

Correlation coefficients and factor analysis for morpho-physiological and biochemical attributes affecting the yield and yield components of Desi-type chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes

J. Nabati^{1*}, A. R. Hasanfard², A. Nezami³, M. Zare Mehrjerdi⁴

1- Assistant Professor, Crop Physiology, Department of Legume, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD. in Weed Science, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3- Professor, Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4- Assistant Professor, Biotechnology, Agriculture faculty of Shirvan, University of Bojnord, Iran

*Corresponding Author Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important crops in the human food basket worldwide. It is a highly nutritious pulse crop with low digestible carbohydrates, protein, essential fats, fiber, and a range of minerals and vitamins. As the human population grows, the demand for this protein source increases and various approaches to its sustainable products are being developed. Autumn cultivation of chickpea in cold regions requires the introduction of cultivars tolerant to freezing stress. The ability of plants to overwinter depends on the biochemical and physiological responses induced by their cold acclimation duration. Cold acclimation mechanisms in the plant are a fundamental reason for plant tolerance increase in autumn cultivation. Hence, investigating the mentioned traits can help identify cold-tolerant genotypes. Identifying attributes that provide a suitable description of the diversity between genotypes is critical through canonical correlation analysis, cluster analysis, and determining the genetic distance.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the 2017-18 growing seasons in the research field of Ferdowsi University of Mashhad, Iran (Lat 36° 15' N, Long 59° 28 E; 985 m Altitude). Chickpea germplasm, including 29 Desi-type chickpea genotypes and one cold tolerant cultivar (cv. *Saral*), was studied in terms of morpho-physiological and biochemical attributes and their relationship with yield and yield components. Chickpea seeds were provided from Mashhad chickpea collection at Research Center for Plant Science. Following seedbed preparation by ridge tillage in October 2017, chickpea seeds were sown with a density of 40 plant m⁻². Irrigation was conducted three times during the growth period: immediately after sowing, two weeks after the first irrigation and flowering stage. Hand-weeding was done three times during the growth stage in early March, early April, and early May. Data were analyzed

using the SAS 9.4 software, and the mean comparison was performed by Duncan Multiple Range Test (DMRT) at a 5% probability level. Statistica software also performed a cluster analysis (based on Euclidean distance) and principal component analysis (PCA).

Results and Discussion

Evaluating the morpho-physiological performance of chickpea genotypes is valuable for breeding programs that integrate chickpea cold tolerance. Based on Pearson's correlation coefficient results, a significant positive correlation was observed between the survival of chickpea germplasm with seed yield and biological yield. Also, a significant negative correlation between survival with photosynthesis pigment content and Fv'/Fm' revealed a high relationship between these parameters. Traits with the highest canonical discriminate coefficients had the best effect on the diversity across the studied genotypes. Based on the factor analysis results, the first factor with 22.8% and the second with 12.1% explained the most differences. In the first factor, the most critical traits with a positive charge are Fv'/Fm' , the total content of photosynthetic pigments, starch, the number of fertile pods, and the number of seeds, and the critical trait with a negative charge was the survival. The genotypes of the five cluster analysis groups had a higher mean in 54% of the traits compared to the total mean. The crossing of genotypes of group one due to higher survival and seed yield and genotypes of group five due to plant height and first pod height (compared to the total mean), which also have a considerable genetic distance, can lead to the release of new varieties. Also, the genotypes of the three cluster analysis groups (MCC32, MCC34, MCC155, MCC194, MCC199, and MCC291) have high-priority traits for selection by breeders and can be used in breeding programs for autumn cultivation.

Conclusion

According to the results of the present study, selection for successful overwintering of desi-type chickpea genotypes in cold regions is recommended based on the mentioned characteristics in breeding programs. The group three chickpea genotypes of cluster analysis (MCC32, MCC34, MCC155, MCC194, MCC199, and MCC291) and morpho-physiological and biochemical attributes affecting the yield and yield components determined from this study may be helpful for genetic engineering and breeding programs that integrate chickpea cold tolerance.

Keywords: Autumn planting, Cluster analysis, Germplasm, Photosynthetic pigments, Survival

ضرایب همبستگی و تجزیه به عامل‌های صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد

ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) تیپ دسی

- جعفر نباتی^{۱*}، علیرضا حسن فرد^۲، احمد نظامی^۳، محمد زارع مهرجردی^۴
۱- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه بقولات پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- دکتری علوم علف‌های هرز، گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استاد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی و پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۴- استادیار بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی شیروان - دانشگاه بجنورد، ایران
*نویسنده مسئول: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

شناسایی صفاتی که توصیف مناسبی از تنوع بین ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند از طریق تجزیه تابع تشخیص کانونیک، تجزیه خوشه‌ای و تعیین فاصله ژنتیکی امکان‌پذیر است. در همین راستا، ۲۹ ژنوتیپ نخود تیپ دسی و یک رقم تیپ کابلی (سارال) از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و ارتباط آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند. درصد بقای ژرم‌پلاسما نخود به‌طور معنی‌داری با محتوای رنگ‌دانه‌های فتوستنتزی و کارایی فتوسیستم II (Fv'/Fm') همبستگی منفی و با عملکرد دانه و زیست‌توده همبستگی مثبت داشت. بر اساس نتایج تجزیه به عامل‌ها، عامل اول با ۲۲/۸ درصد و عامل دوم با ۱۲/۱ درصد بیش‌ترین تغییرات را توجیه کردند. در عامل اول، مهم‌ترین صفات دارای بار مثبت عبارت بودند از Fv'/Fm'، محتوای کل رنگ‌دانه‌های فتوستنتزی، محتوای نشاسته، تعداد غلاف بارور و تعداد دانه و صفت مهم دارای بار منفی درصد بقا بود. ژنوتیپ‌های گروه پنج تجزیه خوشه‌ای در ۵۴ درصد از صفات، میانگین بیشتری در مقایسه با میانگین کل داشتند. تلاقی ژنوتیپ‌های گروه یک به علت درصد بقای زمستانه و عملکرد بالاتر و ژنوتیپ‌های گروه پنج به علت ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتر (در مقایسه با میانگین کل) که از فاصله ژنتیکی زیادی نیز برخوردار بودند می‌تواند به معرفی ارقامی با عملکرد بالا با قابلیت کشت پاییزه و برداشت مکانیزه منجر شود. همچنین، ژنوتیپ‌های گروه سه تجزیه خوشه‌ای (MCC32، MCC34، MCC155، MCC194، MCC199 و MCC291)، صفات با اولویت بالا برای گزینش توسط اصلاح‌گران را داشته و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای کشت پاییزه مورد توجه قرار گیرند.

کلمات کلیدی: بقا، تجزیه خوشه‌ای، رنگ‌دانه‌های فتوستنتزی، ژرم‌پلاسما، کشت پاییزه

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) منبع مناسبی از پروتئین، چربی، فیبر و کربوهیدرات‌ها است که در سراسر جهان مصرف می‌شود (Grasso et al., 2022). علاوه بر این، نخود نقش مؤثری در تثبیت زیستی نیتروژن، حاصلخیزی خاک و همچنین تعلیف دام ایفا می‌کند که به اهمیت ویژه تولید آن می‌افزاید (Jukanti et al., 2012). تولید ۷۸ درصد از این محصول توسط کشورهای کم‌درآمد و با کمبود مواد غذایی (FAOSTAT, 2020) حاکی از جایگاه ویژه آن به‌عنوان جایگزین منبع پروتئین حیوانی و گزینه مناسب برای تأمین امنیت غذایی است. ایران نیز با تولید حدود دو درصد از نخود جهان در زمره بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول قرار گرفته است (FAOSTAT, 2020). در سال ۲۰۲۰، تولید نخود به

۱۵ میلیون تن رسید که در این میان کشورهای آسیایی با ۸۶ درصد از کل تولید جهانی، رتبه اول را به خود اختصاص دادند (FAOSTAT, 2020).

پاسخ رشدی گیاهان توسط بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی کنترل می‌شود. در این بین، شاخص‌های تبادلات گازی به‌عنوان عوامل کلیدی شناخته می‌شوند که به‌طور قابل توجهی در رشد و توسعه گیاهان نقش دارند (Ashraf & Harris, 2013). فتوسنتز به‌عنوان یکی از فرآیندهای گیاهی مهم به‌شدت متأثر از تغییرات محیطی است؛ به‌طوری که محدودیت در فتوسنتز به علت تنش‌های محیطی به کاهش آسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن در گیاه منجر می‌شود و در نتیجه محدودیت فرآورده‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد نهایی گیاهان کاهش می‌یابد (Ashraf & Harris, 2013 Bishop & Bugbee, 1998)؛ بنابراین یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده در عملکرد گیاهانی مانند نخود پاییزه، حساسیت به تنش یخ‌زدگی و در نتیجه اختلال در دستگاه فتوسنتزی گیاه است که متعاقب آن با کاهش کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن همراه خواهد بود (Nabati *et al.*, 2021).

بررسی صفاتی مانند فتوسنتز، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای برای تعیین میزان عملکرد گیاهان مؤثر است. یکی از عوامل محدودکننده فتوسنتز، عوامل روزنه‌ای گیاهان است که در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای، انتشار دی‌اکسید کربن به فضای بین سلولی کاهش می‌یابد و همین مسئله به اختلال در روند تثبیت کربن و فرآیند فتوسنتز منجر می‌شود (Ouyang *et al.*, 2017). بررسی تغییرات عوامل فلورسانس کلروفیل به‌عنوان یک روش رایج، سریع و غیر تخریبی به‌منظور تشخیص تغییرات عملکرد دستگاه فتوسنتز در شرایط تنش یخ‌زدگی است که میزان خسارت در فتوسیستم II را تعیین می‌کند (Hasanfard *et al.*, 2021).

محتوی نسبی آب برگ یکی از عوامل مؤثر در تعیین عملکرد گیاهان است (Colom & Vazzana, 2003). پژوهشگران همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ و عوامل فلورسانس کلروفیل با عملکرد لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L) گزارش کردند (Soheili *et al.*, 2017). بر اساس پژوهش‌های پیشین کارایی مصرف آب به‌عنوان عامل مهمی در تعیین عملکرد گیاهان زراعی است که می‌تواند از مؤلفه‌های تعیین‌کننده تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی معرفی شود (Navarrete-Campos *et al.*, 2013).

گیاهان در مواجهه با شرایط متغیر محیطی، واکنش متفاوتی به تولید و انباشت مواد بیوشیمیایی از قبیل کربوهیدرات‌های محلول، نشاسته و پروتئین دارند. به این ترتیب غالباً ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش‌زای محیطی غلظت بالایی از مواد یادشده را تولید می‌کنند که باعث کاهش پتانسیل اسمزی گیاه می‌شود. در نهایت شرایط برای تولید مواد فتوسنتزی فراهم می‌شود و عملکرد گیاه نیز کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Morgan *et al.*, 1991).

همواره در ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان تحت شرایط محیطی، خصوصیات مورفولوژیکی از قبیل تعداد شاخه فرعی و ارتفاع بوته مورد توجه قرار گرفته است (Farooq *et al.*, 2017). با توجه به حساسیت بالا به شرایط نامساعد محیطی در تولید گل و غلاف جویباتی مانند نخود، به نظر می‌رسد فتوسنتز و عرضه مواد فتوسنتزی به دانه، عملکرد نهایی محصول را تحت تأثیر قرار دهد (Pang *et al.*, 2016).

1. Relative Water Content (RWC)

علی‌رغم مزیت‌های کشت پاییزه، عوامل نامساعد محیطی همچون سرما و یخبندان و بقای زمستانه، عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Nabati et al., 2020)؛ بنابراین ارزیابی ارتباط عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان با خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی به‌منظور انتخاب ژنوتیپ(های) برتر در شرایط تنش یخ‌زدگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تجزیه تابع تشخیص از روش‌های تجزیه آماری چند متغیره است که برای صحت نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای استفاده می‌شود (Nezami et al., 2022). آزمایش حاضر برای تعیین ارتباط عملکرد و اجزای عملکرد ژرم‌پلاسماهای نخود با خصوصیات یاد شده از طریق روش‌های آماری چند متغیره انجام شد.

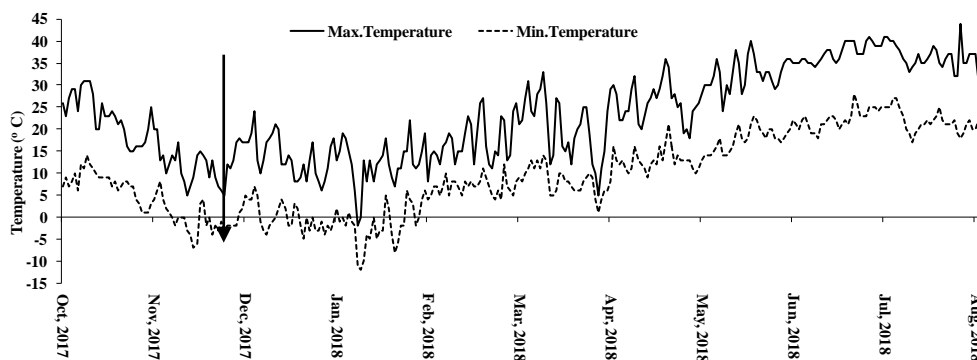
مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. اقلیم مشهد مطابق تقسیم‌بندی آمبرژه، سرد و خشک است و بر اساس آمار طولانی مدت هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه آن ۲۸۶ میلی‌متر و متوسط حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه آن به ترتیب ۴۳ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد است.

در این پژوهش ۲۹ ژنوتیپ نخود تیپ دسی و یک رقم نخود تیپ کابلی (سارال) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به‌صورت کشت پاییزه و در شرایط آبیاری تکمیلی مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژرم‌پلاسما مورد نظر از بانک بذر پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. بذرها به مدت شش ساعت در دمای اتاق با استفاده از آبنوش بذر دایان محصول شرکت خوشه پروران زیست‌فناور پرایم و قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش کاربندازیم (WP 60%)[®] به مقدار دو در هزار ضدعفونی شدند.

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم پاییزه توسط گاوآهن برگردان‌دار و تسطیح و نرم کردن خاک از طریق سیکلوتیلر انجام شد. عملیات کاشت در تاریخ سوم آبان ۱۳۹۶ در ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته ۶/۶ سانتی‌متر به‌صورت دستی در عمق دو سانتی‌متری خاک با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع انجام شد (Nasiri et al., 2021). فاصله بین هر کرت ۱۲۰ سانتی‌متر تعیین شد. ابعاد کرت‌ها ۲×۲ متر بود. آبیاری در سه مرحله شامل بلافاصله پس از کاشت، ۱۴ روز پس از اولین آبیاری و در زمان گلدهی به روش نشتی و کنترل علف‌های هرز در سه نوبت به‌صورت وجین دستی در اواسط اسفندماه، اواسط فروردین و اردیبهشت انجام شد. مهار کرم پیله‌خوار نخود (*Heliothis virescens*) در مرحله گلدهی با استفاده از حشره‌کش ایندوکساکارب (آوانت EC 15%)[®] با مصرف ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و یک هفته پس‌از آن با کاربایل (سوپن WP 85%)[®] با مصرف سه کیلوگرم در هکتار انجام شد. به‌منظور تعیین درصد بقا ((SU%)، 30 روز پس از سبز شدن (S0) و بلافاصله پس از پایان زمستان در دهه آخر اسفندماه (S1)، تعداد بوته‌های زنده هر ژنوتیپ شمارش و از طریق رابطه ۱ محاسبه شد (Nabati et al., 2020). در طول دوره رشد آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد دریافت و حداقل دما در این دوره ثبت شد (شکل ۱).

$$\text{SU}\% = \frac{S1}{S0} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی دوره آزمایش در مشهد طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Figure 1. Daily minimum and maximum temperature during chickpea growing season in 2017-2018.

پس از فصل سرما در دهه اول اردیبهشت‌ماه در مرحله گلدهی یک بار از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته شاخص‌های تبادلات گازی شامل فتوسنتز، تبخیر و تعرق و دی‌اکسید کربن اتاقلک زیر روزنه با استفاده از دستگاه (IRGA (LCA4, UK از ساعت ۸ تا ۱۰ صبح (Olcer *et al.*, 2001)، هدایت و مقاومت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (SC-1, USA)، فعالیت فتوسیستم II با اندازه‌گیری عوامل کلروفیل فلورسانس توسط دستگاه فلورومتر (OS1-FL, Opti-Sciences, USA) از ساعت ۱۱ تا ۱۲ ظهر (Murchie and Lawson, 2013) مورد ارزیابی قرار گرفتند. کارایی مصرف آب فتوسنتزی از طریق تقسیم مقدار فتوسنتز خالص بر تعرق محاسبه شد (Ahmadi and Siosemardeh, 2005). تراکم روزنه در سطح و در زیر برگ با استفاده از برق ناخن با جداسازی یک لایه از اپیدرم رویی و یک لایه از اپیدرم پشتی و قرارگیری روی لام بررسی شد (Sun *et al.*, 2014). تصویربرداری با استفاده از دوربین Nikon (مدل ds-fi-3) نصب‌شده بر میکروسکوپ (Nikon, Japan) از طریق نرم‌افزار Nis-Elements-AR, Version 4.60 ثبت شد و با استفاده از نرم‌افزار پردازشگر تصویر JMicroVision (Niu, Japan) از طریق نرم‌افزار Nis-Elements-AR, Version 4.60 ثبت شد و با استفاده از نرم‌افزار پردازشگر تصویر JMicroVision تراکم روزنه‌ها در سطح 0.01 میکرومتر مربع شمارش شدند.

ویژگی‌های ریخت‌شناسی جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته شامل طول و عرض آن و همچنین تعداد شاخه فرعی، ارتفاع اولین غلاف و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. محتوای نسبی آب برگ با روش اسمارت و بینگهام (Smart and Bingham, 1974) و پتانسیل اسمزی توسط دستگاه اسمومتر (OM802-D; Vogel, Germany) و فرمول ونت هوف (Voet *et al.*, 2001) به همراه ویژگی‌های بیوشیمیایی شامل غلظت رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Dere *et al.*, 1998)، کربوهیدرات‌های محلول (DuBois *et al.*, 1956) و نشاسته (Bradford, 1976) در جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شدند. در انتهای فصل زراعی عملکرد و اجزای عملکرد بوته‌ها با حذف حاشیه‌ها در یک مترمربع مورد ارزیابی قرار گرفتند.

نرمال نمودن داده‌ها (با آزمون شاپیرو-ویلک) و یکنواختی واریانس‌ها از طریق نرم‌افزار SPSS 27 انجام شد. برای تجزیه خوشه‌ای (با روش Ward بر اساس فاصله اقلیدسی)، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارهای دو بعدی از نرم‌افزارهای SPSS 27 و STATISTICA

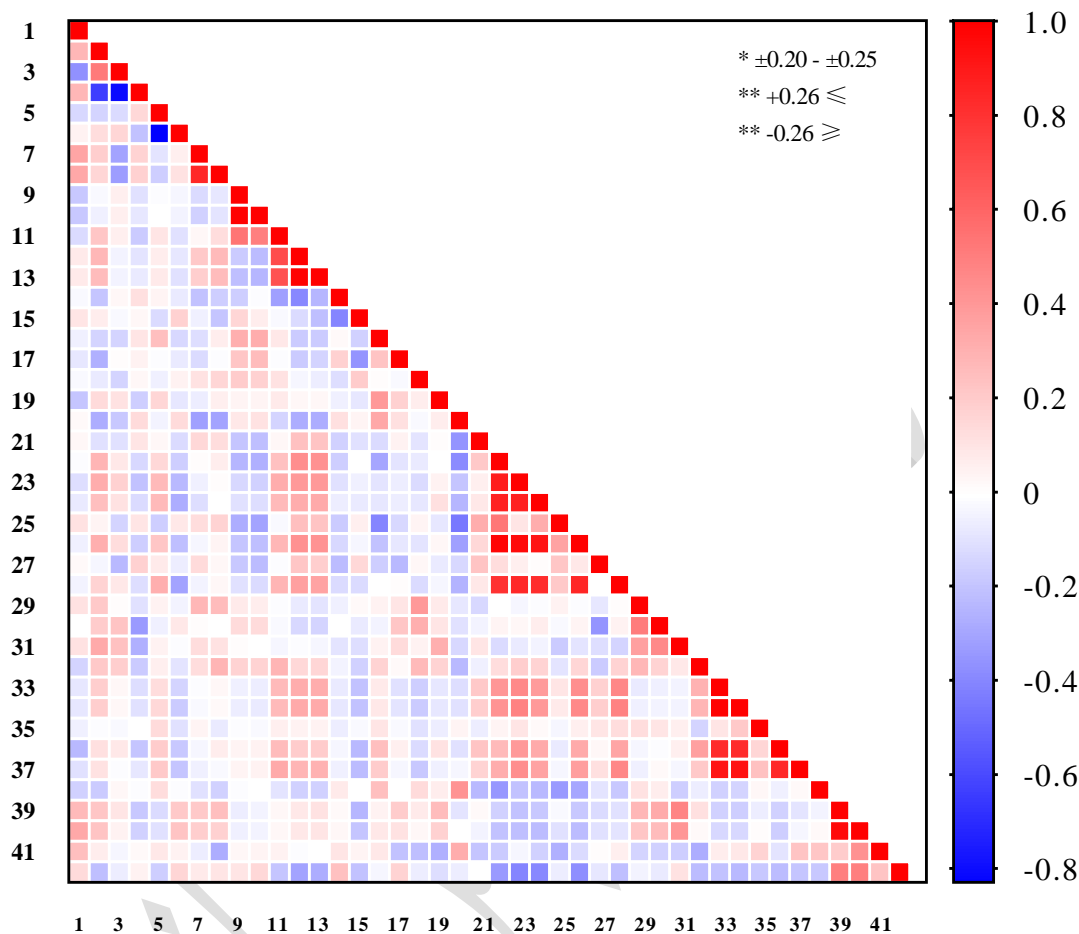
8 استفاده شد. در نهایت برای بررسی اختلاف بین گروه‌ها در صفات مختلف، مقایسه میانگین آن‌ها برای صفات از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P \leq 0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

ضرایب همبستگی

درصد بقای زمستانه با محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، کل رنگ‌دانه‌های فتوستتزی و Fv'/Fm' همبستگی منفی و معنی‌دار و با عملکرد دانه و زیست‌توده همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (شکل ۲). بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (0.96^{**}) نیز در رابطه بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک مشاهده شد.

احتمالاً سازوکار بقای زمستانه در ژرم‌پلاسِم نخود به نحوی بوده است که تولید محتوای رنگ‌دانه‌های فتوستتزی در طول این فصل کمتر باشد. به عبارت دیگر، انرژی کمتری برای تولید گیرنده‌های نوری گیاه اختصاص یافته است. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، مطالعات نشان دادند که بین بقای گیاهان و Fv'/Fm' در باقلا (*Vicia faba* L.) و عدس (*Lens culinaris* Medik.) ارتباط همسویی برقرار است (Nabati *et al.*, 2018; Nabati *et al.*, 2022). احتمالاً گونه گیاهی، شدت و مدت تنش و نیز ظرفیت خوسرمایی بوته‌ها از عوامل مهم در تفاوت یافته‌های آزمایش است. از طرفی ارتباط همسو و معنی‌دار درصد بقا با عملکرد دانه و زیست‌توده نشان می‌دهد که در صورت زمستان گذرانی موفق، ژرم‌پلاسِم موردبررسی از پتانسیل مناسبی در تخصیص فراورده‌های فتوستتزی به مخزن (تولید دانه یا افزایش وزن دانه) و اندام‌های رویشی برخوردار است. به عبارت دیگر، پس از زمستان گذرانی موفق توازن ارسال فراورده‌های فتوستتزی به منبع و مخزن به‌طور مطلوبی برقرار شده است.



شکل ۲- ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی، عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی. ۱- فتوسنتز، ۲- تعرق، ۳- CO_2 اتاقک زیر روزنه، ۴- کارایی مصرف آب، ۵- هدایت روزنه‌ای، ۶- مقاومت روزنه‌ای، ۷- تعداد روزنه سطح برگ، ۸- تعداد روزنه پشت برگ، ۹- سطح ثابت فلورسانس، ۱۰- حداقل فلورسانس، ۱۱- حداکثر فلورسانس، ۱۲- کارایی فتوسینتم II، ۱۳- کارایی عملیاتی فتوسینتم II، ۱۴- فرود فتوشیمیایی، ۱۵- تخمین باز بودن مراکز فتوسینتم II، ۱۶- طول برگ، ۱۷- عرض برگ، ۱۸- تعداد شاخه در گلدهی، ۱۹- طول شاخه اصلی در گلدهی، ۲۰- محتوای نسبی آب برگ، ۲۱- پتانسیل اسمزی، ۲۲- کلروفیل a، ۲۳- کلروفیل b، ۲۴- کاروتنوئیدها، ۲۵- نسبت کلروفیل a/b، ۲۶- کل رنگ‌دانه‌ها، ۲۷- کربوهیدرات‌های محلول، ۲۸- نشاسته، ۲۹- ارتفاع اولین غلاف، ۳۰- ارتفاع بوته، ۳۱- طول بوته، ۳۲- تعداد شاخه، ۳۳- تعداد غلاف در بوته، ۳۴- تعداد غلاف پر، ۳۵- درصد غلاف بارور، ۳۶- زیست‌توده در بوته، ۳۷- وزن دانه در بوته، ۳۸- وزن صد دانه، ۳۹- عملکرد بیولوژیک، ۴۰- عملکرد دانه، ۴۱- شاخص برداشت، ۴۲- بقا.

Figure 2. Pearson correlation coefficient matrix between morphophysiological traits, biochemical traits, yield, and yield components of desi-type chickpea genotypes. 1. Photosynthetic rate, 2. Transpiration rate, 3. CO_2 sub stomatal, 4. WUE, 5. Stomatal conductance, 6. Stomatal resistance, 7. Stomatal adaxial, 8. No. Stomatal abaxial, 9. Ft', 10. F0', 11. Fm', 12. Fv/Fm', 13. Fq/Fm', 14. Fq/Fv', 15. qL, 16. Leaf length, 17. Leaf width, 18. Branch No in flowering, 19. Branch length in flowering, 20. RWC %, 21. Osmotic potential, 22. Cha, 23. Chb, 24. Carotenoids, 25. Cha/Chb, 26. Total pigment, 27. Soluble carbohydrates, 28. Starch, 29. Lowest pod height, 30. Plant height, 31. Plant length, 32. Branch No. in maturity, 33. Pod No. Plant, 34. Pod fully No., 35. Filled pod percentage, 36. Biomass plant, 37. Grain plant, 38. 100-grain weight, 39. Biological yield, 40. Grain yield, 41. Harvest index, 42. Survival.

تجزیه به عامل‌ها

تجزیه به عامل‌ها بر اساس صفات موردبررسی انجام شد و از طریق مقادیر ویژه ($Eigenvalue > 1$) ۱۲ عامل که ۸۸/۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند، انتخاب شدند (جدول ۱). بر همین اساس عامل اول با ۲۲/۸ درصد بیش‌ترین سهم از توجیه تغییرات را به خود اختصاص داد. در عامل اول، مهم‌ترین صفات دارای بار مثبت عبارت بودند از Fv/Fm' ، محتوای کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، نشاسته، تعداد غلاف پر (بارور) و تعداد دانه و تنها صفت مهم دارای بار منفی درصد بقا بود. عامل دوم نیز ۱۲/۱ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد. بر همین اساس هدایت روزنه‌ای، طول برگ، RWC و وزن صد دانه دارای بار مثبت و فتوسنتز، تعداد روزنه سطح پشتی برگ و کلروفیل b/a دارای بار منفی بودند. بیش‌ترین ضریب در تجزیه به عامل‌ها برای عملکرد دانه و شاخص برداشت در عامل پنجم با بار منفی مشاهده شد.

در عامل اول رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها و کل رنگ‌دانه‌ها (به‌ترتیب با ضرایب ۰/۸۷، ۰/۹۰، ۰/۹۰ و ۰/۹۱) و درصد بقا (با ضریب -۰/۵۲) ضرایب بالا اما دارای بار متفاوتی نسبت به همدیگر بودند و این نتیجه مؤید نتایج همبستگی آن‌ها است. در عامل اول ضرایب رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی بالا بودند؛ بنابراین این عامل را می‌توان عامل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نامید. در هر پنج عامل اول، ضرایب درصد بقا و عملکرد دانه (از نظر بار) همسو با یکدیگر بودند که این موضوع با نتایج همبستگی دو صفت یادشده یکسان بود. بیش‌ترین ضرایب در عامل پنج به عملکرد دانه (-۰/۶۱) و شاخص برداشت (-۰/۸۰) متعلق بود که این عامل را نیز می‌توان به نام عملکرد و شاخص برداشت نام‌گذاری کرد. بیش‌ترین تغییرات واریانس داده‌ها توسط عوامل اول و دوم توجیه شدند و این دو عامل برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در دستگاه مختصات استفاده شدند (شکل ۳). بر همین اساس، مطابق قسمت مشخص شده در شکل شماره ۳، هشت ژنوتیپ به همراه رقم سارال در محدوده مثبت عوامل اول و دوم قرار گرفتند (شکل ۳).

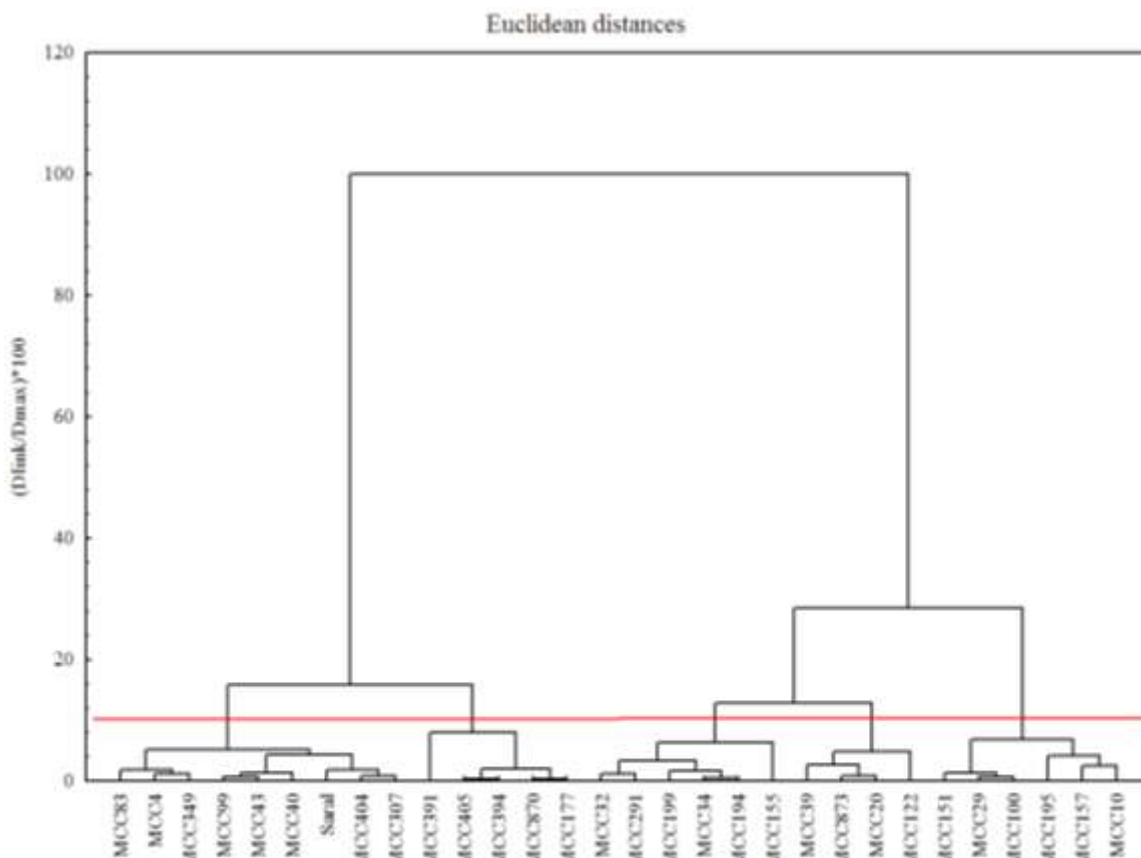
جدول ۱- تجزیه به عامل‌ها برای ۴۲ صفت در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی در مشهد در سال ۹۷-۱۳۹۶

Table 1. Factor analysis for 42 traits in desi-type chickpea genotypes at Mashhad in 2017-18

Traits	Facto عامل ۱	Facto عامل ۲	Facto عامل ۳	Facto عامل ۴	Facto عامل ۵	Facto عامل ۶	Facto عامل ۷	Facto عامل ۸	Facto عامل ۹	Factor عامل ۱۰	Factor عامل ۱۱	Factor عامل ۱۲
فتوسنتز Photosynthetic rate	-	=	-	-	-	-	0.299	-	-	-0.077	-0.050	0.454
تمرق Transpiration rate	0.336	-	0.307	<u>0.501</u>	-	-	0.016	0.103	-	-0.154	-0.156	0.209
CO ₂ اتاقتک زیر روزنه CO ₂ substomatal	0.113	-	0.399	<u>0.793</u>	-	0.233	-	0.125	-	-0.077	-0.022	-0.114
کارایی مصرف آب WUE	-	0.162	-	=	0.076	-	0.074	-	0.014	0.053	0.064	0.032
هدایت Stomatal conductance	0.413	<u>0.444</u>	0.131	-	-	0.134	-	-	0.341	-0.155	-0.405	0.111
مقاومت روزنه‌ای Stomatal resistance	-	-	-	<u>0.399</u>	-	-	0.057	0.103	-	0.245	0.385	-0.262
تعداد روزنه No. Stomatal adaxial	0.026	=	0.055	-	0.058	-	0.058	-	-	-0.264	0.109	-0.067
تعداد روزنه No. Stomatal abaxial	0.114	-	0.187	=	0.163	-	0.072	-	-	-0.124	0.135	0.014
سطح ثابت فلورسانس Ft'	-	<u>0.508</u>	0.447	-	0.341	-	0.387	0.338	0.142	0.016	-0.024	0.080
حداقل فلورسانس FO'	-	<u>0.541</u>	0.463	-	0.331	-	0.419	0.295	0.113	0.019	-0.030	0.040
حداکثر فلورسانس Fm'	<u>0.651</u>	0.110	0.347	-	0.114	-	0.104	0.288	0.267	0.277	0.097	-0.005
کارایی فتوسینتیم Fv/Fm' II	<u>0.716</u>	-	-	-	-	-	-	0.152	0.226	0.267	0.142	0.011
کارایی عملیاتی فتوسینتیم Fq/Fv' ; II	<u>0.724</u>	-	-	-	-	-	-	0.109	0.210	0.288	0.141	-0.038
فرود فتوشیمیایی Fq/Fv'	-	0.305	0.008	-	-	<u>0.485</u>	0.304	-	-	-0.020	-0.103	-0.350
تخمین باز بودن مراکز فتوسینتیم qL II	-	0.012	-	0.458	0.090	=	-	-	0.049	-0.197	-0.234	0.126
طول برگ Leaf length	-	<u>0.575</u>	0.412	-	-	-	-	0.118	-	-0.150	-0.046	0.154
عرض برگ Leaf width	-	0.162	0.435	-	0.065	<u>0.465</u>	0.013	0.009	0.198	0.078	0.370	0.179
تعداد شاخه Branch No in flowering	-	-	0.261	-	0.426	-	-	=	0.098	0.267	-0.301	-0.231
طول Branch length in flowering	0.152	-	0.432	-	-	0.214	=	0.139	-	0.050	-0.247	0.097
محتوای نسبی آب برگ RWC	-	<u>0.537</u>	-	-	-	-	-	-	-	0.256	0.189	0.145
پتانسیل اسمزی Osmotic potential	0.238	-	-	-	0.163	<u>0.426</u>	-	0.271	0.153	-0.149	0.058	-0.165
کلروفیل a Cha	<u>0.874</u>	-	-	0.111	0.055	0.204	0.147	-	0.039	0.009	-0.022	0.086
کلروفیل b Chb	<u>0.904</u>	0.060	-	0.130	-	0.137	0.087	-	-	-0.027	0.020	0.102

نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه از طریق فاصله اقلیدسی (روش Ward)، ژرم‌پلاسم نخود را به پنج گروه متمایز تقسیم کرد (شکل ۴). گروه یک با ۹ ژنوتیپ بیش‌ترین و گروه چهار با چهار ژنوتیپ کمترین تعداد ژنوتیپ را به خود اختصاص دادند. به‌منظور بررسی سهم هر یک از صفات مورد مطالعه برای هر گروه، انحراف از میانگین برای صفات محاسبه شد (جدول ۲). بر این اساس، میانگین درصد بقای گروه‌های یک و سه و میانگین عملکرد دانه گروه‌های یک، سه و پنج بیشتر از میانگین کل بود. مطابق جدول ۲، گروه‌های یک تا پنج به ترتیب در ۵۱، ۳۹، ۵۱، ۳۷ و ۵۴ درصد از صفات میانگین بیشتری در مقایسه با میانگین کل داشتند. رقم سارال به همراه هشت ژنوتیپ در گروه یک قرار گرفت. فریدا تراوره و همکاران (Farida Traoré et al., 2022) نیز از تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی ۲۸۲ لاین نخود تیپ کابلی بر اساس صفات زراعی - فیزیولوژیک و صفات کیفی استفاده کردند. این محققان از این طریق ژنوتیپ‌های امیدبخش را به‌منظور آزادسازی ارقام اصلاح‌شده از نظر عملکرد و خصوصیات کیفی معرفی کردند.

بقای زمستانه و عملکرد دانه بالا در کنار هم می‌توانند زمینه‌ساز گزینش مناسب ژنوتیپ‌های نخود برای کشت پاییزه محسوب شوند. در این آزمایش، ژنوتیپ‌های گروه‌های یک و سه که میانگین درصد بقا و عملکرد دانه آن‌ها بیش از میانگین کل است، می‌توانند به‌منظور به‌گزینی در برنامه‌های اصلاحی مورد بهره‌ر قرار گیرند. همچنین از آنجایی که کشت مکانیزه در سال‌های اخیر مدنظر تولیدکنندگان این محصول بوده است، گزینش ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتر می‌تواند زمینه‌ساز افزایش سطح زیر کشت آن‌ها باشد. به همین منظور ژنوتیپ‌های گروه‌های سه و پنج با میانگین بیشتر در صفات یادشده در مقایسه با میانگین کل می‌توانند در مطالعات گزینش به‌منظور برداشت مکانیزه مناسب باشند. در آزمایشی مشابه، مقایسه میانگین خوشه‌بندی ژنوتیپ‌های عدس برای به‌گزینی آنها از نظر عملکرد و اجزای عملکرد مورد استفاده قرار گرفت (Nabati et al., 2021). در این گونه آزمایش‌ها ژنوتیپ‌ها در گروه‌های متمایز تقسیم‌بندی می‌شوند که پژوهشگران مطابق با اهداف به‌گزینی خود، ژنوتیپ‌های امیدبخش را برای آزمایش‌های تکمیلی شناسایی می‌کنند. تجزیه واریانس گروه‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها از نظر مقادیر مقاومت روزنه‌ای، تراکم روزنه در سطح و پشت برگ، کلروفیل b/a و ارتفاع اولین غلاف وجود دارد (جدول ۳). به‌عبارت‌دیگر، مقادیر واریانس بین گروه‌ها در هریک از صفات یادشده به ترتیب ۱/۷، ۵۷، ۶۲، ۱/۸ و ۱/۷ برابر بیشتر از واریانس درون گروه‌ها است. معنی‌داری واریانس بین گروهی در صفات یادشده، نشان‌دهنده یکسان نبودن میانگین گروه‌ها بود و همین مسأله اهمیت تجزیه خوشه‌ای برای تعیین ژنوتیپ‌های برتر از نظر صفات یادشده را تأیید می‌کند. مقدار بالای واریانس بین گروه‌ها برای هر یک از صفات در مقایسه با واریانس درون گروه‌ها نشان‌دهنده تبیین مناسب اثر صفت یادشده در آزمایش و اثر خطای کمتر است. تجزیه واریانس چند متغیره بر پایه طرح کاملاً تصادفی نامتعادل به‌منظور تأیید تفاوت بین گروه‌ها نیز نشان داد که آزمون ویلکس لامبدا^۱ در تابع اول با مقدار کمتر از ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود (جدول ۴).



شکل ۴- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی بر اساس صفات مورد مطالعه.

Figure 4. Cluster grouping of desi-type chickpea genotypes based on studied traits.

جدول ۲- میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای و میانگین کل برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی

Table 2. Mean of the groups in cluster analysis and the total for studied traits in desi type chickpea genotypes

صفات Traits	Group1	Group2	Group3	Group4	Group5	Total
	Number of genotypes					30
	9	5	6	4	6	
فتوسنتز Photosynthetic rate	10.4±4.06	7.84±4.18	12.3±5.24	9.72±3.14	12.4±5.04	10.7±4.45
تعرق Transpiration rate	2.23±0.930	1.53±0.660	2.30±0.940	2.33±1.09	2.29±1.36	2.15±0.986
CO ₂ اتافاک زیر روزنه CO ₂ substomatal	384±21.3	377±37.6	363±40.7	370±38.7	356±48.7	371±35.9
کارایی مصرف آب WUE	5.24±2.53	7.40±6.72	6.45±4.05	6.09±5.56	8.16±6.19	6.54±4.68
هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	17.7±3.03	17.2±2.43	15.9±3.34	18.7±1.27	16.7±1.26	17.2±2.56
مقاومت روزنه‌ای Stomatal resistance	59.5±11.0	59.6±9.36	69.9±14.6	55.3±5.03	57.9±3.82	60.7±10.5
تعداد روزنه سطح برگ No. Stomatal adaxial	23739±1514	19913±2045	30313±2141	31017±2471	36380±2505	27915±6124
تعداد روزنه پشت برگ No. Stomatal abaxial	27192±1666	22556±2755	35456±1994	29505±1628	39746±2365	30891±6384
سطح ثابت فلورسانس Ft'	324±45	330±47	334±40	313±12.0	317±25.1	324±36.09
حداقل فلورسانس FO'	327±45.0	336±44.9	337±41.7	31.5±11.4	319±25.22	327±36.4
حداکثر فلورسانس Fm'	853±152	862±140	851±74.5	858±17.2	887±98.5	861±109
کارایی فتوسنتز II Fv'/Fm' II	0.602±0.059	0.600±0.077	0.602±0.051	0.632±0.014	0.637±0.020	0.613±0.051
کارایی عملیاتی فتوسنتز II Fq'/Fm' II	0.606±0.058	0.609±0.064	0.606±0.050	0.634±0.014	0.639±0.020	0.617±0.047
فرود فتوشیمیایی Fq'/Fv'	1.012±0.006	1.019±0.034	1.007±0.005	1.003±0.002	1.005±0.003	1.008±0.015
تخمین باز بودن مراکز فتوسنتز II qL II	0.998±0.003	0.999±0.003	0.997±0.002	0.997±0.001	0.997±0.003	0.998±0.003
طول برگ Leaf length	6.61±0.727	6.34±0.50	6.94±0.57	6.41±0.528	6.34±0.648	6.55±0.623
عرض برگ Leaf width	2.96±0.350	2.73±0.174	2.91±0.167	2.73±0.233	2.82±0.400	2.85±0.291
تعداد شاخه در گلدهی Branch No. in flowering	3.19±2.06	3.20±0.869	3.44±0.886	2.17±0.694	3.78±1.71	3.22±1.48
طول شاخه اصلی در گلدهی Branch length in flowering	44.8±8.93	38.0±7.02	45.2±6.44	42.4±5.59	40.2±3.83	42.5±7.03
محتوای نسبی آب برگ RWC	63.1±5.83	62.9±4.67	62.4±4.72	60.7±2.76	57.2±4.94	61.4±5.15

Osmotic potential پتانسیل اسمزی	1.90±0.236	1.831±0.205	1.89±0.176	2.06±0.323	2.07±0.175	1.94±0.226
Cha کلروفیل a	0.399±0.303	0.266±0.092	0.236±0.090	0.321±0.082	0.383±0.158	0.331±0.193
Chb کلروفیل b	0.309±0.230	0.194±0.027	0.206±0.038	0.280±0.085	0.245±0.064	0.252±0.136
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.133±0.083	0.099±0.025	0.090±0.024	0.094±0.026	0.118±0.029	0.111±0.051
Cha/Chb نسبت کلروفیل a/b	1.25±0.320	1.36±0.335	1.1±0.244	1.17±0.229	1.54±0.284	1.29±0.307
Total pigment کل رنگدانه‌ها	0.840±0.606	0.560±0.133	0.533±0.148	0.695±0.175	0.746±0.244	0.694±0.370
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	1.34±0.711	1.31±1.176	1.41±0.857	2.24±0.459	1.45±0.495	1.49±0.782
Starch نشاسته	109±96.6	61.9±16.3	66.3±11.5	75.7±8.4	87.6±24.5	84.0±55.7
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	12.7±4.81	12.5±2.43	15.5±4.93	10.4±2.30	16.1±3.52	13.6±4.23
Plant height ارتفاع بوته	40.7±7.86	42.5±11.2	43.8±12.9	36.3±4.38	42.4±10.7	41.4±9.51
Plant length in maturity طول بوته در رسیدگی	47.9±8.66	46.7±7.28	55.2±8.64	46.6±11.7	49.8±6.76	49.4±8.53
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	152±116	170±32.0	173±59.6	170±36.9	165±56.2	164±72.3
Pod fully No. تعداد غلاف پر	131±106	147±29.4	144±46.1	147±40.9	139±41.0	140±63.9
Filled pod درصد غلاف بارور	84.1±7.26	86.5±3.21	83.1±5.33	85.0±8.13	85.3±5.19	84.7±5.79
Biomass plant زیست توده در بوته	80.6±51.9	81.3±18.5	87.5±32.9	85.8±27.4	91.1±28.1	84.9±34.8
100-grain weight وزن صد دانه	18.2±7.53	17.8±3.13	17.1±2.84	20.5±9.07	16.2±5.88	17.8±5.88
Biological yield زیست توده	594±238	426±185	671±327	456±76.6	615±183	567±231
Grain yield عملکرد دانه	251±98.4	184±81.2	294±178	213±48.9	247±90.6	242±109
Harvest index شاخص برداشت	43.0±5.81	43.2±4.47	41.7±6.19	46.5±5.03	38.9±6.15	42.4±5.75
Survival بقا	64.0±25.0	53.5±25.1	73.7±11.2	58.0±5.06	59.3±17.8	62.5±19.6
Grain plant ¹ وزن دانه در بوته	33.0±28.2	38.3±5.98	36.8±11.5	42.1±7.41	33.8±13.7	36.0±17.2

جدول ۳- تجزیه واریانس گروه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود دسی

Table 3. Analysis of variance of groups based on the studied characteristics of desi type chickpea genotypes

Traits صفات	Between Groups بین گروه‌ها	Within Groups داخل گروه‌ها
df درجه آزادی	4	25
Photosynthetic rate فتوسنتز	19.6	19.8
Transpiration rate تعرق	0.585	1.034
CO ₂ substomatal اتناقک زیر روزنه	862	1358
WUE کارایی مصرف آب	8.91	23.9
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	6.06	6.63
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	172*	101*
No. Stomatal adaxial تعداد روزنه سطح برگ	245014804**	4308558**
No. Stomatal abaxial تعداد روزنه پشت برگ	268419270**	4335025**
Ft' سطح ثابت فلورسانس	390.647	1448.203
F0' حداقل فلورسانس	486	1461
Fm' حداکثر فلورسانس	1284	13662
Fv'/Fm' II کارایی فتوسنتز	0.002	0.003
Fq'/Fm' ; II کارایی عملیاتی فتوسنتز	0.002	0.002
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	0	0
qL تخمین باز بودن مراکز فتوسنتز	0	0
Leaf length طول برگ	0.376	0.39
Leaf width عرض برگ	0.066	0.088
Branch No. in flowering تعداد شاخه در گلدهی	1.66	2.28
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	55.7	48.4
RWC محتوای نسبی آب برگ	38.1	24.6
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	0.063	0.049
Cha a کلروفیل a	0.033	0.038
Chb b کلروفیل b	0.015	0.019
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.002	0.003
Cha/Chb a/b نسبت کلروفیل a/b	0.149*	0.085*
Total pigment کل رنگدانه‌ها	0.113	0.14
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	0.662	0.604
Starch نشاسته	2598	3187
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	27.8*	16.3*
Plant height ارتفاع بوته	39.6	98.6
Plant length in maturity طول بوته در رسیدگی	71.4	73.1
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	512	5987
Pod fully No. تعداد غلاف پر	334	4687
Filled pod درصد غلاف بارور	8.87	37.5
Biomass plant زیست توده در بوته	127	1381

100-grain weight وزن صد دانه	12.3	38.1
Biological yield زیست توده	58382	52334
Grain yield عملکرد دانه	9342	12383
Harvest index شاخص برداشت	38.1	32.3
Survival بقا	330	392
Grain plant ⁻¹ وزن دانه در بوته ¹	71.1	331

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels

جدول ۴- نتایج معنی‌داری آماره آزمون‌های ویلکس لامبدا و کای اسکویر

Table 4. Results of Wilks' Lambda and Chi-square tests

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
آزمون توابع	ویلکس لامبدا	کای اسکوئر	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
1	0.000	144	84	0.000
2	0.015	67.0	60	0.249
3	0.134	32.1	38	0.738
4	0.440	13.1	18	0.783

برای بررسی صحت گروه‌بندی حاصل از تجزیه خوشه‌ای از تابع تشخیص استفاده شد (جدول ۵). بر اساس نتایج آن، ژرم‌پلاسما مورد بررسی به‌طور صحیح گروه‌بندی شده است. موفقیت تابع تشخیص در این آزمایش ۱۰۰ درصد بود که همین مسئله نشان دهنده قرارگیری صد درصدی ژنوتیپ‌ها در گروه خود است.

جدول ۵- نتایج صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی با استفاده از تابع تشخیص

Table 5. The results of confirming the grouping of desi-type chickpea genotypes using the discriminant analysis

Group	Group Membership اعضای گروه					Total جمع کل
	1	2	3	4	5	
1	9	0	0	0	0	9
2	0	5	0	0	0	5
3	0	0	6	0	0	6
4	0	0	0	4	0	4
5	0	0	0	0	6	6
Percent درصد	100	0	0	0	0	100
	0	100	0	0	0	100
	0	0	100	0	0	100
	0	0	0	100	0	100
	0	0	0	0	100	100

گروه‌ها به درستی گروه‌بندی شدند 100%

100% of original grouped cases correctly classified.

تجزیه تابع تشخیص کانونیکی نشان داد که هر چهار متغیر کانونیک مقدار ویژه بالاتر از یک داشتند (جدول ۶). در این میان، متغیر کانونیک اول (مقدار ویژه ۱۱۸)، ۹۱/۲ درصد از واریانس موجود را توجیه می‌کند. همبستگی کانونیکی هر چهار متغیر معنی‌دار بود که این نتایج نشان دهنده توجیه مناسب تفاوت بین ژنوتیپ‌ها توسط متغیرهای کانونیک است. در تابع اول تشخیص کانونیکی تعداد روزنه سطح پستی برگ و در تابع دوم به ترتیب ارتفاع بوته، طول و عرض برگ، درصد بقا، Fq/Fm' ، Fv/Fm' و فتوسنتز از ضرایب استاندارد شده کانونیکی بیشتری

برخوردار بودند (جدول ۶). درصد بقا، ارتفاع بوته و طول برگ در تابع دوم و عملکرد دانه در تابع چهارم دارای ضریب استاندارد شده کانونیکی بیشتری بودند. از این رو، صفات یادشده با ضرایب بالا بیشترین تأثیر را در تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشتند. به عبارت دیگر، درصد بقا ارتفاع بوته و طول برگ و عملکرد دانه در توابع خود سهم بیشتری از تنوع بین ژنوتیپ‌ها را توجیه کردند. به این ترتیب که ضرایب تشخیص استاندارد، اثرات خالص هر صفت را در تابع تشخیص به خوبی نشان داد. بنابراین، نتایج این قسمت نشان داد که تجزیه تشخیص کانونیکی در شناخت تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها و معرفی صفاتی که توصیف مناسب‌تری از تنوع بین ژنوتیپ‌ها داشتند، مفید بود.

جدول ۶- ماتریس ساختاری ضرایب استاندارد کانونیکی صفات مورد بررسی به دست آمده در ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی

Table 6. Structure matrix of standardized canonical discriminant function coefficients studied traits obtained in desi-type chickpea genotypes.

صفات Traits	متغیرهای کانونیکی Canonical varieties			
	1	2	3	4
No. Stomatal adaxial برگ تعداد روزنه بالای برگ	-0.272*	-0.196	-0.072	0.147
Plant height ارتفاع بوته	0.102	0.273*	0.203	0.090
Leaf length طول برگ	0.169	0.266*	-0.096	0.076
Survival بقا	0.078	-0.243*	0.052	0.183
Leaf width عرض برگ	-0.003	0.119*	-0.052	-0.040
Fq'/Fm' ; II کارایی عملیاتی فتوسینتیم II	-0.024	-0.084*	-0.038	-0.062
Fv'/Fm' II کارایی فتوسینتیم II	-0.022	-0.072*	-0.056	-0.057
Photosynthetic rate فتوسنتز	-0.033	0.060*	0.011	0.011
100-grain weight وزن صد دانه	-0.006	0.121	0.472*	0.000
Filled pod درصد غلاف بارور	-0.263	0.282	-0.388*	-0.137
Pod fully No. تعداد غلاف پر	0.136	0.131	-0.340*	-0.270
Plant length طول بوته در رسیدگی	0.020	0.036	-0.328*	0.144
No. Stomatal abaxial برگ تعداد روزنه پشت برگ	-0.285	0.089	0.326*	0.031
Grain plant ¹ وزن دانه در بوته	0.153	0.217	-0.288*	-0.199
Pod No. Plant تعداد غلاف در بوته	0.172	0.100	-0.287*	-0.253
Lowest pod height ارتفاع اولین غلاف	-0.033	0.067	0.214*	-0.073
Stomatal conductance هدایت روزنه‌ای	0.015	-0.058	-0.201*	-0.051
Fq'/Fv' فرود فتوشیمیایی	-0.011	-0.044	0.169*	-0.009
Branch No. in flowering تعداد شاخه در گلدهی	-0.012	0.052	0.151*	-0.142
Branch length in flowering طول شاخه اصلی در گلدهی	-0.005	0.120	-0.138*	0.137
Osmotic potential پتانسیل اسمزی	-0.032	-0.079	-0.117*	-0.067
Transpiration rate تعرق	-0.020	0.037	-0.111*	0.044
WUE کارایی مصرف آب	-0.010	-0.048	0.110*	-0.049
FO' حداقل فلورسانس	0.010	0.040	0.103*	0.060
CO ₂ substomatal CO ₂ اتاقت زیر روزنه	0.025	0.033	-0.091*	-0.045
Ft' سطح ثابت فلورسانس	0.008	0.043	0.085*	0.063
qL II تخمین باز بودن مراکز فتوسینتیم II	0.024	-0.002	0.024*	-0.015
Biological yield زیست توده	0.068	0.136	-0.017	0.433*
Grain yield عملکرد دانه	0.055	0.112	-0.059	0.421*
Starch نشاسته	0.078	-0.046	-0.248	-0.375*
Chb b کلروفیل b	-0.038	0.044	-0.214	-0.370*
Total pigment کل رنگ‌دانه‌ها	0.003	0.028	-0.183	-0.308*
Carotenoids کاروتنوئیدها	0.142	0.029	-0.196	-0.270*
Stomatal resistance مقاومت روزنه‌ای	-0.006	0.119	0.173	0.263*
Biomass plant زیست توده در بوته	0.039	0.161	-0.251	-0.262*
Cha a کلروفیل a	-0.005	0.015	-0.147	-0.258*
Soluble carbohydrates کربوهیدرات‌های محلول	-0.008	-0.093	-0.163	0.173*
Harvest index شاخص برداشت	0.062	-0.045	-0.164	0.167*
RWC محتوای نسبی آب برگ	0.037	0.082	-0.023	0.150*
Cha/Chb a/b نسبت کلروفیل	-0.019	-0.035	0.063	0.135*
Fm' حداکثر فلورسانس	-0.007	-0.021	0.023	-0.064*
Eigen value ویژه مقادیر	118	7.86	2.27	1.27

Cumulative %	تجمعی سهم درصد	91.2	97.3	99.0	100
Canonical correlation	کانونیک همبستگی	0.996	0.942	0.833	0.748

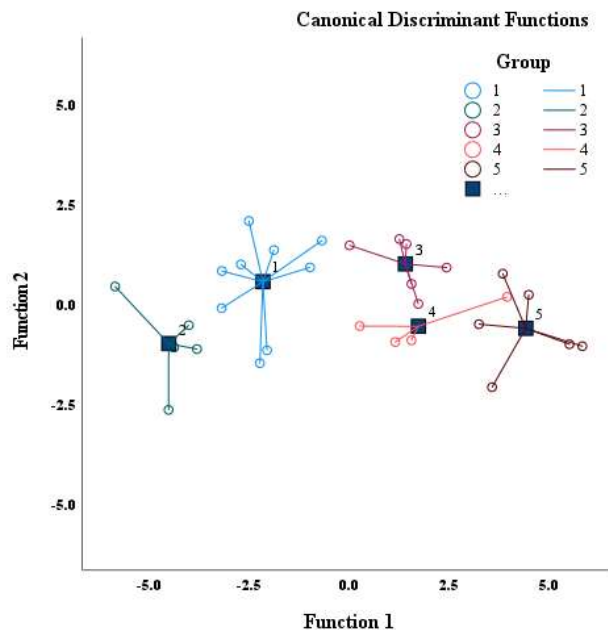
متغیرها بر اساس اندازه مطلق همبستگی در تابع مرتب شدند.

Variables ordered by absolute size of correlation within function.

* بزرگ‌ترین همبستگی مطلق بین هر متغیر و تابع کانونیک (تابع تشخیص)

*Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function.

ژرم‌پلاسِم مورد بررسی بر اساس تجزیه خوشه‌ای از نظر فاصله ژنتیکی (تفاوت ژنومی) نیز بررسی شد. بیش‌ترین فاصله ژنتیکی بین گروه‌های دو و پنج و کمترین آن بین گروه‌های سه و چهار مشاهده شد (شکل ۵). بر این اساس، ژنوتیپ‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی که در گروه‌های متفاوت قرار می‌گیرند، شباهت ژنتیکی بیشتری دارند. به عبارت دیگر، تنوع ژنتیکی بین گروهی در مقایسه با تنوع ژنتیکی درون گروهی بیشتر است. هرچند که لزوماً فاصله ژنتیکی عامل کلیدی برای تعیین هتروزیس در گیاه نیست (Suri *et al.*, 2022)، اما به‌طور کلی هیبریداسیون ژنوتیپ‌هایی با فاصله ژنتیکی بیشتر برای بهره‌گیری از هتروزیس یا ترکیب‌پذیری بالا مناسب است. در این آزمایش، فاصله ژنوتیپ‌های گروه یک با گروه پنج نیز بیشتر بود؛ بنابراین با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های گروه یک، درصد بقا و عملکرد بالاتر و ژنوتیپ‌های گروه پنج، ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتری در مقایسه با میانگین کل داشتند، تلاقی ژنوتیپ‌های این دو گروه توسط اصلاح‌گران می‌تواند به آزادسازی ارقامی با پتانسیل زمستان‌گذرانی مناسب و عملکرد بالاتر با قابلیت برداشت مکانیزه منجر شود.



شکل ۵- گروه‌بندی ژنوتیپ‌های نخود تیپ دسی بر اساس تجزیه خوشه‌ای از نظر فاصله ژنتیکی

Figure 5. Distribution of desi-type chickpea genotypes based on their grouping by cluster analysis in terms of genetic distance

ژنوتیپ‌های گروه سه تجزیه خوشه‌ای (MCC32، MCC34، MCC155، MCC194، MCC199 و MCC291)، تمام صفات مهم و مورد اولویت برای گزینش توسط اصلاح‌گران از جمله درصد بقای زمستانه بالا، عملکرد دانه مناسب، ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف بیشتر را دارند و می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای کشت پاییزه مورد توجه قرار گیرند. در این آزمایش فاصله ژنوتیپ‌های گروه یک با پنج بیشتر بود که با توجه به خصوصیات برتر این دو گروه می‌توانند در معرفی ارقام مورد توجه قرار گیرند. بر اساس تقسیم‌بندی گروه‌ها، می‌توان از تنوع خصوصیات ژنوتیپ‌ها در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد. برای مثال گروه‌هایی که میانگین بالاتری در شاخص‌های تبادلات گازی، عوامل روزنه‌ای، عوامل فلورسانس کلروفیل و محتوای رنگ‌دانه دارند، می‌توانند در تلاقی با گروه‌هایی که از درصد بقا و عملکرد دانه بیشتری برخوردارند، قرار گیرند. نتایج هر یک از صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی و همبستگی آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد می‌توانند بسته به شرایط متغیر محیطی از اهمیت بیشتری برخوردار باشند. برخلاف نتایج آزمایش حاضر، احتمالاً در زمستان‌های سخت زنجیره انتقال الکترون و کارکرد دستگاه فتوسنتز با بقای زمستانه همبستگی مثبتی داشته باشند. به عبارت دیگر، ضرایب بالاتر خصوصیات یادشده در تجزیه به عامل‌ها احتمالاً نشان‌دهنده پتانسیل بالقوه ژنوتیپ‌ها در زمستان‌گذرانی موفق به علت خوسرمایی مناسب خواهد بود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از پتانسیل ژنوتیپ‌های امیدبخش در هر یک از صفات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی به نحو مطلوبی به منظور اصلاح و معرفی ارقام استفاده شود.

منابع

1. Ashraf, M.H.P.J.C., and Harris, P.J.C. 2013. Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica* 51(2): 163-190.
2. Bishop, D.L., and Bugbee, B.G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Physiology* 153(5-6): 558-565.
3. Bradford, M.M. 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
4. Colom, M.R., and Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany* 49(2): 135-144.
5. Dere, S., Gines, T., and Sivaci, R. 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany* 22: 13-17.
6. DuBois, M., Gilles, K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., and Smith. F. 1956. Calorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28: 350-356.
7. FAOSTAT. 2020 Food and Agriculture Organization. Statistical database of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) statistical division
8. Farida Traoré, F., El-Baouchi, A., En-Nahli, Y., Hejjaoui, K., Metougui, M.L., Hamwih, A., Sohail, Q., Istanbuli, T., Boughribil, S., and Amri, M. 2022. Exploring the genetic variability and potential correlations between nutritional quality and agro-physiological traits in kabuli chickpea germplasm collection (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in Plant Science* 13: 905320.
9. Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S.S., and Siddique, K.H.M. 2017. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203(2): 81-102.
10. Grasso, N., Lynch, N.L., Arendt, E.K., and O'Mahony, J.A. 2022. Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 21(1): 435-452.
11. Hasanfard, A., Rastgoo, M., Darbandi, E.I., Nezami, A., and Chauhan, B.S. 2021. Regeneration capacity after exposure to freezing in wild oat (*Avena ludoviciana* Durieu.) and turnipweed (*Rapistrum rugosum* (L.) All.) in comparison with winter wheat. *Environmental and Experimental Botany* 181: 104271.

12. Jukanti, A.K., Gaur, P.M., Gowda, C.L.L., and Chibbar, R.N. 2012. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition* 108(1): 11-26.
13. Morgan, J.M., Rodriguez-Maribona, B., and Knights, E.J. 1991. Adaptation to water-deficit in chickpea breeding lines by osmoregulation: relationship to grain-yields in the field. *Field Crops Research* 27(1-2): 61-70.
14. Murchie, E.H., and Lawson, T. 2013. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany* 64 (13): 3983–3998.
15. Nabati, J., Hasanfard, A., Nezami, A., Ahmadi-Lahijani, M.J., and Boroumand Rezazadeh, E. 2021. Gas exchange variables as promising criteria for screening freezing-tolerant faba bean (*Vicia faba* L.) landraces at early growth stages. *Legume Science* 3(1): 72.
16. Nabati, J., Nezami, A., Hasanfard, A., and Haghghat Sheshvan, Z. 2018. The trend of changes in chlorophyll fluorescence parameters in two *Vicia faba* ecotype during freezing stresses. *Iranian Journal Pulses Research* 9(2): 139-150. (In Persian with English Summary)
17. Nabati, J., Nezami, A., Hasanfard, A., Zare Mehrjerdi, M., and 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.
18. Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S.M., Hasanfard, A.R., Hojjat, S.S., and Bagheri, A. 2020. Freezing tolerance in some lentil genotypes under controlled conditions. *Seed and Plant Improvement Journal* 36(2): 183-205. (In Persian with English Summary)
19. Nabati, J., Nezami, A., Mirmiran, S.M., Hasanfard, A., and Ahmadi Lahijani, M.J. 2022. The chlorophyll fluorescence parameters response of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes to freezing stress. *Iranian Journal of Field Crop Science* 53(1): 79-93. (In Persian with English Summary)
20. Navarrete-Campos, D., Bravo, L.A., Rubilar, R. A., Emhart, V., and Sanhueza, R. 2013. Drought effects on water use efficiency, freezing tolerance and survival of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus globulus* × *nitens* cuttings. *New Forests* 44(1): 119-134.
21. Nezami, A., Nabati, J., Mirmiran, S.M., Hasanfard, A., and Mohammadi, M. 2022. How Does the Freezing Stress in the Seedling Stage Affect the Chickpea's Morpho-Physiological and Biochemical Attributes?. *Gesunde Pflanzen*. DOI : 10.1007/s10343-022-00771-7.
22. Olcer, H., Lloyd, J.C., and Raines, C.A. 2001. Photosynthetic capacity is differentially affected by reductions in sedoheptulose-1, 7-bisphosphatase activity during leaf development in transgenic tobacco plants. *Plant Physiology* 125(2): 982-989.
23. Ouyang, W., Struik, P.C., Yin, X., and Yang, J. 2017. Stomatal conductance, mesophyll conductance, and transpiration efficiency in relation to leaf anatomy in rice and wheat genotypes under drought. *Journal of Experimental Botany* 68(18): 5191-5205.
24. Pang, J., Turner, N.C., Khan, T., Du, Y.L., Xiong, J.L., Colmer, T.D., Devilla, R., Stefanova, K., and Siddique, K.H. (2016). Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany* 68(8): 1973-1985.
25. Smart, R.E., and Bingham G.E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology* 53: 258–260.
26. Soheili movahhed, S., esmaeili, M.A., Jabbari, F., khorrandel, S., and fouladi, A. 2017. Effects of water deficit on relative water content, chlorophyll fluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. *Journal of Crop Production* 10 (1): 169-190.
27. Sun, Y., Yan, F., Cui, X., and Liu, F. 2014. Plasticity in stomatal size and density of potato leaves under different irrigation and phosphorus regimes. *Journal of Plant Physiology* 171(14): 1248-1255.
28. Suri, G.K., Braich, S., Noy, D.M., Rosewarne, G.M., Cogan, N.O., and Kaur, S. 2022. Advances in lentil production through heterosis: Evaluating generations and breeding systems. *Plos One* 17(2): e0262857.
29. Ahmadi, A., and Siosemardeh, A. 2005. Investigation on the physiological basis of grain yield and drought resistance in wheat: Leaf photosynthetic rate, stomatal conductance, and non-stomatal limitations. *International Journal of Agriculture and Biology* 7(5): 807–811.
30. Voet, D., Voet, J.G., and Pratt, C.W. 2001. *Fundamentals of Biochemistry Upgrade*. New York, Wiley.
31. Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., and Kafi, M. 2021. Screening of Kabuli-type chickpea genotypes for salinity tolerance under field condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 14(4), 1055-1068.
32. Nabati, J., Nezami, A., Boroumand Rezazadeh, E., Azari, S.J., and Mohammadi, M. 2020. Evaluation of Freezing tolerance of deci-type chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) in Mashhad climate conditions. *Journal of Crop Production*, 12(4): 121-136.