‌کننده در فرآیند پُر شدن دانه مرتبط است.

بیشترین بهره‌وری (۲/۸۴ کیلوگرم بر میلی‌متر) در اوج هم‌افزایی بین کشت پاییزه، سال مطلوب (۱۴۰۳) و تیمار بایوگارد حاصل شد (شکل ۱۱) که نقطه عطف کارایی تبدیل یک منبع محدود و حیاتی (آب باران) به محصول است. بااین‌حال، عملکرد خوب تیمارهای شاهد و مایکوسوپرپلاس در همین شرایط نشان می‌دهد که در یک سال خوب و با تاریخ کاشت مناسب، حتی سیستم‌های کم‌داخلت (شاهد) یا باثبات (مایکوسوپرپلاس) نیز می‌توانند بهره‌وری بالایی داشته باشند. این در حالی است که عملکرد ضعیف و ناپایدار بایوگارد در سال پرتنش (۱۴۰۴)، همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، در بهره‌وری آب آن نیز منعکس گردید و این تیمار در شرایط تنش نتوانست از آب موجود به بهره‌وری مناسبی برسد.



شکل ۱۰- اثر بذرمال‌های مورد مطالعه بر شاخص برداشت

Figure 10- Effect of the studied seed treatments on harvest index



شکل ۱۱- اثر متقابل سال، تاریخ کاشت و بذرمال بر بهره‌وری آب باران

Figure 11- Interaction effect of year, sowing date, and seed treatment on rainwater use efficiency

نتیجه‌گیری

کشت پاییزه به‌عنوان یک راهبرد مدیریتی پایه، با فراهم آوردن دوره رشد طولانی‌تر، توسعه مطلوب‌تر سیستم ریشه و استفاده کارآمد از نزولات آسمانی، برتری خود را در تمامی مراحل رشد نسبت به کشت بهار اثبات نمود. در این میان، عملکرد کودهای زیستی کاملاً وابسته به شرایط محیطی بود، به‌طوری‌که نخود تیمارشده با بایوگارد در شرایط مساعد (سال اول) در کشت پاییزه به اوج عملکرد رسید، اما در سال پرتنش، بیشترین حساسیت و کاهش عملکرد را نشان داد. در مقابل، تیمار مایکوسوپرپلاس با ایجاد تعادل بین عملکرد و پایداری و تیمار پروبیو۹۶ با بیشترین کارایی در تخصیص ماده خشک به دانه (شاخص برداشت)، به‌عنوان گزینه‌های مطمئن‌تر و کم‌خطرتر برای شرایط غیرقابل پیش‌بینی اقلیمی شناخته شدند. بنابراین، بر مبنای این

یافته‌ها، تلفیق کشت پاییزه با کودهای زیستی دارای سازوکار عمل پایدار (مانند مایکوسوپرپلاس) به‌عنوان یک راهکار عملی و مطمئن برای افزایش بهره‌وری و تضمین تولید پایدار نخود دیم در شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

این مقاله از نتایج پروژه تحقیقاتی با کد مصوب «۱۵-۱۵-۴۷-۰۵۷۰-۰۲۰۸» استخراج شده که با همکاری شرکت مکانیزاسیون کشاورزی برکت سبز مراغه (به‌صورت سفارشی) در مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور اجرا شده است و نویسندگان صمیمانه از حمایت‌های مالی و فنی این مؤسسه و شرکت قدردانی می‌نمایند.

References

- Afzal, I., Javed, T., Amirkhani, M., & Taylor, A. G. (2020). Modern seed technology: Seed coating delivery systems for enhancing seed and crop performance. *Agriculture*, 10(11), 526. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110526>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., & 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>
- Bennett, A. E., & Groten, K. (2022). The costs and benefits of plant–arbuscular mycorrhizal fungal interactions. *Annual Review of Plant Biology*, 73(1), 649-672. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-124504>
- Casenave, E. C., & Toselli, M. E. (2007). Hydropriming as a pre-treatment for cotton germination under thermal and water stress conditions. *Seed Science and Technology*, 35(1), 88-98. <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.1.08>
- Chandrasekaran, M. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: a meta-analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), 660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>
- Cheng, Y., Jiang, X., He, X., Wu, Z., Lv, Q., Zhao, S., Jia, B., Cao, Y., Liu, J., Luan, H., & Liu, J. (2025). *Bacillus velezensis* 20507 promotes symbiosis between *Bradyrhizobium japonicum* USDA110 and soybean by secreting flavonoids. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1572568. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1572568>
- Cozzolino, V., Monda, H., Savy, D., Di Meo, V., Vinci, G., & Smalla, K. (2021). Cooperation among phosphate-solubilizing bacteria, humic acids and arbuscular mycorrhizal fungi induces soil microbiome shifts and enhances plant nutrient uptake. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00230-x>
- Dubey, S. C., Tripathi, A., & Singh, B. (2012). Combination of soil application and seed treatment formulations of *Trichoderma* species for integrated management of wet root rot caused by *Rhizoctonia solani* in chickpea (*Cicer arietinum*). *Indian Journal of Agriculture Science*, 82(4), 357-364. <https://doi.org/10.56093/ijas.v82i4.16649>
- Fan, B., Blom, J., Klenk, H. P., & Borriss, R. (2017). *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus velezensis*, and *Bacillus siamensis* form an “operational group *B. amyloliquefaciens*” within the *B. subtilis* species complex. *Frontiers in Microbiology*, 8, 22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00022>
- Ghorbani, A., Jalilian, J., & Amirnia, R. (2013). The Effects of seed priming and superabsorbent on some quantity and quality characteristics of Kaboli chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Research in Field Crop Journal*, 1(1), 44-53. (In Persian)
- Javed, T., Afzal, I., Shabbir, R., Ikram, K., Zaheer, M. S., Faheem, M., Amirkhani, M., Taylor, A. G. & Iqbal, J. (2022). Seed coating technology: An innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 536-545. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.003>

- Javidi, S., Azizi, M., & Yaghoobi, S. R. (2024). Evaluating the efficacy of biological and organic fertilizers in increasing soybean yield. *Karafan Journal*, 20(4), 391-406. (In Persian)
- Li, J., Zhou, L., Chen, G., Yao, M., Liu, Z., Li, X., Xiang, D., Wang, K., Jiang, S., & Chen, X. (2025). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance drought resistance and alter microbial communities in maize rhizosphere soil. *Environmental Technology & Innovation*, 37, 103947. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103947>
- Muhammad, A., Kong, X., Zheng, S., Bai, N., Li, L., Khan, M. H. U., Gao, N., & Zhang, Z. (2024). Exploring plant-microbe interactions in adapting to abiotic stress under climate change: A review. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1482739. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1482739>
- Nieto-Jacobo, M. F., Steyaert, J. M., Salazar-Badillo, F. B., Nguyen, D. V., Rostás, M., Braithwaite, M., & Mendoza-Mendoza, A. (2017). Environmental growth conditions of *Trichoderma* spp. affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. *Frontiers in Plant Science*, 8, 102. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00102>
- Prudent, M., Dequiedt, S., Sorin, C., Girodet, S., Nowak, V., Duc, G., Wolde, G., Tena, W., & Tamiru, T., & Maron, P. A. (2020). The diversity of soil microbial communities matters when legumes face drought. *Plant, Cell & Environment*, 43(4), 1023-1035. <https://doi.org/10.1111/pce.13712>
- Rani, A., Devi, P., Jha, U. C., Sharma, K. D., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1759. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01759>
- Rocha, I., Duarte, I., Ma, Y., Souza-Alonso, P., Látr, A., Vosátka, M., Buttrós, V. H., Pasqual, M., Dória, J., & Oliveira, R. S. (2019). Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi for improved field production of chickpea. *Agronomy*, 9(8), 471. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080471>
- Sabaghpour, H., Mahmoudi, A. A., Saeed, A., Kamel, M., & Malthora, R. S. (2006). Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. *Indian Journal of Crop Science*, 1, 70-73.
- Sain, S. K., Dewasi, H., & Singh, A. (2023). Combined application of effective *Trichoderma*, *Pseudomonas* and *Arbuscular mycorrhiza* spp. reduced soil-borne diseases and boosted growth in cotton. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 94. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00739-3>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 219. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Shomeisi, A., Khodaei Joghian, A., Lotfi Jalal- Abadi, A., & Gharineh, M. H. (2023). Assessing yield response of quinoa to sugarcane residue compost and *Trichoderma asperelloides* fungi and *Bacillus subtilis* bacteria inoculation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), 83-97. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.48683.2760>
- Singh, P., Vaishnav, A., Liu, H., Xiong, C., Singh, H. B., & Singh, B. K. (2023). Seed biopriming for sustainable agriculture and ecosystem restoration. *Microbial Biotechnology*, 16, 2212-2222. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14322>
- Valizadeh, S., Pouryousef Miandoab, M., & Alizadeh, K. (2024). The effect of three autumns, dormant and spring seeding dates on chickpea grain yield and weed interference under West Azerbaijan dryland conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 12(2), 235-248. (In Persian).
- Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Ahmed, J., Kara, N., & Reddy, S. P. (2023). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in regulating growth, enhancing productivity, and potentially influencing ecosystems under abiotic and biotic stresses. *Plants*, 12(17), 3102.
- Wang, Y., Xie, J., Sun, Z., Wang, Q., & Yu, L. (2024). Effects of sowing dates and phosphorus application on seed yield and yield components of alfalfa. *Legume Research: An International Journal*, 47(9), 152-164. <https://doi.org/10.18805/LRF-810>
- Zeng, W., Xiang, D., Li, X., Gao, Q., Chen, Y., Wang, K., Liu, X., Chang, L., Zhou, Y., & Xiang, H. (2025). Effects of combined inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizosphere bacteria on seedling growth and rhizosphere microecology. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1475485. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1475485>

Contents

Research Articles	Page
Investigating the Effect of Organic Biostimulants and Different Levels of Chemical Fertilizers on the Growth, Yield Components and Yield of Faba Bean (<i>Vicia faba</i> L.) Masoumeh Naeemi, Ziba Avarseji, Leila Ahangar	215
Evaluation of Seed Yield Stability of Advanced Lentil (<i>Lens culinaris</i> Medik) Genotypes using the AMMI, BLUP, and MGIDI Indices Payam Pezeshkpour, Reza Amiri, Amir Mirzaei, Asghar Mehraban, Amin Namdari	227
Effect of Sowing Date, Planting Pattern and Foliar Application of Boron on Seed Yield of Local Beans (Pachbaghela) (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) in Guilan Province, Iran Saleh Hassanzadeh, Masoud Esfahani, Ali Aalami	249
Studying the Effects of Seed Priming on Yield and Some Morphophysiological Traits of Pinto Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Cultivar Koosha under Water Deficit Stress Conditions Mohammad Ghiasabadi, Hamid Reza Eisvand, Farhad Nazarian Firouzabadi, Adel Ghadiri	265
The Effect of Seed Priming and Foliar Application of Iron and Zinc Micronutrients on Growth and Yield of Lentil (<i>Lens culinaris</i> Medik) and Germination Characteristics of Produced Seeds under Dryland Conditions Mohammad Vahdani Rashvanloui, Majid Jami Al-Ahmadi, Mohammad Hassan Sayyari-Zahan, Hadi Shoorideh	277
Investigating the Morphological Variation in Cultivars and Lines of Lentil (<i>Lens</i> sp. Medik.) Based on the Agronomic Traits Hajar Badri, Zahra Tahmasebi, Mahdi Geravandi	297
Investigating the Effect of Irrigation Intervals and the Use of Biological and Chemical Fertilizers on the Yield, Yield Components and some stomatal traits of cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L.) Batool Mohammad Karimi, Yaser Alizadeh, Rahim Naseri, Fereshteh Darabi	315
Effect of Planting Date and Fertilizer Resources on Grain Yield and Quality of Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L.) under Water Deficit Conditions Kamyar Kazemi, Seyed Nader Mosavian, Hamdollah Eskandari	331
Environmental Assessment of Crops for Lentil (<i>Lens culinaris</i>)-Based Rotations: Identifying the Most Sustainable Options Hamdollah Eskandari, Seyed Nader Mosavian	349
Study of the Interaction of Auxin and Cytokinin Levels on Morphological, Traits and Yield Components of Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> L.) Cultivars Mohsen Pourfarokhi, Shahram Lak, Nasser Zarifinia, Tayeb Sakinejad, Mani Mojddam	361
Assessment of Germination Traits and Seed Vigour in Promising Lentil (<i>Lens culinaris</i> Medik.) Genotypes Turan Amanzadeh, Ahmad Tobeh, Salim Farzaneh, Negin Amanzadeh, Saeid Heydarzadeh	379
Evaluation of the Interaction between Sowing Date and Seed Treatment with Bio-Fertilizers on Root Traits and Yield of Rainfed Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) in a Two-Year Study Yaser Azimzadeh, Hamid Hasanian Khoshroo, Arash Mohammadzadeh, Gholamreza Ghahramanian, Ramin Lotfi, Halimeh Razmi	395

Iranian Journal of
Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
Vol. 16, No. 2, 2025, S. No.: 32

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

Associate 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

Editor: Hassan Porsa (M.Sc.); Dr. Mohammad Bannayan Avval

Assistant: 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. 16(2); December 2025; S. No.: 32

- 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.) 215
Masoumeh Naeemi, Ziba Avarseji, Leila Ahangar
- Evaluation of Seed Yield Stability of Advanced Lentil (*Lens culinaris* Medik) Genotypes using the AMMI, BLUP, and MGIDI Indices 227
Payam Pezeshkpour, Reza Amiri, Amir Mirzaei, Asghar Mehraban, Amin Namdari
- Effect of Sowing Date, Planting Pattern and Foliar Application of Boron on Seed Yield of Local Beans (Pachbaghela) (*Phaseolus vulgaris* L.) in Guilan Province, Iran 249
Saleh Hassanzadeh, Masoud Esfahani, Ali Aalami
- Studying the Effects of Seed Priming on Yield and Some Morphophysiological Traits of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Koosha under Water Deficit Stress Conditions 265
Mohammad Ghasabadi, Hamid Reza Eisvand, Farhad Nazarian Firouzabadi, Adel Ghadiri
- The Effect of Seed Priming and Foliar Application of Iron and Zinc Micronutrients on Growth and Yield of Lentil (*Lens culinaris* Medik) and Germination Characteristics of Produced Seeds under Dryland Conditions 277
Mohammad Vahdani Rashvanloui, Majid Jami Al-Ahmadi, Mohammad Hassan Sayyari-Zahan, Hadi Shoorideh
- Investigating the Morphological Variation in Cultivars and Lines of Lentil (*Lens* sp. Medik.) Based on the Agronomic Traits 297
Hajar Badri, Zahra Tahmasebi, Mahdi Geravandi
- Investigating the Effect of Irrigation Intervals and the Use of Biological and Chemical Fertilizers on the Yield, Yield Components and some stomatal traits of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) 315
Batool Mohammad Karimi, Yaser Alizadeh, Rahim Naseri, Fereshteh Darabi
- Effect of Planting Date and Fertilizer Resources on Grain Yield and Quality of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under Water Deficit Conditions 331
Kamyar Kazemi, Seyed Nader Mosavian, Hamdollah Eskandari
- Environmental Assessment of Crops for Lentil (*Lens culinaris*)-Based Rotations: Identifying the Most Sustainable Options 349
Hamdollah Eskandari, Seyed Nader Mosavian
- Study of the Interaction of Auxin and Cytokinin Levels on Morphological, Traits and Yield Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Cultivars 361
Mohsen Pourfarokhi, Shahram Lak, Nasser Zarifinia, Tayeb Sakinejad, Mani Mojddam
- Assessment of Germination Traits and Seed Vigour in Promising Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genotypes 379
Turan Amanzadeh, Ahmad Tobeh, Salim Farzaneh, Negin Amanzadeh, Saeid Heydarzadeh
- Evaluation of the Interaction between Sowing Date and Seed Treatment with Bio-Fertilizers on Root Traits and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a Two-Year Study 395
Yaser Azimzadeh, Hamid Hasanian Khoshroo, Arash Mohammadzadeh, Gholamreza Ghahramanian, Ramin Lotfi, Halimeh Razmi