Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 2, 2026 p: 117-128

OPEN ACCESS

Research Paper

Investigation of Genetic Diversity and Evaluation of Cold Stress Tolerance and Yield-Contributing Traits in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genotypes under Rainfed Conditions to Develop Autumn Sowing

Zeinab Mohammadi[1], Jalal Saba[2], Afshin Tavakoli[3] and Kamran Afsahi[4]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, (Corresponding author: zeinabmohammadi@znu.ac.ir)

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

4- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 20 October, 2025 Revised: 25 January, 2026 Accepted: 27 February, 2026

Extended Abstract

Background: The impact of climate change on agricultural production has emerged as one of the important research priorities in recent decades. In this regard, drought stress plays a critical role in reducing crop yield and adversely affects agricultural production worldwide. In Iran, the lentil plant is mainly cultivated in the spring under rainfed conditions. This cropping system is associated with challenges, including low grain yield and production fluctuations. Shifting to a fall-sown cropping system could be an effective strategy to increase yield potential and production stability. However, the success of this strategy depends on the identification, evaluation, and introduction of cold-tolerant cultivars.

Methods: The present study was conducted at the research farm of the Faculty of Agriculture, University of Zanjan, during the 2023–2024 growing season. Twenty-nine native lines, 11 lines from the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), four cultivars from the Field Crops Central Research Institute (FCCRI), Turkey, one unknown genotype, and four control checks were evaluated under regional rainfed conditions. The experiment was laid out in a randomized complete block design with three replications. Days to 50% flowering, days to 50% podding, days to 50% maturity, and grain filling period were the recorded traits. Three plants were randomly selected from each plot to measure morphological traits, including plant height, lowest pod height, and height of most pods. Grain yield per plant, the number of seeds per plant, straw weight per plant, biomass per plant, thousand-grain weight, and harvest index were recorded as well. Survival percentage was used to assess cold tolerance. The analysis of variance and hierarchical clustering were conducted using R software. The deviation of the mean of each cluster from the overall mean was calculated using standardized data. Mean comparisons were performed using Duncan's multiple range test. Phenotypic and genotypic coefficients of variation and heritability were estimated in the analyses.

Results: The minimum air temperature recorded during the growing season was −12.5 °C. A late-spring frost at −2 °C occurred during the flowering of the genotypes. The analysis of variance revealed highly significant differences ($P < 0.001$) among genotypes for all measured traits. High phenotypic and genotypic coefficients of variation were observed for the number of seeds per plant, grain yield per plant, biomass per plant, and straw weight per plant. The cluster heatmap grouped the genotypes into four distinct clusters. Genotypes 33, 17, 12, 3, 42, and 23 presented the lowest survival percentages and were assigned to I and II clusters; all were derived from ICARDA. Clusters III and IV showed a higher survival percentage than the overall mean. Native lines 7, 8, 26, 44, 38, 40, 34, 29, and 4, all with survival percentages exceeding 90%, were grouped into these clusters. Genotypes with the lowest days to 50% flowering (mainly from ICARDA) were grouped in Cluster II. Clusters III and IV, mainly composed of native lines, exhibited grain yield and seed number means higher than the overall mean. Genotypes 31, 49, 32, and 13 exhibited the highest grain yield and belonged to native lines. Genotypes 38, 13, 1, 31, 44, 32, and 49 exhibited the highest number of seeds, all of which were native lines. In terms of plant height, genotypes 49 and 44 (native line) and 16 and 30 (from FCCRI) exhibited the highest values. Genotypes 5 (native line) and 16 showed higher values for the height of the lowest pod,

Copyright ©2026. Mohammadi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

while genotypes 16, 9, and 30 (from FCCRI) demonstrated higher values for the height of most pods.
Conclusions: The valuable genetic variability observed among genotypes can be effectively utilized in breeding programs. High heritability (84%) was observed for survival percentage as a cold resistance indicator. This underscores the potential for effective selection to improve plant survival in lentil under cold stress conditions. The highest-yielding genotypes were found among the native lines. Several FCCRI cultivars exhibited superior performance in height-related traits. A subset of ICARDA lines exhibited desirable phenological traits, such as early flowering and maturity. Integrating diverse genetic resources into breeding programs will accelerate the development of lentil cultivars adapted to rainfed conditions, resistant to cold, and suitable for mechanical harvesting. This study indicates that some evaluated genotypes have favorable potential for adaptation to autumn cultivation. Nevertheless, it is essential to repeat the experiment under on-farm conditions over multiple years for a more precise assessment of yield stability and cold tolerance.

Keywords: Sowing date, Cluster analysis, Survival percentage**,** Late-spring frost, Heritability

How to Cite This Article: Mohammadi, Z., Saba, J., Tavakoli, A., & Afsahi, K. (2026). Investigation of Genetic Diversity and Evaluation of Cold Stress Tolerance and Yield-Contributing Traits in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Genotypes under Rainfed Conditions to Develop Autumn Sowing. *J Crop Breed,* 18(2), 117-128. DOI: 10.61882/jcb.2026.1629

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی تنوع ژنتیکی و ارزیابی مقاومت به تنش سرما و صفات عملکردی ژنوتیپ‌های عدس (*Lens culinaris* Medik) در شرایط دیم به‌منظور توسعه کشت پاییزه

زینب محمدی[۱]، جلال صبا[۲]، افشین توکلی[۳] و کامران افصحی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران، (نویسنده مسوول: zeinabmohammadi@znu.ac.ir)
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۴- استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸
صفحه: ۱۱۷ تا ۱۲۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تأثیر تغییرات اقلیمی بر تولیدات کشاورزی طی دهه‌های اخیر به‌عنوان یکی از اولویت‌های مهم پژوهشی مطرح شده است. در این راستا، تنش خشکی نقش حیاتی در کاهش عملکرد محصولات دارد و تأثیر منفی بر تولیدات کشاورزی در سراسر جهان دارد. در ایران، عدس عمدتاً در فصل بهار و تحت شرایط دیم کشت می‌شود. این سیستم کشت با چالش‌هایی همراه است که از جمله آنها می‌توان به پایین بودن عملکرد دانه و نوسانات تولید اشاره کرد. تغییر به سیستم کشت پاییزه می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای افزایش پتانسیل عملکرد و پایداری تولید مطرح شود. با این‌حال، موفقیت این راهبرد به شناسایی، ارزیابی و معرفی رقم‌های مقاوم به سرما بستگی دارد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر در ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام شد. در این پژوهش از ۲۹ لاین بومی، ۱۱ لاین تهیه شده از مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA)، چهار رقم متعلق به مؤسسه تحقیقات گیاهان زراعی ترکیه (FCCRI) و یک ژنوتیپ ناشناخته به همراه چهار رقم شاهد تحت شرایط دیم ارزیابی شدند. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. صفات فنولوژیک شامل روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، روز تا ۵۰ درصد رسیدگی و دوره پرشدن دانه ثبت شدند. از هر واحد آزمایشی، سه گیاه به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف و ارتفاع اغلب غلاف‌ها اندازه‌گیری شدند. عملکرد دانه در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن کاه در بوته، بیوماس در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. درصد بقا برای ارزیابی مقاومت به سرما مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه واریانس و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار R انجام شدند. انحراف میانگین هر خوشه از میانگین کل با استفاده از داده‌های استانداردشده محاسبه و مقایسه میانگین با روش دانکن انجام شد. ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی و همچنین وراثت‌پذیری عمومی برآورد شدند.

یافته‌ها: حداقل دمای ثبت شده در طول فصل رشد ۱۲/۵- درجه سانتی‌گراد بود و سرمای دیررس بهاره با دمای ۲- درجه سانتی‌گراد در مرحله گل‌دهی رخ داد. تجزیه واریانس نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت‌های بسیار معنی‌دار ($P < 0.001$) در همه صفات مورد ارزیابی وجود داشتند. ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی بالا برای تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته، بیوماس در بوته و وزن کاه در بوته مشاهده شدند. تحلیل خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه متمایز تقسیم کرد. ژنوتیپ‌های ۳۳، ۱۷، ۱۲، ۳، ۴۲ و ۲۳ دارای پایین‌ترین درصد بقا بودند و به گروه‌های اول و دوم اختصاص یافتند؛ تمام آنها لاین‌های حاصل از ICARDA بودند. گروه‌های سوم و چهارم دارای درصد بقای بالاتری نسبت به میانگین کل بودند. لاین‌های بومی ۷، ۸، ۲۶، ۴۴، ۳۸، ۴۰، ۳۴، ۲۹ و ۴ که همگی درصد بقای آن‌ها بیش از ۹۰٪ بود، در این گروه‌ها قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها با کمترین تعداد روز تا ۵۰٪ گل‌دهی (عمدتاً لاین‌های ICARDA) در گروه دوم قرار گرفتند. گروه‌های سوم و چهارم، که عمدتاً از لاین‌های بومی تشکیل شده بودند، میانگین‌های عملکرد دانه و تعداد دانه بالاتر از میانگین کل نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۳۱، ۴۹، ۳۲ و ۱۳ با بالاترین عملکرد دانه به لاین‌های بومی تعلق داشتند. ژنوتیپ‌های ۳۸، ۱۳، ۱، ۳۱، ۴۴، ۳۲ و ۴۹ بیشترین تعداد دانه را نشان دادند که همگی از لاین‌های بومی بودند. از نظر ارتفاع بوته، ژنوتیپ‌های ۴۹ و ۴۴ (لاین بومی) و ۱۶ و ۳۰ (از FCCRI) بالاترین مقادیر را داشتند. ژنوتیپ‌های ۵ (لاین بومی) و ۱۶ ارتفاع پایین‌ترین غلاف بالاتری را نشان دادند، در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۱۶، ۹ و ۳۰ (از FCCRI) بیشترین ارتفاع غالب غلاف‌ها را داشتند.

نتیجه‌گیری: تنوع ژنتیکی ارزشمندی در بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد که می‌تواند به‌طور مؤثر در برنامه‌های اصلاحی مورد استفاده قرار گیرد. وراثت‌پذیری بالایی برای درصد بقا (۸۴٪) به‌عنوان شاخص تحمل به سرما، مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده پتانسیل بالا برای گزینش مؤثر جهت بهبود بقا عدس در شرایط تنش سرمایی است. بالاترین عملکرد دانه در بین لاین‌های بومی مشاهده شد. برخی از ارقام FCCRI در صفات مرتبط با ارتفاع، عملکرد برتری داشتند. تعدادی از لاین‌های ICARDA صفات فنولوژیک مطلوب، مانند گل‌دهی و رسیدگی زودهنگام، را نشان دادند. بهره‌گیری از منابع ژنتیکی متنوع در برنامه‌های اصلاحی، توسعه ارقام عدس سازگار با شرایط دیم، مقاوم به سرما و مناسب برای برداشت مکانیزه را تسریع خواهد کرد. این مطالعه نشان می‌دهد که برخی از ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی پتانسیل مطلوبی برای سازگاری با کشت پاییزه دارند. با این حال، برای ارزیابی دقیق‌تر پایداری عملکرد و مقاومت به سرما، ضروری است که آزمایش در شرایط مزرعه‌ای و طی چند سال تکرار شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، تجزیه کلاستر، درصد بقا، سرمای دیررس بهاره، وراثت‌پذیری

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، فشار بیش‌تری بر سیستم‌های کشاورزی جهت تأمین نیاز غذایی وارد می‌شود و این امر ضرورت یافتن راه‌حل‌های بلندمدت و پایدار برای این مسئله را برجسته می‌کند. علاوه بر این، آثار تغییرات اقلیمی، کشاورزی را پیچیده‌تر کرده‌اند و تضمین دسترسی همه به غذای کافی را دشوارتر ساخته‌اند. در این میان، حبوبات با تأمین غذای غنی از پروتئین و تسهیل فرایند تثبیت نیتروژن در خاک، نقشی اساسی در مقابله با این چالش‌ها ایفا می‌کنند (Naik *et al*, 2024). در سال‌های اخیر، حبوبات مانند عدس (*Lens culinaris* Medik) به‌دلیل جایگاه خود هم به‌عنوان محصول غذایی مقرون‌به‌صرفه و مغذی و هم به‌عنوان منبع پروتئین گیاهی که می‌تواند جایگزین یا مکمل گوشت باشد، با افزایش محبوبیت مواجه شده‌اند (Wright *et al*. 2025). علاوه بر این، عدس

حاوی مقادیر قابل توجهی مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها و ویتامین‌ها است و با توجه به محتوای کم چربی و شاخص گلایسمی پایین، اثرات مفید زیادی بر سلامت مصرف‌کننده دارد (Pezeshkpour *et al*., 2024).

در شرایط اقلیمی سرد و مرتفع مانند بخش‌هایی از ایران، سیستم کشت رایج عدس مبتنی بر کشت بهاره است. چالش اصلی این نظام کشت، پایین بودن عملکرد و نوسانات تولید است که عمدتاً ناشی از مواجهه گیاه با تنش کم آبی است (Gholami Rezvani *et al*., 2022). تغییر الگوی کشت به پاییزه می‌تواند راهکار مناسبی برای بهبود عملکرد این محصول باشد (Barrios *et al*., 2016). با وجود این‌که کشت پاییزه حبوبات امکان بهره‌برداری از نزولات جوی در طول فصل رشد و افزایش عملکرد نسبت به کشت بهاره را فراهم می‌آورد، تحمل پایین این گیاهان در برابر سرما و یخزدگی در اقلیم‌های سرد، به‌عنوان یکی از موانع عمده، منجر به آسیب‌های جدی و گاهی از بین رفتن کامل محصول می‌شود (Nabati *et al*., 2020).

دست‌یابی به موفقیت در کشت پاییزه عدس منوط به استقرار ارقام تحمل‌پذیر در برابر سرما در طول فصل زمستان است (Nezami *et al*., 2011). با این حال، مطالعات ژنتیکی در زمینه زمستان‌گذرانی عدس محدود هستند (Kahraman *et al*., 2004). در مطالعات مربوط به ارزیابی تحمل به سرما در شرایط مزرعه‌ای، محققان معمولاً درصد بقای گیاهان پس از سپری شدن دوره زمستان را به عنوان شاخصی برای سنجش توانایی گیاه در برابر شرایط سخت زمستانی در نظر می‌گیرند (Nabati *et al*., 2020).

در یک مطالعه، ۴۰ ژنوتیپ عدس در شرایط کشت پاییزه و در مواجهه با دمای حداقل ۱۲- درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که هشت ژنوتیپ از نظر بقاء نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتری داشتند و عملکرد دانه بالاتری نیز از خود نشان دادند (Nabati *et al*., 2020). در پژوهش دیگری ۲۵۹ ژنوتیپ عدس در شرایط کشت پاییزه مورد بررسی قرار گرفتند، به‌طوری‌که دمای حداقل در طول فصل رشد به ۱۳- درجه سانتی‌گراد رسید. نتایج این پژوهش نشان دادند که شش ژنوتیپ ضمن داشتن تحمل بالا نسبت به سرمای زمستان، از عملکرد دانه بالاتری نیز برخوردار بودند. هم‌چنین، هم‌بستگی بالایی میان درصد بقاء، عملکرد دانه و اجزای عملکرد مشاهده شد. حدود ۱۸ درصد از ژنوتیپ‌ها عملکردی بالاتر از میانگین عملکرد عدس در سطح کشور نشان دادند (Gholami Rezvani *et al*., 2022). ارزیابی ۳۵۹۲ نمونه تحت شرایط مزرعه‌ای در آناتولی مرکزی، تنوع ژنتیکی زیادی برای تحمل سرما نشان داد و ۲۳۸ نمونه به‌عنوان متحمل مشخص شدند. برنامه به‌نژادی ایکاردا در ایجاد زمستان‌گذرانی در لاین‌های اصلاحی الیت مانند ILL9832، ILL9918 و ILL9919 و واریته‌های توسعه یافته مانند Kafkas، Uzbek و Cifci در ترکیه، گچساران در ایران، Shiraz-96 در پاکستان، Bichette و Zaria در مراکش موفق بوده است (Erskine *et al*., 2016).

آزمون‌های مزرعه‌ای، به‌دلیل قرارگرفتن گیاهان در معرض زمستان واقعی، معیار مناسبی را برای گزینش ارقام متحمل به سرما فراهم می‌آورند. این مطالعه با هدف بررسی تنوع ژنتیکی برای تحمل سرما و بررسی صفات فنولوژی، مورفولوژیک و اگرونومی در مجموعه‌ای از ژنوتیپ‌های عدس در شرایط مزرعه‌ای کشت پاییزه و شناسایی منابع ژنتیکی ارزشمند برای برنامه‌های به‌نژادی در این خصوص انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر طی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در شرایط دیم در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، واقع در عرض جغرافیایی ۳۶/۶۸ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸/۴۰ درجه شرقی و ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا انجام گرفت. عملیات کشت در تاریخ ۱۷ مهر ۱۴۰۲ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر واحد آزمایشی شامل سه ردیف کاشت به طول ۰/۵ متر بود که فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی هر خط کاشت ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

در این پژوهش، از ۲۹ لاین بومی، ۱۱ لاین تهیه شده از مرکز تحقیقات بین‌المللی کشاورزی در مناطق خشک[1]، چهار رقم متعلق به مؤسسه تحقیقات گیاهان زراعی ترکیه[2] و یک ژنوتیپ ناشناخته به‌همراه چهار رقم شاهد استفاده شد (جدول ۱).

اطلاعات مربوط به دما و میزان بارندگی طی فصل رشد در شکل ۱ ارائه شده است. حداقل دمای هوا در بهمن به ۱۲/۵- درجه سانتی‌گراد رسید. مجموع بارندگی طی دوره رشد (از مهر تا خرداد) برابر با ۲۱۲ میلی‌متر بود که ۱۰۵ میلی‌متر آن در فصل‌های پاییز و زمستان به ثبت رسید. سرمای دیررس بهاره با دمای ۲- درجه سانتی‌گراد در اردیبهشت و در مرحله گلدهی ژنوتیپ‌ها رخ داد (شکل ۲).

صفات فنولوژیک شامل روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، روز تا ۵۰ درصد رسیدگی و دوره پر شدن دانه ثبت شدند. برای اندازه‌گیری صفات مربوط به تک‌بوته از هر واحد آزمایشی سه بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف و ارتفاع اغلب غلاف‌ها اندازه‌گیری و میانگین آنها ثبت شد. تمام بوته‌های هر کرت مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند و با توجه به تعداد بوته‌ها، مقادیر صفات عملکرد دانه، تعداد دانه، وزن کاه و بیوماس به‌صورت واحد بوته محاسبه گردید. وزن هزار دانه و شاخص برداشت نیز اندازه‌گیری شدند.

ارزیابی صفات بر اساس دستورالعمل‌های بین‌المللی صورت گرفت. در این راستا، توصیف‌نامه‌های منتشر شده توسط مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) و هیئت بین‌المللی منابع ژنتیکی گیاهی[3] و نیز دستورالعمل‌های

[1] International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, ICARDA

[2] Field Crops Central Research Institute, FCCRI

[3] International Board for Plant Genetic Resources, IBPGR

اتحادیه بین‌المللی حفاظت از گونه‌های جدید گیاهی[4] (IBPGR-ICARDA, 1985; UPOV, 2015) مورد استفاده قرار گرفتند.

تجزیه واریانس با استفاده از بسته doebioresearch در نرم‌افزار R انجام شد. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش Ward و بسته Pheatmap در نرم‌افزار R انجام شد. انحراف میانگین هر خوشه از میانگین کل با استفاده از داده‌های استانداردشده محاسبه و مقایسه میانگین با روش دانکن انجام شد. نتایج به‌صورت نمودارهای میله‌ای برای گروه‌های صفاتی مختلف (فنولوژیک و درصد بقا، مورفولوژیک و زراعی) ارائه شدند.

ضریب تغییرات فنوتیپی[5]، ضریب تغییرات ژنوتیپی[6] و وراثت‌پذیری عمومی به‌ترتیب با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ برآورد شدند (Burton & DeVane, 1953; Falconer & Mackay, 1996). به‌منظور بررسی تحمل به سرما، تعداد بوته‌ها در دو مرحله شمارش شد: شمارش اولیه دو ماه پس از کاشت، قبل از شروع سرما و شمارش تعداد بوته‌ها پس از سپری شدن شرایط کامل زمستانی و درصد بقا براساس رابطه (۴) محاسبه گردید (Hamdi *et al*, 1996).

رابطه (۱)
$$PCV = \frac{\sqrt{\sigma_p^2}}{\bar{X}}$$

رابطه (۲)
$$GCV = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{X}}$$

PCV ضریب تغییرات فنوتیپی، GCV ضریب تغییرات ژنوتیپی، σ_p^2 واریانس فنوتیپی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، و $\bar{X}$ میانگین ژنوتیپ‌ها در هر صفت هستند.

رابطه (۳)
$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}}$$

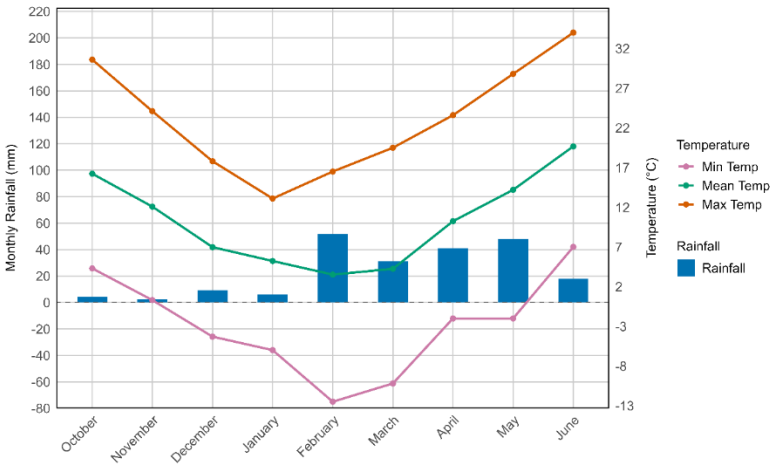
H^2 وراثت‌پذیری عمومی، σ_g^2 واریانس ژنوتیپی، σ_e^2 واریانس خطا، و r تعداد تکرار هستند.

رابطه (۴)
$$S = \frac{P_{AW}}{P_{BW}} \times 100$$

S درصد بقا، P_{AW} تعداد گیاهان بعد از زمستان، و P_{BW} تعداد گیاهان قبل از زمستان هستند.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های عدس به‌همراه شماره‌های آنها در مطالعه حاضر
Table 1. Lentil genotypes with their numbers in the present study

شماره تیمار Genotype numbers	طبقه‌بندی Classification	توضیحات Description
3, 6, 12, 17, 21, 23, 27, 33, 36, 39, 42	لاین‌های حاصل از ICARDA ICARDA-derived lines	
9, 16, 30, 46	ارقام حاصل از FCCRI FCCRI-derived cultivars	9 (Karagül), 16 (Meyveci 2001), 30 (Gümrah), 46 (Bozok)
15, 25, 35, 45	ارقام شاهد Control checks	15 (Bileh Savar/بیله‌سوار), 25 (Sana/سنا), 35 (Kuhin/کوهین), 45 (Kimia/کیمیا)
20	ناشناخته unknown	
اعداد به جز موارد ذکر شده در بالا The numbers excluding the ones mentioned above	لاین‌های بومی Native lines	



شکل ۱- توزیع بارندگی و دمای ثبت شده طی فصل رشد عدس.
Mean Temp: دمای میانگین، Max Temp: دمای حداکثر، Min Temp: دمای حداقل
Figure. 1. Rainfall distribution and temperature recorded during the lentil growing season
Mean Temp: Mean temperature, Max Temp: Maximum temperature; Min Temp: Minimum temperature

[4] International Union for the Protection of New Varieties of Plants, UPOV
[5] Phenotypic coefficient of variation, PCV
[6] Genotypic coefficient of variation, GCV



شکل ۲- مشاهده اثر سرمای دیررس بهاره بر ژنوتیپ‌های عدس، ثبت‌شده در اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳
Figure 2. Observation of the effect of late-spring frost on lentil genotypes, documented in May 2024

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) تفاوت‌های بسیار معنی‌داری ($P < 0.001$) را برای صفات ارزیابی شده بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان دادند که تنوع ژنتیکی ارزشمند و امکان انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای برنامه‌های اصلاحی آینده را نشان می‌دهد. افزون بر این، افزایش تنوع ژنتیکی احتمال شناسایی ژن‌ها یا ترکیب‌های ژنتیکی مورد نظر برای برنامه‌های اصلاح را بالا می‌برد و دامنه انتخاب، هم در گزینش طبیعی و هم در گزینش مصنوعی، وسیع‌تر می‌شود (Ghaffari Neamat Abad *et al*., 2024).

بقای حبوبات دانه‌ای در زمستان معمولاً نیازمند تحمل عواملی غیر از سرما، مانند جابه‌جایی و یخ‌زدگی خاک، آب ماندگی و انواع بیماری‌ها، است (Murray *et al*. 1988). چون در بسیاری از مناطق طی دوره‌ی زمستان، گیاه با پوشش برف طولانی‌مدت محافظت می‌شود، در این وضعیت امکان تفکیک خسارت سرمایی از سایر عوامل وجود ندارد و سنجش مقاومت زمستانه به‌طور معمول با اندازه‌گیری بقای گیاه انجام می‌شود (Hamdi *et al*., 1996). در این مطالعه، نتایج تجزیه واریانس تفاوت معنی‌دار درصد بقا میان ژنوتیپ‌ها را نشان دادند. دامنه درصد بقا از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های عدس تحت شرایط دیم
Table 2. Analysis of variance for the randomized complete block design for evaluated traits in lentil genotypes under rainfed conditions

Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
			روز تا ۵۰٪ گلدهی Days to 50% flowering	روز تا ۵۰٪ غلاف‌دهی Days to 50% podding	روز تا ۵۰٪ رسیدگی Days to 50% maturity	دوره پر شدن دانه Grain filling period
Replication	تکرار	2	66.31***	12.32*	4.90	72.90***
Genotype	ژنوتیپ	48	39.57***	24.05***	12.02***	28.51***
Residuals	خطا	96	3.37	3.41	3.03	4.04
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		0.93	0.86	0.71	4.40

Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
			ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع پایین‌ترین غلاف Lowest pod height (cm)	ارتفاع اغلب غلاف‌ها height of most pods (cm)	عملکرد دانه در بوته Grain yield per plant (gr)
Replication	تکرار	2	61.51***	1.30	13.81**	11.39***
Genotype	ژنوتیپ	48	13.91***	8.61***	7.38***	8.47***
Error	خطا	96	5.17	1.43	1.87	1.31
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		8.03	11.66	9.46	23.89

Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
			تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن کاه در بوته Straw weight per plant (gr)	بیوماس در بوته Biomass per plant (gr)	شاخص برداشت Harvest index
Replication	تکرار	2	5642.2***	15.08***	45.30***	0.01*
Genotype	ژنوتیپ	48	4826.0***	7.36***	29.37***	0.01***
Residuals	خطا	96	670.2	1.58	4.92	0.003
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		24.94	23.66	21.96	12.35

Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares	
			وزن هزار دانه Thousand grain weight	درصد بقا Survival percentage
Replication	تکرار	2	150.57***	13.44
Genotype	ژنوتیپ	48	180.56***	701.22***
Residuals	خطا	96	4.34	108.04
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		4.40	12.78

*، ** و ***: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

*, **, **: significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively

وجود تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی در یک گونه پیش‌نیاز توسعه واریته‌های بهتر برای شروع برنامه به‌نژادی است (Takele *et al*., 2022). به‌منظور گروه‌بندی گونه‌ها و واریته‌های گیاهی از نظر میزان تنوع، می‌توان ضریب تنوع فنوتیپی (PCV) و ضریب تنوع ژنوتیپی (GCV) را ملاک عمل قرار داد. بر این اساس، واریته‌های گیاهی از نظر میزان تنوع، در سه گروه: تنوع بالا (بیش‌تر از ۲۰ درصد)، تنوع متوسط (۲۰-۱۰ درصد) و تنوع پایین (کم‌تر از ۱۰ درصد) طبقه‌بندی می‌شوند (Deshmukh *et al*., 1986).

برآوردهای ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی در جدول ۳ ارائه شده‌اند. ضریب تنوع فنوتیپی بالا برای صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته، بیوماس در بوته و وزن کاه در بوته با دامنه ۲۹/۴۸ تا ۳۸/۶۵ درصد ثبت شدند. ضرایب تنوع ژنوتیپی بالا برای صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته، بیوماس در بوته و وزن کاه در بوته با دامنه ۲۶/۱۲ تا ۳۵/۸۷ درصد مشاهده شدند. مقادیر بالای ضریب تنوع ژنوتیپی احتمال بهبود صفات از طریق گزینش را افزایش می‌دهند (Takele *et al*., 2022).

ضرایب تنوع فنوتیپی متوسط برای صفات درصد بقا، ارتفاع پایین‌ترین غلاف، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و ارتفاع اغلب غلاف‌ها با دامنه ۱۰/۸۶ تا ۱۸/۶ درصد ثبت شدند. ضرایب تنوع ژنوتیپی متوسط برای صفات درصد بقا، وزن هزار دانه، ارتفاع پایین‌ترین غلاف و شاخص برداشت با دامنه ۱۰/۵۷ تا ۱۷/۱۳ درصد به دست آمدند.

تفاوت‌های پایینی بین ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنوتیپی برای اکثر صفات مشاهده شدند. حداقل تفاوت بین ضریب تنوع فنوتیپی و ضریب تنوع ژنوتیپی بیان می‌کند که بخش عمده‌ای از بیان فنوتیپی از اثرات ژنوتیپی ناشی می‌شود و تأثیر محیط کم‌تر است (Takele *et al*., 2022).

ضرایب تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی برای صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، روز تا ۵۰ درصد رسیدگی، دوره پر شدن دانه و ارتفاع بوته پایین بودند. هم‌چنین، مقادیر ضریب تغییرات ژنتیکی (GCV) و ضریب تغییرات

فنوتیپی (PCV) در این صفات تفاوت اندکی با یکدیگر داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که بخش عمده واریانس فنوتیپی ناشی از واریانس ژنتیکی است و در نتیجه، وراثت‌پذیری عمومی این صفات بالا برآورد شده است. با این حال، پایین بودن مقدار GCV بیانگر آن است که علی‌رغم سهم بالای عوامل ژنتیکی در تغییرات فنوتیپی، تنوع ژنتیکی محدود است و بنابر این امکان پیشرفت از طریق انتخاب در این صفات محدود خواهد بود.

برآوردهای وراثت‌پذیری در سه گروه: بالا (بیش‌تر از ۶۰ درصد)، متوسط (۶۰-۴۰ درصد) و پایین (کم‌تر از ۴۰ درصد) در نظر گرفته می‌شوند (Robinson *et al*., 1949). وراثت‌پذیری عمومی بالایی در دامنه ۶۲ تا ۹۷ درصد برای همه صفات مورد مطالعه مشاهده شد.

وراثت‌پذیری عمومی درصد بقا که نشان دهنده مقاومت به سرما است ۸۴٪ براورد شد که مقدار بالایی است و گزینش بر اساس آن را ثمربخش می‌نماید. قهرمان و همکاران (Kahraman *et al*., 2004) بیان کردند که برآوردهای وراثت‌پذیری عمومی زمستان‌گذرانی در میان ۱۰ جمعیت RILS، از ۱۵/۹ تا ۹۰/۷ درصد متغیر بودند. آنها بیان کردند که ساختار ژنتیکی والدین و شرایط زمستانی توانستند تا حد زیادی برآوردهای وراثت‌پذیری را تحت‌تأثیر قرار دهند. به‌عنوان مثال، زمستان‌های نسبتاً معتدل یا زمستان‌های خیلی سخت ممکن است میان نتاج، تمایز قائل نشوند و ممکن است تنوع ژنوتیپی نسبتاً پایین با برآوردهای وراثت‌پذیری پائینی حاصل شود. بنابر این، برآوردهای وراثت‌پذیری را نمی‌توان تعمیم داد و باید با توجه به محیط‌های خاصی که تحت آنها به‌دست آمده‌اند، تفسیر نمود.

در پژوهشی دیگر، وراثت‌پذیری عمومی برای مقاومت به سرما در عدس ۳۲ تا ۷۱ درصد در شرایط مزرعه برآورد شد. پژوهشگران بیان کردند که وراثت‌پذیری‌های نسبتاً متوسط مشاهده شده در شرایط مزرعه نشان می‌دهند که گزینش لاین‌های اینبرد یا گزینش توده‌ای ابزارهای اصلاحی مناسب برای این صفت هستند. با این‌حال، ماهیت غیرقابل پیش‌بینی و تکرار نشدنی محیط، ممکن است کاربرد وراثت‌پذیری تحمل سرما را در شرایط مزرعه به‌شدت کاهش دهد (Ali & Johnson, 2000).

جدول ۳- برآورد پارامترهای ژنتیکی صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های عدس تحت شرایط دیم
Table 3. Estimation of genetic parameters of evaluated traits in lentil genotypes under rainfed conditions

وراثت‌پذیری عمومی Broad-sense heritability	ضریب تغییرات ژنتیکی Genetic coefficient of variation (%)	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic coefficient of variation (%)	واریانس فنوتیپی Phenotypic variance	واریانس ژنتیکی Genetic variance	میانگین±خطای معیار Mean ± SE	Trait	صفت
0.91	1.76	1.84	13.19	12.06	197.44±1.060	Days to 50% flowering	روز تا ۵۰ درصد گلدهی
0.85	1.23	1.33	8.01	6.87	212.65±1.067	Days to 50% podding	روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی
0.74	0.71	0.82	4.00	2.99	243.04±1.006	Days to 50% maturity	روز تا ۵۰ درصد رسیدگی
0.85	6.26	6.76	9.50	8.15	45.61±1.160	Grain filling period	دوره پر شدن دانه
0.62	6.03	7.60	4.63	2.91	28.31±1.312	Plant height	ارتفاع بوته
0.83	15.09	16.53	2.87	2.39	10.25±0.690	Lowest pod height	ارتفاع پایین‌ترین غلاف
0.74	9.39	10.86	2.46	1.83	14.44±0.789	height of most pods	ارتفاع اغلب غلاف‌ها
0.83	28.24	30.96	9.79	8.14	10.10±1.281	Biomass per plant	بیوماس در بوته
0.78	26.12	29.48	2.45	1.92	5.31±0.726	Straw weight per plant	وزن کاه در بوته
0.84	32.26	35.09	2.82	2.38	4.79±0.660	Grain yield per plant	عملکرد دانه در بوته
0.86	35.87	38.65	1608.65	1385.26	103.76±14.94	Number of seed per plant	تعداد دانه در بوته
0.97	16.17	16.37	60.18	58.73	47.38±1.203	Thousand-grain weight	وزن هزار دانه
0.68	10.57	12.75	0.003	0.002	0.46±0.033	Harvest index	شاخص برداشت
0.84	17.13	18.6	228.05	193.33	81.18±6.001	Survival percentage	درصد بقا

نتایج تجزیه خوشه‌ای در شکل ۳ ارائه شده‌اند. هم‌چنین، انحراف میانگین هر خوشه نسبت به میانگین کل ژنوتیپ‌ها برای صفات مورد بررسی در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به چهار گروه مجزا تفکیک شدند. لاین‌های معرفی شده از ICARDA در دو گروه قرار گرفتند. گروه اول متشکل از شش ژنوتیپ بود که همگی لاین‌های معرفی‌شده از ICARDA محسوب می‌شدند. گروه دوم نیز شامل شش ژنوتیپ بود که پنج مورد از آن‌ها به لاین‌های ICARDA تعلق داشتند و یکی از آن‌ها ژنوتیپ شاهد بود. گروه سوم عمدتاً شامل لاین‌های بومی بود که همراه با یک تیمار شاهد و سه رقم از FCCRI قرار گرفتند. گروه چهارم نیز عمدتاً شامل لاین‌های بومی، دو تیمار شاهد و یک رقم از FCCRI بود.

توزیع رنگ‌های مختلف در نقشه حرارتی، بیانگر اهمیت نسبی صفات مختلف است. در این نقشه، ژنوتیپ‌هایی با نمود بالا با رنگ‌های تیره‌تر در نواحی مثبت مشخص شده‌اند، در حالی‌که ژنوتیپ‌ها با نمود پایین با رنگ‌های تیره‌تر در نواحی منفی نمایان هستند. شدت رنگ کم در نواحی مثبت یا منفی، نشان‌دهنده ژنوتیپ‌هایی با نمود متوسط است (Kefelegn *et al.*, 2024; Khan *et al*., 2024).

ژنوتیپ‌های ۳۳، ۱۷، ۱۲، ۳، ۴۲ و ۲۳ با کمترین درصد بقا در گروه‌های اول و دوم قرار گرفتند، که همه جزء لاین‌های تهیه شده از ICARDA بودند (شکل ۳). خوشه‌های سوم و چهارم از نظر درصد بقا، میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل داشتند (شکل ۴). ژنوتیپ‌های ۴۶، ۷، ۸، ۲۶، ۴۴، ۳۸، ۴۰، ۳۴، ۲۹ و ۴ با درصد بقای بیش از ۹۰٪ در گروه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند که ژنوتیپ ۴۶ (رقم Bozok تهیه شده از ترکیه) و بقیه جزء لاین‌های بومی بودند.

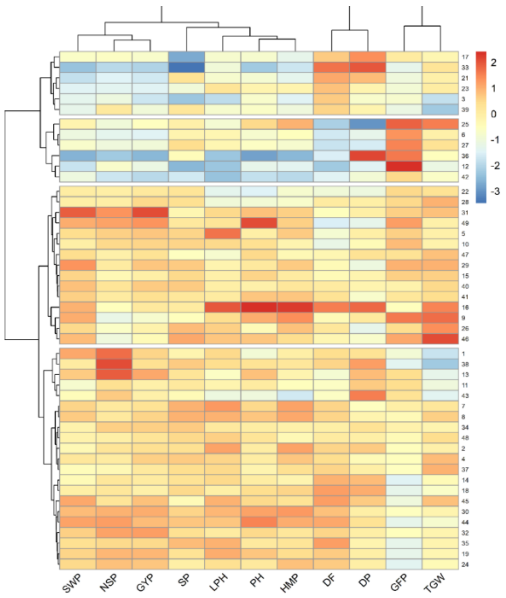
خوشه‌های دوم و سوم در صفات روز تا ۵۰ درصد گلدهی و روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، دارای میانگین پایین‌تر از میانگین کل بودند. این دو خوشه در صفت روز تا گلدهی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، اما در صفت روز تا غلاف‌دهی تفاوت آنها از نظر آماری معنی‌دار نبود. در صفت روز تا ۵۰ درصد گلدهی، خوشه‌ی دوم بیشترین انحراف از میانگین کل را نشان داد (شکل ۴). ژنوتیپ‌هایی که پایین‌ترین مقادیر را در این صفت (عمدتاً لاین‌های ICARDA) داشتند، در این خوشه قرار گرفتند (شکل ۳).

در محیط‌هایی که خشکی پایانی یک پدیده رایج است، زودرسی از صفات مطلوب است. در ژنوتیپ‌های دارای دوره گلدهی طولانی و ژنوتیپ‌های دیررس، فرآیند physiological seed sinking process مختل خواهد شد و نمی‌تواند عملکرد دانه بهتری به ارمغان بیاورد. در حالی‌که ژنوتیپ‌های دارای گلدهی زود و رسیدگی سریع توسط فرار از خشکی پایانی، در این نوع محیط‌ها به‌خوبی عمل می‌کنند. اما اگر وقوع خشکی پایانی رایج نباشد، ژنوتیپ دیررس ممکن است عملکرد دانه بهتری داشته باشد (Mekonnen *et al*, 2014).

گروه‌های سوم و چهارم، که عمدتاً از لاین‌های بومی تشکیل شده بودند، عملکرد و تعداد دانه مطلوب‌تری داشتند و میانگین‌های بالاتری نسبت به میانگین کل نشان دادند (شکل ۶). ژنوتیپ‌های ۳۱، ۴۹، ۳۲ و ۱۳ به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند و جزو لاین‌های بومی بودند. ژنوتیپ‌های ۳۸، ۱۳ ، ۱، ۳۱، ۴۴، ۳۲ و ۴۹ نیز به‌ترتیب بیشترین تعداد دانه را داشتند که همه جزء لاین‌های بومی بودند.

در صفات ارتفاع بوته، ارتفاع پایین‌ترین غلاف و ارتفاع اغلب غلاف‌ها، گروه‌های سوم و چهارم، میانگین‌های بالاتر از میانگین کل را نشان دادند (شکل ۵). از نظر ارتفاع بوته، ژنوتیپ‌های ۴۹ و ۴۴ (بومی) و ۱۶ و ۳۰ (حاصل از FCCRI) بالاترین مقادیر را نشان دادند. ژنوتیپ‌های ۵ (بومی) و ۱۶ از نظر ارتفاع پایین‌ترین غلاف و ژنوتیپ‌های ۱۶، ۹ و ۳۰ (حاصل از FCCRI) از نظر ارتفاع اغلب غلاف‌ها، مقادیر بالاتری داشتند.

در بسیاری از کشورهای خاورمیانه، شمال آفریقا و جنوب آسیا برداشت عدس به‌صورت دستی انجام می‌شود. برای برداشت مکانیکی، گیاهان بلند، ایستاده و بدون ورس مناسب خواهند بود. چنین گیاهانی هم عملکرد خوب کاه و هم عملکرد خوب دانه را فراهم می‌کنند (Muehlbauer & Sarker, 2018; Dikshit *et al*., 2022). آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهند که به‌طور متوسط برداشت مکانیکی در ارقام اصلاح شده، هزینه‌های برداشت را حدود ۱۷ تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد (Erskine *et al*., 2016).

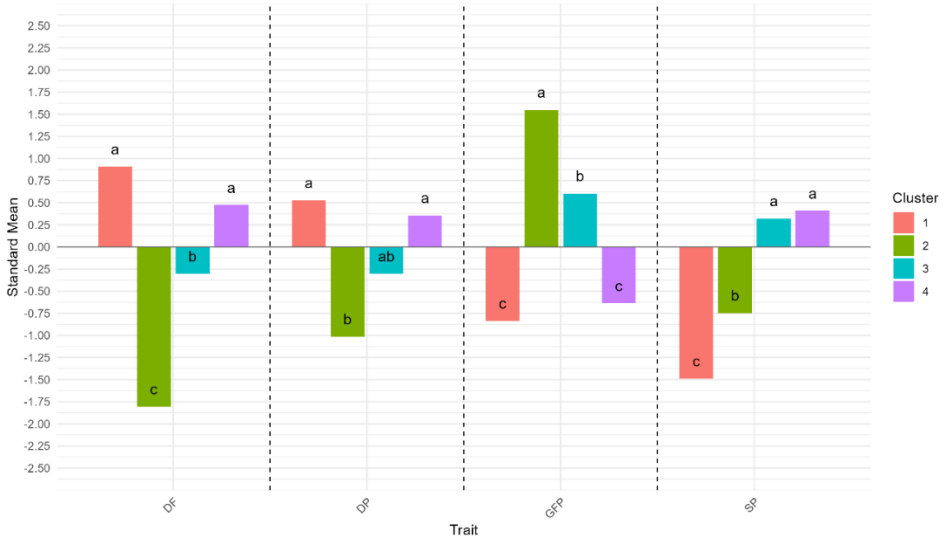


شکل ۳- خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس بر اساس صفات فنولوژیکی، مورفولوژیک و زراعی

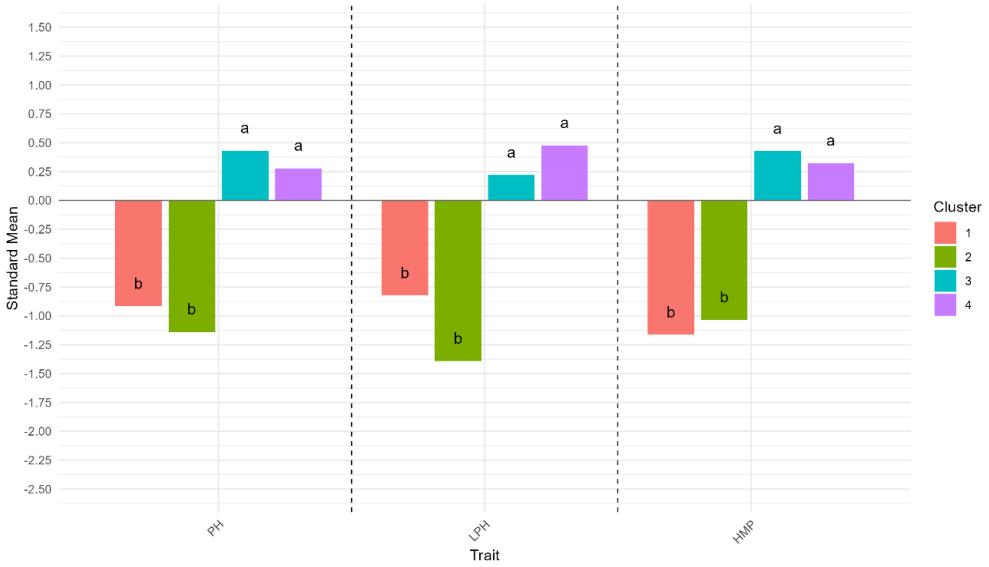
Figure. 3. Clustering of lentil genotypes based on phenological, morphological, and agronomic traits

SWP: وزن کاه در بوته، NSP: تعداد دانه در بوته، GYP: عملکرد دانه در بوته، SP: درصد بقا، LPH: ارتفاع پایین‌ترین غلاف، PH: ارتفاع بوته، HMP: ارتفاع اغلب غلاف‌ها، DF: روز تا ۵۰ درصد گلدهی، DP: روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، GFP: دوره پر شدن دانه، TGW: وزن هزار دانه

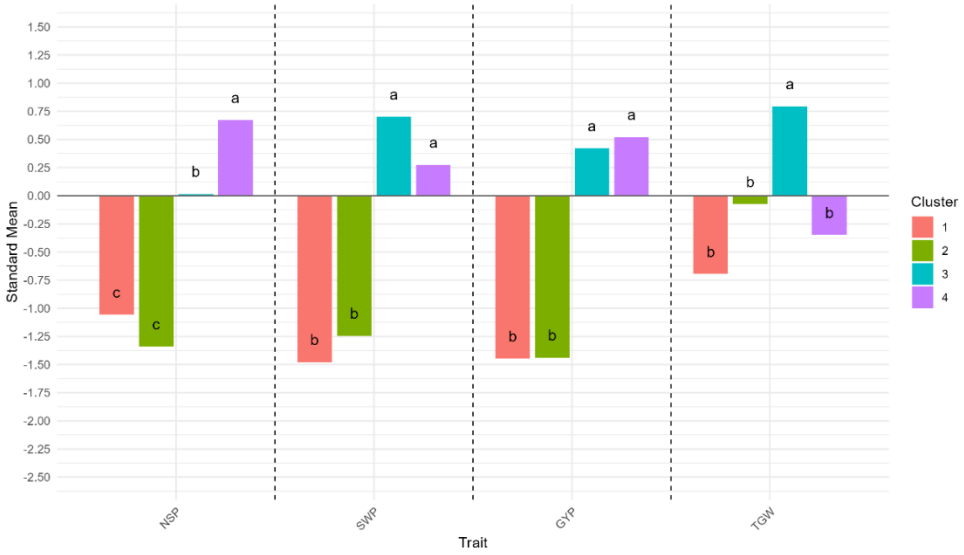
SWP: Straw weight per plant, NSP: Number of seed per plant, GYP: Grain yield per plant, SP: Survival percentage, LPH: Lowest pod height, PH: Plant height, HMP: height of most pods, DF: Days to 50% flowering, DP: Days to 50% podding, GFP: Grain filling period, TGW: Thousand grain weight



شکل ۴- انحراف میانگین صفات فنولوژی و درصد بقا در هر خوشه از میانگین کل
Figure 4. Deviations of the mean values of phenological traits and survival percentage in each cluster from the overall mean
DF: روز تا ۵۰ درصد گلدهی، DP: روز تا ۵۰ درصد غلاف‌دهی، GFP: دوره پر شدن دانه، SP: درصد بقا
DF: Days to 50% flowering, DP: Days to 50% podding, GFP: Grain filling period, SP: Survival percentage



شکل ۵- انحراف میانگین صفات مورفولوژیک در هر خوشه از میانگین کل
Figure 5. Deviations of the mean values of morphological traits in each cluster from the overall mean
PH: ارتفاع بوته، LPH: ارتفاع پایین‌ترین غلاف، HMP: ارتفاع اغلب غلاف‌ها
PH: Plant height, LPH: Lowest pod height, HMP: height of most pods



شکل ۶- انحراف میانگین صفات زراعی در هر خوشه از میانگین کل
Figure 6. Deviations of the mean values of agronomic traits in each cluster from the overall mean
NSP: تعداد دانه در بوته، SWP: وزن کاه در بوته، GYP: عملکرد دانه در بوته، TGW: وزن هزار دانه
NSP: Number of seed per plant, SWP: Straw weight per plant, GYP: Grain yield per plant, TGW: Thousand grain weight

نتیجه‌گیری کلی

وجود ضرایب بالای تنوع ژنوتیپی در صفات تعداد دانه، عملکرد دانه، بیوماس و وزن کاه در بوته، فرصت ارزشمندی را برای انتخاب و بهبود این صفات در برنامه‌های اصلاح عدس فراهم می‌کند. مشاهده وراثت‌پذیری بالای درصد بقا (۸۴٪) به‌عنوان شاخص مقاومت به سرما، نشان دهنده امکان گزینش مؤثر در جهت افزایش پایداری عدس در شرایط تنش سرمایی است. تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را به چهارگروه متمایز تقسیم کرد. لاین‌های بومی ۳۱، ۴۹، ۳۲ و ۱۳ بیشترین عملکرد دانه و لاین‌های بومی ۳۸، ۱۳، ۱، ۳۱، ۴۴، ۳۲ و ۴۹ بالاترین تعداد دانه را داشتند. میانگین درصد بقا در گروه‌های سوم و چهارم بالاتر از میانگین کل بود. ژنوتیپ‌های بومی ۷، ۸، ۲۶، ۴۴، ۳۸، ۴۰، ۳۴، ۲۹ و ۴ با درصد بقای بیش از ۹۰٪ در این گروه‌ها قرار داشتند. چندین ارقام FCCRI در صفات مرتبط با ارتفاع برتر بودند. زیر مجموعه‌ای از لاین‌های ICARDA صفات فنولوژیکی مطلوبی مانند گلدهی و رسیدگی زودرس را نشان دادند. بهره‌گیری از منابع ژنتیکی متنوع در برنامه‌های اصلاح نژاد می‌تواند فرایند توسعه ارقام عدس سازگار با شرایط دیم، مقاوم به سرما و قابل برداشت مکانیکی را تسریع کند. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش بیانگر آن هستند که برخی ژنوتیپ‌های بررسی‌شده از ظرفیت مناسبی برای کشت در شرایط پاییز برخوردارند.

References

Ali, A., & Johnson, D. L. (2000). Heritability estimates for winter hardiness in lentil under natural and controlled conditions. *Plant Breeding*, 119(3), 283-285. https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2000.00491.x

Barrios, A., Aparicio, T., Rodríguez, M. J., Pérez de la Vega, M., & Caminero, C. (2016). Winter sowing of adapted lines as a potential yield increase strategy in lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(2), e0702. https://doi.org/10.5424/sjar/2016142-8092

Burton, G. W., & DeVane, E. H. (1953). Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45, 478–481.

Deshmukh, S. N., Basu, M. S., & Reddy, P. S. (1986). Genetic variability, character association and path coefficient analysis of quantitative traits in Virginia bunch varieties of groundnut. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 56, 816-821.

Dikshit, H. K., Mishra, G. P., Aski, M. S., Singh, A., Tripathi, K., Bansal, R., Pratap, A., Gupta, S., & Kumar, S. (2022). Lentil Breeding. PP 1181-1236 in D. K. Yadava, H. K. Dikshit, G. P, Mishra and S. Tripathi eds. Fundamentals of Field Crop Breeding. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9257-4_24

Erskine, W., Sarker, A., & Kumar, S. (2016). Lentil: Breeding. pp 317-324 in C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman and j. Faubion eds. Encyclopedia of food grains. Volume:4 The production and genetics of food grains. Elsevier, UK https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394437-5.00210-2

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). Introduction to quantitative genetics. Addison Wesley Longman Limited, Harlow

Ghaffari Neamat Abad, G., Saba, J., Mohseni fard, E., & Tavakoli Zaniani, A. (2024). Evaluation of the Traits Impact Model on the Lentil Seed Yield to Determine Selection Methods. *Journal of Crop Breeding*, 16, 79-90. https://doi.org/10.61186/jcb.16.3.79. [In Persian]

Gholami Rezvani, N., Nezami, A., Kafi, M., & Nabati, J. (2022). Lentil accession (*Lens culinaris*) screening for autumn sowing in cold and highland regions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52, 15-33. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.307367.654741 [In Persian]

Hamdi, A., Küsmenoğlu, I., & Erskine, W. (1996). Sources of winter hardiness in wild lentil. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 43, 63-67.

IBPGR-ICARDA. (1985). lentil Descriptors. Rome, Italy: IBPGR ICARDA, Aleppo, Syria.

Kahraman, A., Kusmenoglu, I., Aydin, N., Aydogan, A., Erskine, W., & Muehlbauer, F. J. (2004). Genetics of winter hardiness in 10 lentil recombinant inbred line populations. *Crop Science*, 44, 5-12. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.5000

Kefelegn, N., Benor, S., Haile, G., Fikre, A., & Barbetti, M. J. (2024). Agro-morphological characterization and comparative performance of Ethiopian and exotic lentil (*Lens culinaris* Medik) germplasm. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72, 4491-4506. https://doi.org/10.1007/s10722-024-02204-y

Khan, M. A., Yousaf, M. W., Ahmed, H. G. M-D., Fatima, N., & Alam, B. (2024). Assessing genetic diversity for some Pakistani bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress based on yield traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71, 3563–3573. https://doi.org/10.1007/s10722-024-01864-0

Mekonnen, F., Mekbib, F., Kumar, S., Ahmed, S., & Sharma, T. R. (2014). Correlation and path coefficient analysis of seed yield and yield components in lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotype in Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 8, 507-520. https://doi.org/10.5897/AJPS2014.1183

Muehlbauer, F. J., & Sarker, A. (2018). Improving cultivation of lentil. pp 71-82 in S. Sivasankar, D. Bergvinson, P. Gaur, S. Kumar, S. Beebe and M. Tamo eds. Achieving sustainable cultivation of grain legumes. Volume 2: Improving cultivation of particular grain legumes. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, UK http://dx.doi.org/10.19103/AS.2017.0023.22

Murray, G. A., Eser, D., Gusta, L. V., & Eteve, G. (1988). Winterhardiness in pea, lentil, faba bean and chickpea. PP 831-843 in R. J. Summerfield ed. World crops: Cool season food legumes. Kluwer Academic Publishers, UK.

Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S. M., & Hojjat, S. S. (2020). Evaluation of freezing tolerance of selected lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes in feild conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51, 89-101. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.280874.654609 [in Persian]

Naik, Y. D., Sharma, V. K., Aski, M. S., Rangari, S. K., Kumar, R., Dikshit, H. K., Sangita, S., Kant, R., Mishra, G., Mir, R. R., Kudapa, H., Elango, D., Zwart, R. S., Varshney, R. K., & Thudi, M. (2024). Phenotypic profiling of lentil (*Lens culinaris* Medikus) accessions enabled identification of promising lines for use in breeding for high yield, early flowering and desirable traits. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 22, 69-77. https://doi.org/10.1017/S1479262124000042

Nezami, A., Bagheri, A., Porsa, H., Zafranieh, M., & Khamadi, N. (2011). Evaluation of cold tolerant lentil genotypes (*Lens culinaris* Medik.) in fall planting under supplementary irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1, 49-58. [In Persian]

Pezeshkpour, P., Amiri, R., Karami, I., & Mirzaei, A. (2024). Grain Yield Stability Analysis of Lentil Genotypes by AMMI Indices. *Journal of Crop Breeding*, 16, 1-12. https://doi.org/10.61186/jcb.16.4.1. [In Persian]

Robinson, H. F., Comstock, R. E., & Harvey, P. H. (1949). Estimates of heritability and the degree dominance in corn. *Agronomy Journal*, 41, 353-359.

Takele, E., Mekbib, F., & Mekonnen, F. (2022). Genetic variability and characters association for yield, yield attributing traits and protein content of lentil (*Lens Culinaris* Medikus) genotype in Ethiopia. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(9), 1-14. https://doi.org/10.1186/s43170-022-00079-6

UPOV (International union for the protection of new varieties of plants). (2015). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Available at:https://www.upov.int/test_guidelines/en/fulltext_tgdocs.jsp?lang_code=EN&q=lentil

Wright, D. M., Hang, J., House, J. D., & Bett, K. E. (2025). Breeding potential of cultivated lentil for increased protein and amino acid concentrations in the Northern Great Plains. *Crop Science*, 65(3), e70085. https://doi.org/10.1002/csc2.70085