



Research Article

Study of functional and photosynthetic parameters and their relationships in black bean genotypes

Seyedeh Soudabeh Shobeiri¹, Ali Akbar Asadi², Ali Akbar Ghanbari³

1-Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran. E-mail: s.shobeiri@yahoo.com

2-Corresponding Author, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

E-mail: asadipm@gmail.com

3-Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: aghanbari2004@yahoo.com

Received: May 21, 2026

Revised: June 28, 2026

Accepted: June 28, 2026

Published: July 11, 2026

Extended Abstract

Introduction

Increasing awareness of physiological and yield traits that are effective in shaping grain yield can be a suitable criterion for selecting effective traits for improving grain yield. In this regard, the stability of physiological characteristics and maintenance of plant photosynthetic capacity are of great importance in studies related to drought tolerance and selection of resistant genotypes. On the other hand, a better understanding of plant physiological responses to environmental stresses can assist breeders in programs that aim to breed for drought or salinity tolerance. Measuring grain yield is one of the important indicators in crop breeding programs for adaptation to biotic and abiotic stress conditions; however, due to the low heritability of this trait, measuring the yield, physiological, morphological, and biochemical traits related to stress, especially drought stress, seems necessary alongside it. Given the high antioxidant and nutritional properties of black beans, selecting tolerant genotypes based on physiological and yield parameters can help develop the cultivation of these cultivars in low rainfall areas of the country. Iran has an arid and semi-arid climate, and water deficit is one of the main problems of Iranian agriculture; therefore, the occurrence of drought stress during the growth period is inevitable, and even the reaction of bean varieties to drought stress is different. The present study aimed to evaluate physiological factors and yield components and their relationships with grain yield in 21 black bean lines during two consecutive years under normal irrigation conditions.

Materials and Methods

This research was conducted using selected advanced lines of black bean (21 lines of Colombian origin) in a randomized complete block design with 3 replications at Kheirabad station in Zanjan province during two cropping seasons from 2023 to 2025. Photosynthetic parameters were measured during the growing season and yield traits were measured after harvest. Combined variance analysis, comparison of means, correlation, and finally stepwise regression analysis were performed with the dependent variable of photosynthesis rate and total yield.

Results

The results of the combined analysis of variance showed that in photosynthetic parameters, except for the traits of photosynthetic activated radiation and photosynthesis rate, a significant difference was observed at the 1% level between the two years of the experiment. Except for the stomatal conductance parameter, no significant differences were observed between the studied genotypes. Significant differences were observed at the 1% probability level in all functional and morphological traits between the studied genotypes. The existence of significant differences

indicated the diversity between the studied genotypes in terms of these traits and the possibility of selecting desirable genotypes based on them under normal conditions. Genotypes G5, G20, G2 and G4 had the highest stomatal conductance, G2, G19, G20 and G13 had the highest number of pods per plant, G21, G5, G6, G8, G12 and G17 had the highest number of seeds per pod, G2, G19 and G13 had the highest number of seeds per plant, G1, G4, G11 and G6 had the highest 100-seed weight and G19, G13 and G15 had the highest seed yield. Substomatal CO₂ showed a significant negative correlation with photosynthetic water efficiency, photosynthetic water use efficiency, mesophyll conductance, and leaf temperature, and a significant positive correlation with stomatal conductance. Transpiration rate showed a positive correlation with leaf temperature, substomatal CO₂ content, and stomatal conductance, and a significant negative correlation with water use efficiency and photosynthetic water use efficiency. Grain yield showed a significant positive correlation with the traits number of plants per plot, plant height, number of pods per plant, number of seeds per plant, and photosynthetic water use efficiency, and a significant negative correlation with substomatal CO₂, transpiration rate, and stomatal conductance. Stepwise regression analysis showed that among the photosynthetic parameters, stomatal conductance and substomatal CO₂, had a significant positive and negative effect explaining changes in the rate of photosynthesis respectively. Among the measured yield traits, the traits number of plants per plot, number of seeds per pod, number of days to maturity, and 100-seed weight had a significant positive effect explaining changes in yield. Therefore, high values of the number of seeds per pod and the weight of 100 seeds have led to increased grain yield.

Conclusion

The results showed that G19, G13, and G15 had the highest seed yield and these genotypes had a higher number of pods per plant and a higher number of seeds per plant than other genotypes. Stomatal conductance and substomatal CO₂, were the most important traits explaining changes in photosynthesis rate, and four traits, number of plants per plot, number of seeds per pod, number of days to maturity, and 100-seed weight, were the most important traits explaining changes in seed yield. Therefore, these traits can be significant as a basis for selection to improve bean seed yield in breeding programs for different environmental conditions.

Keywords: Photosynthesis, Transpiration, Water use efficiency, Yield components.

Author Contributions

Conceptualization and methodology, Shobeiri, S.S.; Performing experiments and measurements, Shobeiri, S.S.; formal analysis and data curation, Asadi, A.A.; writing-original draft preparation, Asadi, A.A., writing- review and editing, Asadi, A.A.; supervision, Shobeiri, S.S.; project administration, Shobeiri, S.S. & Asadi, A.A.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This article is published as part of the results of an approved project implemented at the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Zanjan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. The authors would like to thank the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Cite this article: Shobeiri, S.S., Asadi, A.A., & Ghanbari, A.A. (2026). Study of functional and photosynthetic parameters and their relationships in black bean genotypes. *Journal of Soil and Plant Science*, 36(2), 59-81.

<https://doi.org/10.22034/sps.2026.72554.1040>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2026 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz





مقاله پژوهشی

بررسی پارامترهای عملکردی و فتوسنتزی و روابط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه

سیده سودابه شبیری^۱، علی‌اکبر اسدی^۲، علی‌اکبر قنبری^۳

۱- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.

رایانامه: s.shobeiri@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: asadipm@gmail.com

۳- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

رایانامه: aghanbari2004@yahoo.com

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

چکیده

ثبات ویژگی‌های فیزیولوژیک و حفظ توان فتوسنتزی گیاه اهمیت زیادی در مطالعات مرتبط با تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی عوامل فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد و روابط آن‌ها با محصول دانه در ۲۱ لاین لوبیای سیاه در طی دو سال متوالی و در دو فصل زراعی ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ اجرا شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که در پارامترهای فتوسنتزی، به‌جز در صفات تشعشع فعال فتوسنتزی و میزان فتوسنتز، بین دو سال اجرای آزمایش تفاوت معناداری مشاهده شد. به‌جز پارامتر هدایت روزنه‌ای بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری مشاهده نشد. در تمامی صفات عملکردی و مورفولوژیکی بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تفاوت معناداری وجود داشت. وجود تفاوت‌های معنادار نشانگر تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر این صفات و امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس آن‌ها در شرایط نرمال بود. ژنوتیپ‌های G2، G19، G20 و G13 دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته، ژنوتیپ‌های G21، G5، G6، G8، G12 و G17 دارای بیشترین تعداد دانه در غلاف، ژنوتیپ‌های G2، G19 و G13 دارای بیشترین تعداد دانه در بوته، ژنوتیپ‌های G1، G4، G11 و G6 دارای بیشترین وزن ۱۰۰ دانه و ژنوتیپ‌های G19، G13 و G15 دارای بیشترین عملکرد دانه بودند. صفات تعداد بوته در کرت، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه با تأثیر مثبت معنادار تبیین‌کننده تغییرات میزان عملکرد بودند. بنابراین، مقادیر بالای تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه سبب افزایش محصول دانه شدند. ژنوتیپ‌های G19، G13 و G15 بیشترین محصول دانه را داشتند و تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته آن‌ها بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. رگرسیون گام به گام نشان داد که هدایت روزنه‌ای و CO₂ زیرروزنه‌ای مهمترین صفات تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز و تعداد بوته در کرت، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه مهمترین صفات تبیین‌کننده تغییرات محصول دانه بودند. بنابراین، این صفات می‌توانند برای بهبود محصول دانه لوبیا در برنامه‌های اصلاحی برای انتخاب ژنوتیپ در شرایط مختلف محیطی قابل توجه باشند.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تعرق، فتوسنتز، کارایی مصرف آب.

استناد به این مقاله: شبیری، س.س.، اسدی، ع.ا. و قنبری، ع.ا. (۱۴۰۵). بررسی پارامترهای عملکردی و فتوسنتزی و روابط بین آن‌ها در ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۶(۲)، ۵۹-۸۱.

<https://doi.org/10.22034/sps.2026.72554.1040>

مقدمه

لوبیای سیاه رقمی از لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) و متعلق به تیره بقولات است. لوبیای سیاه حاوی طیف گسترده‌ای از فلاونوئیدها، از جمله فلاونولها، گلیکوزیدهای فنولی، آنتوسیانین‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها و ایزوفلاون و برخی از اسیدهای فنولیک است (Fernandez et al., 2010). یک لیوان لوبیای سیاه (معادل ۱۷۵ گرم) می‌تواند نزدیک به ۱۵ گرم فیبر و ۱۵ گرم پروتئین (معادل ۵۰ گرم گوشت مرغ یا ماهی) داشته باشد. ترکیب تقریباً جادویی فیبر و پروتئین لوبیای سیاه فواید مهمی برای سلامتی دستگاه گوارش، سیستم تنظیمی قند خون و سیستم قلبی عروقی دارد (Wang et al., 2011).

اندازه‌گیری عملکرد دانه یکی از شاخص‌های مهم در برنامه‌های اصلاحی گیاهان زراعی برای مقاومت به شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد؛ اما به دلیل وراثت‌پذیری پایین این صفت، توجه به صفات اجزای عملکرد، فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با تنش، به‌ویژه تنش خشکی در کنار آن ضروری به نظر می‌رسد (Blum, 1990). با توجه به خواص بالای آنتی‌اکسیدانی (ناشی از وجود فلاونوئیدها) و ارزش غذایی بالای لوبیای سیاه، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل، با توجه به پارامترهای فیزیولوژیک و عملکردی می‌تواند به توسعه کشت لوبیای سیاه در مناطق کم بارش کمک کند (Xu & Chang, 2009). تنش‌های زیستی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد لوبیا هستند که شامل بیماری‌های قارچی، باکتریایی، ویروسی، نماتدها و آفات حشره‌ای می‌شوند. این عوامل با ایجاد خسارت به برگ، ساقه، ریشه، غلاف و دانه، سطح فتوسنتز را کاهش داده، جذب آب و عناصر غذایی را مختل کرده و موجب کاهش رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شوند. در نتیجه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه و کیفیت محصول کاهش می‌یابد. بسته به نوع عامل بیماری‌زا، شدت آلودگی و شرایط محیطی، خسارت عملکرد می‌تواند از حدود ۲۰ درصد تا بیش از ۸۰ درصد و در برخی بیماری‌های شدید حتی به ۱۰۰ درصد برسد (Singh & Schwartz, 2010). عملکرد دانه‌ای لوبیا همانند سایر حبوبات به‌طور معمول کمتر از غلات است و روند افزایشی در تولید آن در دهه‌های گذشته مشاهده نشده است. یکی از علل این مشاهده، می‌تواند شرایط نامساعد محیطی برای کشت این محصول در مناطق مختلف کشت باشد. همچنین سازوکار تشکیل اجزای اقتصادی عملکرد لگوم‌ها نسبت به سایر گیاهان زراعی پیچیده است (Majnoun Hosseini, 2008). تنش خشکی، به‌عنوان یکی از عوامل اصلی کاهش محصول لوبیا معرفی شده است به‌طوری‌که میانگین کاهش محصول ناشی از تنش خشکی در نقاط مختلف دنیا بیش از ۵۰ درصد گزارش شده است (Zlatev & Yordanov, 2004). ایران دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است و کمبود آب، یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است؛ لذا، وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان اجتناب‌ناپذیر بوده و حتی واکنش ارقام مختلف لوبیا نیز نسبت به تنش خشکی متفاوت است (Zabet et al., 2003).

استفاده از صفات فیزیولوژیک یکی از بهترین راهکارها جهت ایجاد ژنوتیپ‌های جدید است (Turner & Nicolas, 1987). ولی اصلاح برای محیط‌های تنش‌زا، نیاز به درک عمیق فرایندهای تعیین‌کننده عملکرد دارد (Del Blanco et al., 2000). درک بهتر پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاهان به تنش‌های محیطی می‌تواند اصلاحگر را در برنامه‌هایی که هدف آن‌ها اصلاح برای تحمل به خشکی یا شوری است، یاری نماید (Koc et al., 2003; Dastneshan & Sabokdast, 2020). افزایش آگاهی از صفات فیزیولوژیک مؤثر بر شکل‌گیری محصول دانه می‌تواند معیاری مناسب برای انتخاب این صفات در اصلاح برای محصول دانه باشد. در همین راستا، ثبات ویژگی‌های فیزیولوژیک و حفظ توان فتوسنتزی گیاه اهمیت زیادی در مطالعات مرتبط با تحمل به خشکی و انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم در

نخود (Rahbarian *et al.*, 2011) و عدس (Ahmadpour *et al.*, 2017) برای کشت دارد. فتوسنتز یکی از فرایندهای کلیدی است که در تثبیت کربن و تولید کربوهیدرات‌ها در گیاهان نقش به‌سزایی دارد (Bishop & Bugbee, 1998). واکنش برگ‌ها به‌عنوان اندام اصلی فتوسنتز کننده با توجه به دمای هوا، دمای برگ، رطوبت نسبی هوا و سایر خصوصیات محیطی متفاوت است. عوامل محدودکننده فتوسنتز به دو دسته تقسیم می‌شوند: عوامل روزنه‌ای که منجر به کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به فضای بین‌سلولی بر اثر کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شوند و عوامل غیرروزنه‌ای که فتوسنتز را از طریق اثر مستقیم بر فرایندهای بیوشیمیایی تثبیت کربن محدود می‌کنند. در حالت عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای، به لحاظ اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه، غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه‌ای افزایش می‌یابد. عامل اصلی محدودکننده فتوسنتز، کاهش هدایت مزوفیلی است (Fischer *et al.*, 1998). اولین پاسخ سازگاری گیاهان در برابر تنش‌های محیطی نظیر خشکی، شوری و گرما، بستن روزنه‌ها است تا هدررفت آب به‌وسیله تعرق را کاهش دهد (Hosseinzadeh *et al.*, 2014). با توجه به اینکه تعرق عامل اصلی در کشش آب در آوندهای چوبی است، قطعاً کاهش تعرق منجر به اختلال در فرایند انتقال غیرفعال می‌شود (Amiri *et al.*, 2017). گیاهانی که از سازوکارهای کارآمدتری در تنظیم هدایت روزنه‌ای برخوردارند، توانایی بیشتری در تحمل تنش خشکی دارند. این گیاهان با کاهش کنترل‌شده تعرق، محتوای نسبی آب برگ و فشار تورگر را بهتر حفظ کرده و از اختلال در انتقال آب از طریق آوند چوب و جابه‌جایی مواد فتوسنتزی در آوند آبکش جلوگیری می‌کنند؛ در نتیجه، رشد و فرایندهای متابولیکی و سلولی در سطح مطلوب‌تری ادامه می‌یابد (Jaleel *et al.*, 2009; Ahmadpour *et al.*, 2017). در مقابل، ارقام حساس به تنش به دلیل ناتوانی در تنظیم مناسب هدایت روزنه‌ای و کنترل اتلاف آب، با کاهش شدید محتوای آب برگ، افت فشار تورگر، اختلال در عملکرد سامانه آوندی، تشدید پژمردگی و در نهایت کاهش رشد و عملکرد مواجه می‌شوند (Rahbarian *et al.*, 2011). البته لازم به ذکر است که روزنه‌ها به‌تنهایی کاهش تعرق را در پی ندارند و عواملی مانند زاویه برگ، حرکت برگ، ضخامت کوتیکول، مقاومت لایه مرزی و سایر ویژگی‌های مورفولوژیک و آناتومیک نیز در میزان تعرق نقش دارند (Jones, 1998). بسته شدن روزنه‌ها در طی تنش گرچه برای کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد اما به علت ممانعت از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Yordanov *et al.*, 2003). در شرایط تنش تنظیم عملکرد روزنه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است و بسته شدن روزنه‌ها موجب کاهش ورود CO_2 به فضای بین سلولی شده که در نهایت کاهش غلظت CO_2 درون سلولی را به دنبال دارد (Zlatev & Yordanov, 2004). تحقیقات بر روی حبوبات از قبیل نخود، عدس و لوبیا نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت CO_2 درون‌برگی بر اثر بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Armand *et al.*, 2015).

طبق گزارش محققان افت عملکرد لگوم‌های دانه‌ای در شرایط تنش خشکی عمدتاً مربوط به کاهش تعداد غلاف در بوته است (Pilbeam *et al.*, 1992; Lopez *et al.*, 1996). باین وجود، نونز باریوس و همکاران (Nunez *et al.*, 2005) گزارش کردند که در تنش خشکی شدید، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه نقش مهمی در افت شاخص برداشت و عملکرد دارند. دپروست و همکاران (Deproost *et al.*, 2004) گزارش کردند که تنش متوسط طی گلدهی باعث کاهش ۳۰ تا ۷۰ درصدی محصول دانه نسبت به شاهد در محیط بدون تنش می‌گردد. بر اساس مطالعه اسدی و همکاران (Assady *et al.*, 2011) تنش خشکی به‌طور متوسط منجر به کاهش عملکرد به میزان ۱۶ تا ۴۶ درصد می‌شود. عملکرد دانه در لوبیا حاصل اثرمتقابل پیچیده فرایندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک است که در میان آن‌ها، پارامترهای تبادل گازی شامل میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، میزان تعرق،

تشعشع فعال فتوسنتزی و کارایی مصرف آب نقش اساسی در تعیین میزان تولید ماده خشک و تخصیص آن به اندام‌های زایشی دارند (Farquhar et al., 1980; Flexas et al., 2012). میزان فتوسنتز مهم‌ترین شاخص ظرفیت تثبیت کربن در گیاه محسوب شده و افزایش آن موجب افزایش تولید مواد فتوسنتزی، رشد رویشی، تشکیل غلاف، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه می‌شود. در لوبیا، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین نرخ فتوسنتز برگ و عملکرد دانه گزارش شده است، به‌طوری که ژنوتیپ‌های دارای نرخ فتوسنتز بالاتر معمولاً ماده خشک بیشتری تولید کرده و عملکرد بالاتری نیز دارند (Rosales et al., 2012; Beebe et al., 2013). هدایت روزنه‌ای با تنظیم ورود دی‌اکسیدکربن به برگ، یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده فتوسنتز است. افزایش هدایت روزنه‌ای در شرایط بدون تنش معمولاً سبب افزایش جذب CO_2 ، افزایش فتوسنتز و در نهایت افزایش تعداد غلاف و عملکرد دانه می‌شود. با این حال، در شرایط کمبود آب، کاهش هدایت روزنه‌ای یک سازوکار حفاظتی برای کاهش اتلاف آب از طریق تعرق است، هرچند این کاهش می‌تواند محدودیت‌هایی در فتوسنتز ایجاد کند (Lawlor & Tezara, 2009). هدایت مزوفیلی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی محدودکننده فتوسنتز بیانگر سرعت انتقال CO_2 از حفره‌های بین‌سلولی برگ به کلروپلاست است. افزایش هدایت مزوفیلی موجب افزایش غلظت CO_2 در محل فعالیت آنزیم روبیسکو، افزایش تثبیت کربن، تولید بیشتر ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در بسیاری از گیاهان زراعی، از جمله لگوها، هدایت مزوفیلی همبستگی مثبت و معنی‌داری با نرخ فتوسنتز و عملکرد دارد (Flexas et al., 2012; et al., 2008). تعرق اگرچه به‌طور مستقیم باعث تولید ماده خشک نمی‌شود، اما از طریق تنظیم دمای برگ، انتقال مواد معدنی و حفظ جریان آب در آیندها، نقش مهمی در تداوم فعالیت فتوسنتزی دارد. در شرایط مطلوب، تعرق مناسب موجب خنک شدن برگ و جلوگیری از مهار فتوسنتز در اثر افزایش دما می‌شود، اما در شرایط تنش خشکی، افزایش بیش از حد تعرق سبب کاهش پتانسیل آب برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش تعداد غلاف، تعداد دانه و عملکرد می‌شود (Blum, 2011). ژنوتیپ‌هایی که قادرند با مصرف آب کمتر، فتوسنتز بیشتری انجام دهند، از کارایی مصرف آب بالاتری برخوردار بوده و معمولاً در شرایط کم‌آبی عملکرد بالاتری دارند. در لوبیا، گزارش شده است که کارایی مصرف آب با تعداد غلاف، وزن دانه و عملکرد دانه همبستگی مثبت دارد و به همین دلیل یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی محسوب می‌شود (Condon et al., 2004; Beebe et al., 2013). تشعشع فعال فتوسنتزی یکی از عوامل تعیین‌کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است. حدود ۴۵ تا ۵۰ درصد انرژی تابشی خورشید در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر قرار دارد که برای فتوسنتز قابل استفاده است. هرچه گیاه بتواند سهم بیشتری از تشعشع فعال فتوسنتزی را جذب و با کارایی بیشتری به ماده خشک تبدیل کند، تولید زیست‌توده و عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در لوبیا، افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی از طریق توسعه مناسب سطح برگ و بهبود معماری کانوپی، موجب افزایش تجمع ماده خشک، تعداد غلاف و عملکرد نهایی می‌شود (Monteith & Moss, 1977; Sinclair & Muchow, 1999). در مجموع، نتایج مطالعات نشان می‌دهد که افزایش نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی، کارایی مصرف آب و کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی، معمولاً با افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد زیستی و عملکرد دانه در لوبیا همراه است؛ در حالی که افزایش تعرق، تنها در صورتی که موجب حفظ تعادل حرارتی و وضعیت آبی گیاه شود، اثر مثبت بر عملکرد دارد و در شرایط تنش خشکی می‌تواند اثر معکوس داشته باشد.

این پژوهش با هدف ارزیابی تنوع پارامترهای فتوسنتزی، بررسی عملکرد و اجزای عملکرد و تعیین روابط بین این شاخص‌های فیزیولوژیکی و صفات عملکردی در ۲۱ لاین لوبیای سیاه طی دو سال زراعی در شرایط آبیاری نرمال اجرا شد. همچنین، این پژوهش به دنبال شناسایی صفات فتوسنتزی کلیدی و لاین‌های برتر از نظر کارایی فتوسنتزی و عملکرد دانه است تا از نتایج آن در برنامه‌های اصلاحی و معرفی ارقام با پتانسیل عملکرد بالا استفاده شود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از لاین‌های پیشرفته منتخب لوبیای سیاه (۲۱ لاین خارجی از منشأ کلمبیا- تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر) (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در ایستگاه خیرآباد در دو فصل زراعی ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ اجرا شد. هر کرت آزمایشی شامل ۵ خط ۵ متری به فاصله ۵۰ سانتی‌متر با فاصله بین بوته ۵ سانتی‌متر از یکدیگر بود (مساحت کرت ۱۲/۵ متر مربع- ۵۰۰ دانه در هر کرت). پس از شخم و آماده‌سازی زمین که شامل دیسک و لولر و ایجاد فارو بود، با مساعد شدن شرایط اقلیمی منطقه و پس از پیاده‌سازی نقشه طرح بر روی زمین زراعی، کشت در اواسط خردادماه در هر دو سال صورت گرفت. عناصر غذایی ماکرو و میکرو بر اساس آزمون خاک به زمین داده شد. مشخصات خاک ایستگاه در جدول ۲ ارائه شده است. از علف‌کش پیش‌کاشت تریفلورالین به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار به‌منظور کنترل علف‌های هرز قبل از کاشت استفاده شد. در طول فصل رشد مراقبت‌های معمول زراعی نظیر وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات به‌طور یکسان برای تمام کرت‌ها صورت گرفت. در زمان برداشت بوته‌های هر پلات به‌صورت جداگانه برداشت و عملکرد هر کرت پس از خرمن‌کوبی، توزین گردید. علاوه بر پارامترهای فتوسنتزی، صفات تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی، تعداد بوته در کرت، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و محصول دانه اندازه‌گیری گردید.

پارامترهای فتوسنتزی مورد بررسی شامل تشعشع فعال فتوسنتزی ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)، دمای برگ، هدایت روزنه‌ای ($\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)، میزان تعرق ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{s}$)، غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)، میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)، کارایی مصرف آب فتوسنتزی ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$) با تقسیم میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای، هدایت مزوفیلی ($\text{mmol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$) با تقسیم فتوسنتز به غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای و کارایی مصرف آب ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$) با تقسیم میزان فتوسنتز بر تعرق حاصل محاسبه شد (Papi Mousavi et al., 2013). میزان کمتر فتوسنتز و فرآوری دی‌اکسید کربن در حضور مقادیر بالای دی‌اکسید کربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی‌اکسید کربن می‌باشد (Papi Mousavi et al., 2013). کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی طی یک نوبت برای هر ژنوتیپ در مرحله گلدهی در ساعات ۹ تا ۱۲ صبح و در شدت نور معادل ۱۵۹۷-۲۰۰۰ میکرومول فوتون بر مترمربع بر ثانیه انجام شد. صفات مورد نظر از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته قسمت میانی بوته‌های مربوط به هر ژنوتیپ در سه تکرار اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص‌های فتوسنتزی به‌وسیله دستگاه اندازه‌گیری تبادل گازی قابل حمل مدل L.C.I ساخت کشور انگلستان انجام شد. برای اندازه‌گیری عوامل فتوسنتزی از برگ‌های سالم و بالغ استفاده شد.

تجزیه واریانس مرکب بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی توسط نرم‌افزار SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. تجزیه همبستگی و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر تابع میزان فتوسنتز (پارامترهای فتوسنتزی به‌عنوان متغیر پیرو) و عملکرد کل (اجزای عملکرد به‌عنوان متغیر پیرو) نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (لازم به ذکر است که در تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با متغیر فتوسنتز از صفاتی که از پارامتر فتوسنتز در محاسبه آن‌ها به کار رفته است استفاده نشد).

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد بررسی در آزمایش.

Table 1- Genotypes studied in the experiment.

Code	Line Name	Origin	Code	Line Name	Origin
G1	KS10037	Imported lines originating from Colombia	G12	KS10036	Imported lines originating from Colombia
G2	KS10068	Imported lines originating from Colombia	G13	KS10009	Imported lines originating from Colombia
G3	KS10105	Imported lines originating from Colombia	G14	KS10002	Imported lines originating from Colombia
G4	KS10005	Imported lines originating from Colombia	G15	KS10028	Imported lines originating from Colombia
G5	KS10003	Imported lines originating from Colombia	G16	KS10039	Imported lines originating from Colombia
G6	KS10101	Imported lines originating from Colombia	G17	KS10034	Imported lines originating from Colombia
G7	KS10040	Imported lines originating from Colombia	G18	KS10025	Imported lines originating from Colombia
G8	KS10026	Imported lines originating from Colombia	G19	KS10108	Imported lines originating from Colombia
G9	KS10006	Imported lines originating from Colombia	G20	KS10027	Imported lines originating from Colombia
G10	KS10109	Imported lines originating from Colombia	G21	KS10110	Imported lines originating from Colombia
G11	KS10004	Imported lines originating from Colombia			

جدول ۲- مشخصات خاک منطقه کشت آزمایش.

Table 2- Soil characteristics of the experimental cultivation area.

درصد رطوبت	EC	pH	CCE	OC	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	شن	سیلت	رس
(%)	(dS/m)		(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(%)	(%)
۳۹	۰/۷۰۳	۸/۲۴	۵/۱	۰/۵۹	۲۶۵	۲/۴	۳۴	۳۰	۳۶

CCE: کلسیم کربنات معادل؛ OC: کربن آلی

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. در پارامترهای فتوسنتزی، بین دو سال اجرای آزمایش تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱ درصد بین سال‌ها مشاهده شد (به‌جز در صفات تشعشع فعال فتوسنتزی و میزان فتوسنتز). ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تمامی صفات (به‌جز هدایت روزنه‌ای در سطح احتمال ۵ درصد) تفاوت معناداری را با یکدیگر نشان ندادند. این نتایج حاکی از محدود بودن تنوع بالای ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها از لحاظ پارامترهای فتوسنتزی بوده است که در شرایط نرمال رطوبتی کشت شده بودند. از طرف دیگر در هیچ‌یک از صفات اثرات متقابل ژنوتیپ در سال معنادار نشد. در صفات عملکردی، در صفات ارتفاع بوته، محصول دانه، روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی بین دو سال اجرای آزمایش، تفاوت معناداری وجود داشت. در تمامی صفات عملکردی و مورفولوژیکی نیز بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری مشاهده شد. وجود تفاوت‌های معنادار در این صفات نشان‌دهنده تنوع ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر این صفات و امکان گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس آن‌ها در شرایط نرمال می‌باشد، بدین معنا که این تنوع می‌تواند پایه کارهای

اصلاحی قرار گیرد؛ و در نهایت اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ سال در صفات روز تا گلدهی و تعداد دانه در غلاف معنادار شد. بالا بودن ضریب تغییرات در صفاتی مانند تعداد دانه در بوته، هدایت روزنه‌ای، و کارایی مصرف آب فتوسنتزی می‌تواند ناشی از وجود تنوع ژنتیکی زیاد بین ژنوتیپ‌ها از نظر این صفات، ناهمگنی محیطی، خطاهای اندازه‌گیری، کوچک بودن حجم نمونه برداری و تعداد کم تکرارها و ماهیت ذاتی صفت مورد مطالعه باشد (Gomez & Gomez, 1984; Steel et al., 1997).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات فتوسنتزی و محصول دانه در ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه.

Table 3- Analysis of variance of photosynthetic traits and grain yield in black bean genotypes

Source of variation	Degree of freedom	DF	DM	PPP	Y	100SW	PH	PP	SP	SPP
Year	1	622.22**	2480**	2669.8	11380236**	1.43	5026.2**	15.36	0.127	60.35
Error 1	4	6.94	31.15	2328.2	1931265.1	2.49	214.6	131.4	0.42	2394.4
Genotype	20	38.3**	179.3**	3593.2**	2317007**	51.03**	693.85**	91.2**	0.733**	2162.1**
Year $\times$ Genotype	20	10.3**	24.16	1594.7	578329	3.81	61.51	17.83	0.694*	662.3
Error 2	80	4.03	14.6	1052.6	364239.6	1.72	53.8	19.23	0.345	589.1
CV		4.39	3.85	11.32	20.32	5.98	13.97	25.81	10.37	31.28

Source of variation	Degree of freedom	PAR	LT	SS	TR	SC	P	PWUE	MC	WUE
Year	1	73684.2	376.8**	48263.1**	353.4**	2.406**	5.008	30794.4**	0.00616**	35.71**
Error1	4	407618.5	37.34	1246.2	21.8	0.073	11.01	181.44	0.00103	2.18
Genotpe	20	37240.7	0.74	957.5	1.7	0.039*	16.63	303.75	0.00067	0.303
Year $\times$ Genotpe	20	61339.1	0.42	814.04	0.96	0.019	10.36	201.75	0.000505	0.2004
Error2	80	54594.4	0.62	805.3	1.31	0.0198	11.39	244.57	0.00054	0.225
CV (%)		13.67	2.28	11.95	13.78	30.23	15.95	29.24	25.28	17.5

** و *؛ به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی - LT (Leaf temperature): دمای برگ - SS (Sub stumatal CO₂): CO₂ زیرروزنه‌ای - TR (Transpiration rate): تعرق - SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه‌ای - P (Photosynthesis): فتوسنتز - PWUE (Photosynthetic water use efficienc): کارایی مصرف آب فتوسنتزی - MC (Mesophilic conductivity): هدایت مزوفیلی - WUE (Water use efficiency): کارایی مصرف آب - PH (Plant height): ارتفاع گیاه، 100SW (100-Seed weight): وزن ۱۰۰ دانه - PP (Pods per plant): تعداد غلاف در بوته - Y (Yield): عملکرد در هکتار - DF (Days to floweing): تعداد روز تا گلدهی - DM (Days to maturity): تعداد روز تا رسیدگی - SP (Seed per pod): تعداد دانه در غلاف - SPP (Seed per plant): تعداد دانه در بوته - PPP (Plant per plot): تعداد بوته در کرت.

با توجه به وجود تفاوت معنادار بین ژنوتیپ‌ها برای صفت هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G20، G5، G2، G4 و کمترین میزان به ترتیب متعلق به ژنوتیپ‌های G18، G6، G14 و G13 بود (جدول ۴). معنادار بودن اثرات متقابل نیز می‌تواند به دلیل تفاوت در شرایط اقلیمی دو سال متوالی انجام آزمایش باشد. حساس‌ترین شاخص برای بررسی پارامترهای فتوسنتزی گیاه، بررسی رفتار روزنه‌هاست. واکنش برگ‌ها به عنوان اندام اصلی فتوسنتز کننده با توجه به دمای هوا، دمای برگ، رطوبت نسبی هوا و سایر شرایط محیطی، متفاوت است. حفظ و نگهداری سرعت طبیعی تبادلات گازی از جمله خصوصیتی است که باعث افزایش رشد و عملکرد می‌شود. روزنه‌ها مدخل اصلی گیاه هستند و شکاف روزنه‌ها نقش مهمی را در کنترل تبادلات گازی، تعرق و فتوسنتز ایفا می‌کنند (Anyia & Herzog, 2004).

کنترل روزنه‌ای از دست دادن آب، به عنوان یک رویداد اولیه در واکنش گیاهان به کمبود مقدار آب ناشی از تنش شناخته می‌شود که منجر به محدودیت جذب کربن به وسیله برگ‌ها می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای

آب نسبی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم کننده تلفات آب از طریق بستن روزنه‌ها و یا جذب بیش‌تر آب از طریق گسترش ریشه باشد (Cornic & Massacci, 1996). در زمان مواجه شدن گیاه با کمبود آب در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای کاهش و در نهایت سرعت تعرق و فتوسنتز به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (Pinheiro et al., 2004; Chartzoulakis et al., 2002; Kruger et al., 1995). بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به کمبود آب، رفتار مشترکی است که در میان گونه‌های گیاهی به چشم می‌خورد (Pearce et al., 2006). همچنین، جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است (Klamkowski & Treder, 2006).

اندازه روزنه‌ها عموماً در واکنش به عوامل محیطی و درونی تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه مقدار آب تعرق یافته و گاز کربنیک جذب شده تغییر می‌یابد. نتایج مطالعات حاکی از این است که درصد بالایی از آب وارد شده در گیاه از طریق تعرق روزنه‌ای خارج می‌شود. تعداد روزنه‌ها در واحد سطح و اندازه آن‌ها نیز نقش مهمی در تبادلات گازی گیاه دارند (Brownlee, 2001). در لوبیا چشم‌بلبلی، با گذشت زمان از تنش خشکی سرعت فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای کاهش و در مقابل غلظت CO₂ زیر اتاقک روزنه‌ای افزایش می‌یابد. علت این وضعیت ممکن است به خاطر پیری برگچه‌ها باشد (Anyia & Herzog, 2004). سازگاری به تنش خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی وابسته به کاهش تلفات آب به وسیله کنترل شکاف روزنه است (De Carvalho et al., 1998). ثابت شده است که لوبیا قادر به نگهداری پتانسیل آب برگ‌ها یا محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها بالا، طی تنش آبی است در نتیجه می‌تواند از پسابیدگی بافت جلوگیری کند. این راهبرد به واسطه بسته شدن روزنه‌ها، ممکن است باعث کاهش در آسیمیلاسیون CO₂ و در نتیجه کاهش رشد و عملکرد شود (Souza et al., 2004).

ژنوتیپ‌های G20، G16 و G15 دارای کمترین روز تا گلدهی و ژنوتیپ‌های G20، G1 و G8 دارای کمترین روز تا رسیدگی بودند (جدول ۴). افزایش ارتفاع بوته لوبیا چیتی در شرایطی که منجر به ایجاد تعداد شاخه‌های فرعی بیش‌تر شده و تعداد بیش‌تری غلاف و دانه در غلاف تولید شود، ارزشمند است. علت آن کاهش رقابت درون و برون گونه‌ای برای استفاده از آب و مواد غذایی ذکر گردیده است (Mohammadi et al., 2005; Sing, 1995). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G19، G2 و G6 دارای بیشترین ارتفاع و ژنوتیپ‌های G20، G1 و G16 دارای کمترین ارتفاع بوته بودند (جدول ۴).

تعداد غلاف در بوته مهم‌ترین جز از اجزای محصول دانه در تعیین عملکرد لوبیا بوده و بیش‌ترین همبستگی را با محصول دانه دارد (Khoshvaghti, 2006; Dwyer et al., 1991). این صفت به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، ولی تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه گرما و خشکی قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). این صفت حساس‌ترین جزء عملکرد نسبت به شرایط تنش‌های محیطی می‌باشد که می‌تواند علاوه بر اثر مستقیم، به‌طور غیرمستقیم از طریق تعداد دانه در بوته بر عملکرد تأثیر بگذارد (Emam & Nycnejad, 2004). معمولاً با تنش تعداد غلاف در بوته گیاه لوبیا کاهش می‌یابد (Bonanno & Mack, 1983). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G2، G19، G1 و G20 و G13 دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های G1، G8 و G14 دارای کمترین تعداد غلاف در بوته بودند (جدول ۴).

در شرایط مختلف محیطی، تعداد دانه در غلاف باثبات‌ترین جزء عملکرد در حبوبات محسوب می‌شود، زیرا در یک ژنوتیپ معین تعداد سلول‌های تخم در همه تخمدان‌ها تقریباً برابر است (Kocheki & Banayane Avval, 1994). تعداد دانه در غلاف از اجزای مهم محصول دانه در لوبیاست که به‌صورت ارثی کنترل می‌شود، ولی تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G21، G5، G6، G8، G12

و G17 دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های G20 و G9 دارای کمترین تعداد دانه در غلاف بودند (جدول ۴). بروز تنش خشکی موجب کاهش تولید ماده خشک و در ادامه آن کاهش تعداد دانه‌های تولیدشده، می‌گردد. هرچند، تفاوت کم تعداد دانه در ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که تعداد دانه در غلاف بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ می‌باشد. این نتایج در نخود (Ghasemi Golezani *et al.*, 1997) و لوبیا (Boutraa & Sanders, 2001) نیز گزارش شده است. البته ممکن است تنش شدید خشکی باعث کاهش تعداد دانه در غلاف نیز شود. تنش‌های محیطی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه‌ها، تعداد دانه در غلاف را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Mendham & Salisbury, 1995).

ژنوتیپ‌های G2، G19 و G13 دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های G8، G14 و G1 دارای کمترین تعداد دانه در بوته بودند (جدول ۴). بررسی واکنش عملکرد و اجزاء عملکرد لوبیا به تنش خشکی نشان داده است که تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رشد زایشی لوبیا می‌شود. ارقامی که بیشترین عملکرد را تحت شرایط تنش داشتند، دارای بیشترین تعداد غلاف و دانه در بوته بودند. علت تفاوت محصول دانه ارقام تحت شرایط تنش، بیشتر ناشی از مقاومت در توزیع مواد خشک در شرایط تنش ذکر شده است (Acosta *et al.*, 1999; Mohammadzadeh *et al.*, 2011). وزن ۱۰۰ دانه از اجزای مهم محصول دانه در لوبیاست که به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، ولی تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های G1، G4، G11 و G6 دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های G2 و G17 دارای کمترین وزن ۱۰۰ دانه بودند (جدول ۴). وزن ۱۰۰ دانه از اجزای مهم محصول دانه در لوبیاست که به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، ولی تحت تأثیر محیط نیز قرار می‌گیرد (Salehi, 2015). شرایط تنش با تحت تأثیر قرار دادن روزه‌ها باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کلورین می‌شود که می‌تواند میزان تولید مواد پرورده را به میزان زیادی کاهش دهد (Pessarakli, 2001) و از این راه به‌طور مستقیم موجب کاهش وزن ۱۰۰ دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) شود (Sylspur *et al.*, 2006)؛ بنابراین کاهش وزن ۱۰۰ دانه در شرایط تنش را می‌توان به تسریع پیری گیاه و کاهش ظرفیت فتوسنتزی و پدید آمدن دانه‌های چروکیده با وزن کمتر مربوط دانست (Salehi, 2015).

مقایسه بین میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که ژنوتیپ‌های G19، G13 و G15 دارای بیشترین و ژنوتیپ‌های G20، G11، G8 و G16 دارای کمترین محصول دانه بودند (جدول ۴). با توجه به اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های با محصول دانه بالا مشخص می‌شود که این ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته بالاتر نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها هستند. شرایط محیطی و مدیریت مزرعه ممکن است بر رشد و نمو گیاه اثر گذاشته و در نتیجه منجر به افزایش و یا کاهش عملکرد گردد (Ghanbari *et al.*, 2013). افزایش ماده خشک تولیدی در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل گسترش بیشتر سطح برگ و نیز دوام آن باشد که با ایجاد منبع فیزیولوژیکی کارآمد جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی، باعث افزایش تولید ماده خشک شده می‌شود (Bayat *et al.*, 2010). با توجه به اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های با محصول دانه بالا مشخص می‌شود که این ژنوتیپ‌ها دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و تا حدودی ارتفاع بلندتر بوته نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات مرتبط با فتوسنتز و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیای سیاه.

Table 4- Comparison of traits mean related to photosynthesis and yield in different genotypes of black beans.

Genotype	DF Day	DM Day	PPP	Y (kg/h)	100SW (g)	PH (cm)	PP	SP	SPP
G1	45defg	93.5hi	284.7bcde	3268.4bcdef	29.36a	37.5hi	12.5ef	5.83abc	55.67de
G2	43.7efgh	95.7h	310abcd	3685abcd	15.17k	74.8a	29.83a	5.33bcd	129.83a
G3	49.2ab	107.3ab	280bcde	2529fghij	20.82fghi	57.7bcd	15.67bcdef	5.83abc	73.5cde
G4	43.8efgh	93.5hi	281.2bcde	2474.5fghij	25.74b	45.7fgh	16.67bcdef	5.5bcd	66.17cde
G5	46.8bcd	103.5bc	300.2abcde	2750.3efghi	21.42efgh	54.7bcdef	16.17bcdef	6ab	78.33cde
G6	45.5cde	97defh	274.2cde	3114.4cdefgh	24.34bc	64.2b	17.17bcdef	6ab	79.67cde
G7	43.7efgh	96.8efh	295.3bcde	3276.8bcdef	22defg	56.7bcd	18.33bcde	5.33bcd	74.17cde
G8	44efgh	95h	270def	2266.2ij	23.02cde	48.7defg	12.17f	6ab	51.5e
G9	51.3a	110.2a	317.5abc	3210.7cdefg	22.5def	46.5efgh	15.67bcdef	5.17cd	73.67cde
G10	45.2def	100.8cdef	286.7bcde	2857.8efghi	19.41ij	46efgh	13.83def	5.83abc	69.5cde
G11	45defg	97defh	258.2ef	2411.8ghij	25.01b	56.5bcd	16.33bcdef	5.33bcd	74.83cde
G12	46.2cde	98.5defh	267def	2905.7defghi	20.31hij	45.2fgh	17.67bcdef	6ab	83.5bcde
G13	46.8bcd	102cd	315.3abc	4039.6ab	20.76ghi	55.7bcde	19.83bcd	5.67abcd	95.67bc
G14	44.2defgh	96.5efh	284.7bcde	2403.5ghij	22.08defg	52.2cdefg	12.17f	5.83abc	51.67e
G15	42.5fgh	94.3hi	319.7ab	3839.7abc	22.73cde	54.5bcdef	17.17bcdef	5.33bcd	71.33cde
G16	42.3gh	96fh	273.8cde	2569.9fghij	22.85cde	43.2gh	14.5cdef	5.5bcd	66cde
G17	47.8bc	101.2cde	278.3bcde	3490.6abcde	18.97j	45.8efgh	18.33bcde	6ab	91.83bc
G18	45.8cde	98.3defh	276bcde	2311.1hij	23.21cd	59.2bc	15.17cdef	5.33bcd	62cde
G19	48.8ab	110a	341.2a	4173.6a	19.12ij	77a	21.67b	5.83abc	113.33ab
G20	41.8h	89.8i	230.8f	1928.3j	22.83cde	32.8i	20.5bcd	5d	77.83cde
G21	49.2ab	103.8bc	273.8cde	2838.2efghi	19.61ij	48.3defg	15.67bcdef	6.33a	89.13bcd

Genotype	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$ s)	LT ($^{\circ}\text{C}$)	SS ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	TR (mmol/m^2 s)	SC (mol/m^2 s)	P ($\mu\text{mol}/\text{m}^2$ s)	PWUE (μmol CO_2/mol H_2O)	MC (mmol CO_2/m^2 s)	WUE (μmol CO_2/mol H_2O)
G1	1728.8a	33.77c	221.8ab	7.84abc	0.48abcde	24.823a	57.82abc	0.1158a	3.289a
G2	1767a	34.02bc	243.3ab	8.2abc	0.587abc	22.005ab	50.48abc	0.092ab	2.868ab
G3	1672.2a	34.73abc	248.8ab	8.38abc	0.45abcde	18.878b	49.9abc	0.0772b	2.469b
G4	1796a	34.6abc	258a	8.76ab	0.57abcd	18.957b	44.01bc	0.0747b	2.358b
G5	1757.2a	34.62abc	259a	9.01ab	0.633a	22.402ab	41.36bc	0.0873ab	2.638ab
G6	1752.8a	34.03bc	230.7ab	7.08c	0.357e	19.338b	62.16abc	0.0883ab	2.931ab
G7	1739.8a	34.7abc	235.2ab	8.71ab	0.48abcde	23.36ab	50.25abc	0.0998ab	2.743ab
G8	1784.3a	34.85abc	237.2ab	8.7ab	0.47abcde	21.943ab	54.03abc	0.093ab	2.712ab
G9	1539.8.2a	34.48abc	253.2ab	8.44abc	0.437bcde	19.52b	47.68abc	0.0792b	2.371b
G10	1624.3a	34.62abc	252ab	8.78ab	0.508abcde	20.193ab	46.24abc	0.081b	2.465b
G11	1613.3a	34.63abc	239.5ab	8.19abc	0.432bcde	20.02b	53.78abc	0.0865ab	2.567b
G12	1617.2a	34.57abc	233.7ab	8.01abc	0.407cde	19.827b	56.92abc	0.0852ab	2.693ab
G13	1731.3a	34.55abc	220.7ab	7.87abc	0.4cde	21.09ab	63.34abc	0.1002ab	2.914ab
G14	1612.7a	34.65abc	215.7b	7.76abc	0.375de	21.092ab	67.11abc	0.106ab	2.932ab
G15	1614.5a	34.12bc	230.3ab	8.24abc	0.48abcde	23.577ab	52.64abc	0.1042ab	2.925ab
G16	1659.2a	34.58abc	229.8ab	8.04abc	0.408cde	21.12ab	57.25abc	0.0942ab	2.758ab
G17	1739.5a	34.7abc	227.8ab	8.53abc	0.485abcde	22.433ab	55.62abc	0.107ab	2.813ab
G18	1798.8a	34.73abc	230ab	7.46bc	0.335e	18.833b	61.86abc	0.0897ab	2.739ab
G19	1827.7a	34.88abc	239.7ab	8.38abc	0.45abcde	20.853ab	51.73abc	0.0881ab	2.582b
G20	1744.5a	34.65abc	252ab	9.37a	0.615ab	22.083ab	40.99c	0.089ab	2.487b
G21	1750.8a	35.43a	225.3ab	8.66abc	0.43bcde	21.798ab	57.9abc	0.0978ab	2.677ab

PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی - LT (Leaf temperature): دمای برگ - SS (Sub stumatal CO_2): فتوسنتز -

CO_2 زیر روزنه ای - TR (Transpiration rate): تعرق - SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه ای - P (Photosynthesis): فتوسنتز -

PWUE (Photosynthetic water use efficienc): کارایی مصرف آب فتوسنتزی - MC (Mesophilic conductivity): هدایت مزوفیلی -

WUE (Water use efficiency): کارایی مصرف آب - PH (Plant height): ارتفاع گیاه، 100SW (100-Seed weight): وزن ۱۰۰ دانه - PP

(Pods per plant): تعداد غلاف در بوته - Y (Yield): عملکرد در هکتار - DF (Days to floweing): تعداد روز تا گلدهی - DM (Days to

maturity): تعداد روز تا رسیدگی - SP (Seed per pod): تعداد دانه در غلاف - SPP (Seed per plant): تعداد دانه در بوته - (Plant per

plot): PPP plot): تعداد بوته در کرت. میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنادار ندارند.

بررسی ارتباط بین صفات

میزان فتوسنتز در سطح احتمال ۱ درصد با تشعشع فعال فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی و کارایی مصرف آب همبستگی مثبت و با غلظت CO_2 زیر روزنه همبستگی منفی معنادار داشت، البته با صفات میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای، نیز همبستگی مثبت معنادار در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۵). البته بیشترین ضریب تبیین با صفت هدایت مزوفیلی وجود داشت. اگرچه میزان فتوسنتز عامل اصلی کنترل رشد بوته و عملکرد است، اما رابطه بین میزان فتوسنتز و محصول دانه بسیار پیچیده است و از این‌رو، نتایج متناقض در مورد این ارتباط مشاهده شده است. بطوریکه در گزارشی بین صفات فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و محصول دانه در گیاه کلزا ارتباطی وجود نداشته است (Wells et al., 1982) و از طرفی در گیاه سویا بین فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای ارتباط معناداری گزارش شده است (Hobbs & Mahon, 1982). رابطه مثبت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش هدایت روزنه‌ای میزان CO_2 ورودی برای استفاده در فتوسنتز، بیشتر می‌شود. هدایت روزنه‌ای برای بخار آب به دلیل مشترک بودن مسیرهای انتشار برای دی‌اکسید کربن و آب، با فتوسنتز رابطه دارد (Del Blanco et al., 2000).

رابطه بین هدایت روزنه‌ای با فتوسنتز، نشان از اهمیت آن در تولید دارد. کورنیک (Cornic, 2000) اثبات کرد که بسته شدن روزنه اولین دلیل کم شدن سرعت فتوسنتز در شرایط خشکی متوسط است. از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO_2 در کلروپلاست که عمده‌تاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیسمی در برگ عمل می‌کند (Flexas & Medrano, 2002). همبستگی میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای با محصول دانه، توسط محققین دیگری (Monneveux et al., 2006) نیز گزارش شده است. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام پارامترهای فتوسنتزی اندازه‌گیری شده بر میزان فتوسنتز به‌عنوان متغیر تابع (جدول ۶) نشان داد که دو صفت هدایت روزنه‌ای با تأثیر مثبت و CO_2 زیرروزنه‌ای با تأثیر منفی معنادار تبیین‌کننده تغییرات میزان فتوسنتز می‌باشند. فتوسنتز تعیین کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به واسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. کاهش فتوسنتز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به‌منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد، اما به‌واسطه جلوگیری از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Ashraf & Harris, 2004).

کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای نشان‌دهنده محدودیت روزنه‌ای در فرایند فتوسنتز است (Austin, 1989). با توجه به همبستگی این دو پارامتر نتایج این مطالعه نیز با نتایج فوق، مطابقت دارد. بسته شدن روزنه‌ها موجب توقف فتوسنتز می‌گردد که علی‌رغم حفظ آب، به علت افزایش دمای برگ نامطلوب است. مطالعات متعدد بر روی حبوبات از قبیل نخود، لوبیا و عدس نشان داده است که تحت تأثیر تنش خشکی غلظت CO_2 درون برگ به‌واسطه بسته شدن، روزنه‌ها کاهش می‌یابد (Amiri et al., 2017; Armand et al., 2015; Ahmadpour et al., 2017). بسته شدن روزنه‌ها در طی تنش خشکی گرچه به‌منظور کاهش هدر رفت آب صورت می‌گیرد اما به علت ممانعت از ورود CO_2 می‌تواند فتوسنتز را به کمتر از نقطه جبرانی کاهش دهد (Johnson et al., 1984). CO_2 زیرروزنه‌ای با صفات کارایی آب فتوسنتزی، کارایی مصرف آب فتوسنتزی، هدایت مزوفیلی و دمای برگ همبستگی مثبت معنادار و با صفت هدایت روزنه‌ای همبستگی منفی معنادار نشان داد. در تمامی این همبستگی‌ها ضریب تبیین نیز بالا بود (جدول ۵). میزان تعرق در سطح احتمال ۱ درصد با دمای برگ، میزان CO_2 زیر روزنه و هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت و با کارایی مصرف آب و کارایی مصرف آب فتوسنتزی همبستگی منفی معنادار با ضریب تبیین بالا نشان داد.

(جدول ۵). میزان کمتر فتوسنتز و فراوری دی اکسید کربن در حضور مقادیر بالای دی اکسید کربن داخل روزنه‌ای به مفهوم پایین بودن میزان هدایت مزوفیلی و عدم توانایی سلول‌های مزوفیل در استفاده از دی اکسید کربن می‌باشد (Papi Mousavi et al., 2013). کارایی مصرف آب فتوسنتزی شاخصی است که میزان فتوسنتز به ازای هر واحد هدایت روزنه‌ای و تعرق را نشان می‌دهد.

عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد با صفات تعداد بوته در کرت، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و کارایی مصرف آب فتوسنتزی همبستگی مثبت معنادار و با CO_2 زیر روزنه، میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای همبستگی منفی معنادار نشان داد. ضریب تبیین تنها با صفات تعداد بوته در کرت و تعداد دانه در بوته بالا بود (جدول ۵). همبستگی مثبت و معنادار بین عملکرد دانه و هدایت روزنه‌ای نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌هایی که توانسته‌اند هدایت روزنه‌ای بالاتری را، به‌ویژه تحت شرایط تنش خشکی، حفظ کنند، از ظرفیت فتوسنتزی بیشتری برخوردار بوده و در نتیجه با تولید و انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی، عملکرد دانه بالاتری داشته‌اند. حفظ هدایت روزنه‌ای مناسب سبب افزایش ورود CO_2 به مزوفیل برگ، تداوم تثبیت کربن و کاهش محدودیت‌های فتوسنتزی می‌شود که در نهایت به افزایش تعداد غلاف، تعداد دانه و وزن دانه منجر می‌گردد. بنابراین، هدایت روزنه‌ای می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مؤثر در شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در برنامه‌های اصلاحی لوبیا مورد استفاده قرار گیرد (Beebe et al., 2013). همبستگی منفی بین عملکرد دانه و غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای نشان می‌دهد که با افزایش غلظت CO_2 در فضای بین‌سلولی برگ، عملکرد دانه کاهش یافته است. افزایش غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای در شرایط تنش می‌تواند بیانگر کاهش توان تثبیت CO_2 توسط چرخه کالوین و افت فعالیت آنزیم روبیسکو باشد، به طوری که اگرچه CO_2 در فضای بین‌سلولی تجمع می‌یابد، اما به‌طور مؤثر در فتوسنتز مصرف نمی‌شود. در نتیجه، تولید مواد فتوسنتزی کاهش یافته و عملکرد دانه افت می‌کند. بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که غلظت CO_2 زیرروزنه‌ای پایین‌تر و در عین حال عملکرد بالاتری دارند، معمولاً از ظرفیت فتوسنتزی و کارایی مصرف CO_2 بیشتری برخوردار بوده و از نظر تحمل به خشکی برتر هستند (Flexas & Medrano 2002). نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات عملکردی اندازه‌گیری شده بر میزان محصول دانه به‌عنوان متغیر تابع (جدول ۶) نشان داد که چهار صفت تعداد بوته در کرت، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه با تأثیر مثبت معنادار تبیین‌کننده تغییرات میزان عملکرد می‌باشند. از این رو مقادیر بالای تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه منجر به بالا رفتن محصول دانه شده است و این امر خود نشان دهنده ارتباط مثبت بین کارایی فتوسنتز و محصول دانه می‌باشد، به این صورت که گیاهانی که مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود ذخیره می‌کنند عملکرد بالاتری خواهند داشت. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام در لوبیا سفید نشان داد که صفات تعداد روز تا پر شدن غلاف، تعداد روز تا رسیدگی دانه، طول بلندترین غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه و طول ریشه اصلی بیشترین تأثیر را بر محصول دانه داشتند (Safapour et al., 2009).

در بررسی ۲۵۰ نمونه از کلکسیون لوبیا قرمز بانک ژن گیاهی ملی ایران از لحاظ صفات مختلف با انجام تجزیه رگرسیون مشاهده شد که صفات وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ۹۷/۷ درصد از تغییرات محصول دانه تک بوته را توجیه کرده و بیشترین اثر مستقیم را بر آن داشتند (Rahimi Chegeni et al., 2017). در بررسی روابط میان صفات مورفولوژیک در ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا سفید، قرمز و چیتی با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام، تعداد غلاف در ساقه‌های فرعی مهم‌ترین جزء مؤثر در تغییرات عملکرد بود و تعداد غلاف در ساقه اصلی، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد دانه در غلاف در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (Azizi et al., 2001). در ماش

همبستگی مثبت و معناداری بین محصول دانه با روز تا گلدهی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت گزارش شده است (Kumar *et al.*, 2002). در لوبیا صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه نقش مهمی در تعیین عملکرد بوته داشته و می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی آن مورد توجه باشند (Liebman *et al.*, 1995). پژوهشگران دیگری نیز بیشترین همبستگی محصول دانه با تعداد غلاف را در لوبیا گزارش کردند (Sabokdast & Khyalparast, 2008; Jajarmi, 1999; Yakhkeshi, 1998).

صادقی پور و همکاران (Sadeghipour *et al.*, 2004) بیان داشتند که در لوبیا تعداد غلاف در بوته حساس‌ترین جزء عملکرد نسبت به وضعیت محیطی به‌ویژه تنش رطوبتی بوده و مهم‌ترین عامل محدودکننده محصول دانه است. از این رو حفظ تعداد غلاف در بوته در شرایط مختلف وضعیتی به بهبود عملکرد کمک می‌کند. افزایش قابل‌ملاحظه در عملکرد اقتصادی (شامل محصول دانه و اجزای عملکرد)، معمولاً به افزایش کل ماده خشک تولیدی وابسته است؛ البته این رابطه مطلق نیست و در حقیقت در مواردی نیز عکس آن صادق است (Kochaki, 1997)؛ بنابراین، می‌توان اظهار کرد که همبستگی مثبت و معنادار محصول دانه با اجزای عملکرد می‌تواند به دلیل تأمین کافی شیره پرورده و انتقال مناسب آن به بخش‌های زایشی گیاه لوبیا بوده باشد. وزن ۱۰۰ دانه با صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته همبستگی منفی معنادار نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های مطالعه شده.

Table 5- Simple correlation coefficients between the studied traits in the studied genotypes.

	DF	DM	PPP	Y	100SW	PH	PP	SP	SPP	PAR	LT	SS	TR	SC	P	PWUE	MC
DF	1																
DM	0.77**	1															
PPP	0.10	0.25**	1														
Y	0.18*	0.33**	0.69**	1													
100SW	-0.13	-0.25**	-0.16	-0.11	1												
PH	0.33**	0.42**	0.35**	0.47**	-0.3**	1											
PP	0.01	-0.01	0.07	0.3**	-0.36**	0.52**	1										
SP	0.14	0.13	0.01	0.08	-0.12	0.11	-0.02	1									
SPP	0.11	0.10	0.09	0.34**	-0.41**	0.5**	0.9**	0.16	1								
PAR	-0.06	-0.13	0.15	0.08	0.04	0.08	0.07	0.00	0.10	1							
LT	-0.38**	-0.43**	0.00	-0.22*	-0.05	-0.32**	-0.02	0.09	0.08	0.32**	1						
SS	-0.26	-0.26**	-0.06	-0.27**	-0.07	-0.24**	-0.07	0.05	-0.03	-0.16	0.4**	1					
TR	-0.38**	-0.43**	-0.04	-0.29**	-0.05	-0.39**	-0.03	0.05	0.07	0.27**	0.89**	0.59**	1				
SC	-0.40	-0.43	-0.08	-0.28**	-0.07	-0.32**	0.01	0.09	0.06	0.18*	0.59**	0.68**	0.84**	1			
P	-0.15	-0.18	0.04	0.05	0.06	-0.13	0.09	-0.10	0.08	0.35**	0.09	-0.36**	0.21*	0.23*	1		
PWUE	0.38**	0.39**	0.06	0.28**	0.05	0.34**	0.05	-0.03	0.00	0.02	-0.6**	-0.94**	-0.8**	-0.82**	0.08	1	
MC	0.06	0.02	0.06	0.19*	0.09	0.05	0.09	-0.08	0.06	0.32**	-0.16	-0.85**	-0.23**	-0.27**	0.78**	0.63**	1
WUE	0.32**	0.32**	0.02	0.23**	0.07	0.27**	0.05	-0.08	-0.04	-0.03	-0.81**	-0.79**	-0.83**	-0.63**	0.32**	0.84**	0.66**

**و*: به ترتیب معنادار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی- LT (Leaf temperature): دمای برگ- SS (Sub stomatal CO₂): CO₂ زیر روزنه ای- TR (Transpiration rate): تعرق- SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه ای- P (Photosynthesis): فتوسنتز- PWUE (Photosynthetic water use efficiency): کارایی مصرف آب فتوسنتزی- MC (Mesophilic conductivity): هدایت مزوفیلی- WUE (Water use efficiency): کارایی مصرف آب- Plant (Plant): تعداد روز تا گلدهی- DM (Days to maturity): تعداد روز تا رسیدگی- SP (Seed per pod): تعداد دانه در غلاف- SPP (Seed per plant): تعداد دانه در بوته- PPP (Plant per plot): تعداد بوته در کرت.

از دیدگاه به‌نژادی، هر صفت فیزیولوژی می‌بایست تنوع ژنتیکی وسیع، همبستگی ژنتیکی قوی با محصول دانه و وراثت‌پذیری بالاتر نسبت به عملکرد داشته (Jakson *et al.*, 1996) و ارزیابی آن سریع، آسان و ارزان باشد (Araus *et al.*, 2001). بررسی ۱۰۰ ژنوتیپ لوبیا چیتی در شرایط تنش خشکی مشخص کرد از نظر عملکرد و اجزای عملکرد بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنادار وجود دارد (Assady *et al.*, 2011). داشتن اطلاعات در مورد تنوع ژنتیکی و روابط بین ژنوتیپ‌ها برای درک تغییرپذیری ژنتیکی قابل‌دسترس و پتانسیل استفاده از آن

در برنامه‌های اصلاحی مهم است (Fikiru *et al.*, 2010). بیشتر بودن تنوع، احتمال یافتن ژن‌ها یا ترکیبات ژنتیکی موردنظر اصلاحگر را بالا برده و با افزایش تنوع ژنتیکی در یک جامعه محدوده انتخاب در گزینش طبیعی و مصنوعی وسیع‌تر می‌شود (Nouri Goghari *et al.*, 2015). مهم‌ترین معیار برای شناسایی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر ارزیابی ویژگی‌های مورفولوژیکی و بررسی اجزای عملکرد می‌باشد (Ghahghaei *et al.*, 2010; Zahedi *et al.*, 2016).

جدول ۶- جدول تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات فیزیولوژیک بر روی میزان فتوسنتز و اجزای عملکرد بر روی محصول دانه.

Table 6- Stepwise regression analysis of physiological traits on photosynthesis and Yield components on grain yield.

فتوسنتز			محصول دانه		
Source of variation	Degree of freedom	Mean Square	Source of variation	Degree of freedom	Mean Square
Regression	2	437.56**	Regression	4	15845881.3**
Residual	121	5.082	Residual	123	353147.45
R ² =0.597		R _{Adjust} =0.584	R ² =0.583		R _{Adjust} =0.577
فتوسنتز			محصول دانه		
صفات وارد شده به مدل	ضرایب رگرسیون		صفات وارد شده به مدل	ضرایب رگرسیون	
Traites entered into the model	Regression coefficient		Traites entered into the model	Regression coefficient	
Constnt	ضریب ثابت	37.05** ± 1.525	Constnt	ضریب ثابت	-5134** ± 958.2
Stomatal conductance	هدایت روزنه‌ای	0.098** ± 0.008	Plant per plot	تعداد بوته در کرت	14.87** ± 1.38
Sub stomatal CO ₂	CO ₂ زیرروزنه‌ای	-14.87** ± 1.31	Seed per pods	تعداد دانه در غلاف	10.12** ± 1.93
			Days to maturity	تعداد روز تا رسیدگی	20.1** ± 7.097
			100 Grain weight	وزن ۱۰۰ دانه	48.42** ± 19.03

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

نتیجه‌گیری

لوبیا سیاه به دلیل ارزش غذایی بالا، یکی از حبوبات با پتانسیل مناسب برای توسعه کشت در ایران است، با این حال تاکنون رقم اصلاح‌شده‌ای از این محصول در کشور معرفی نشده است. بنابراین، شناسایی و معرفی ژنوتیپ‌های پرمحصول و بازارپسند از اهداف مهم برنامه‌های اصلاحی محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، اگرچه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر اغلب پارامترهای فتوسنتزی محدود بود، اما تفاوت معنی‌دار در صفات عملکردی و برخی شاخص‌های فتوسنتزی بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل استفاده برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بود. ژنوتیپ‌های G19، G13 و G15 با تولید بیشترین عملکرد دانه، عمدتاً به دلیل برخورداری از تعداد غلاف و تعداد دانه بیشتر در بوته، برتری عملکردی نشان دادند. همچنین، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO₂ زیرروزنه‌ای مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات نرخ فتوسنتز بودند، در حالی که تعداد بوته در کرت، تعداد دانه در غلاف، تعداد روز تا رسیدگی و وزن ۱۰۰ دانه بیشترین سهم را در تبیین تغییرات عملکرد دانه داشتند و می‌توانند به عنوان شاخص‌های انتخاب مؤثر در برنامه‌های اصلاحی لوبیای سیاه برای توسعه ارقام پرمحصول و سازگار با شرایط محیطی مختلف مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی انجام یافته با کد مصوب ۰۴-۰۳-۰۳-۰۲۶-۰۱۰۳۴۹ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی است. بدین وسیله از تمامی همکارانی که در طول مدت انجام این طرح همکاری داشتند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

شفاف‌سازی استفاده از هوش مصنوعی

در مراحل مختلف این پژوهش اعم از ایده‌پردازی، طراحی، جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نگارش متن و ویرایش یا ترجمه از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نشده‌است.

منابع مورد استفاده

References

- Acosta, J., Acosta-Gallegos, E., Padilla, S., Goytia, M. A., Rosales, R., & López, E. (2015). Improving resistance to drought in common bean in Mexico. *Agronomía Mesoamericana*, 10(1), 83-90. <https://doi.org/10.15517/am.v10i1.19460>
- Ahmadpour, R., Hosseinzadeh, S.R., Armand, N. & Chashiani, S. (2017). Evaluation of growth features, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of lentils cultivars in response to water stress. *Nova Biologica Reperta*, 4(3), 226-235. <http://nbr.khu.ac.ir/article-1-3012-fa.html>
- Amiri, H., Ismaili, A. & Hosseinzadeh, S.R. (2017). Influence of vermicompost fertilizer and water deficit stress on morpho-physiological features of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Compost Science and Utilization*, 26, 1-14. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2016.1249313>
- Anyia, A.O. & Herzog, H. (2004). Water use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy*, 20, 327-339. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00038-8)
- Araus, J.L., Casadesus, J. & Bort, J. (2001). Recent tools for the screening of physiological traits determining yield. In: Reynolds M.P., Ortiz- Monasterio J.L. & McNab, A. (eds). *Application of physiology in wheat breeding*. Mexico. D.F.CIMMYT, 59-77.
- Armand, N., Amiri, H. & Ismaili, A. (2015). Interaction of methanol spray and water deficit stress on photosynthesis and biochemical characteristics of *Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry. *Photochemistry and Photobiology*, 92(1), 1-219. <https://doi.org/10.1111/php.12548>
- Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants, *Plant Science*, 166, 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Assady, B., Dorri, H.R., & Ghadiri, A. (2011). Evaluation of chitti bean genotypes to drought stress using stress tolerance indices, *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(4), 615-630. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111085>
- Austin, R.B. (1989). Genetic variation in photosynthesis. *Journal of Agricultural Science*, 112, 287-293. <https://doi.org/10.1017/s0021859600085737>
- Azizi, F., Rezaei, A. & Mirmohammadi Maybodi, S.A.M. (2001). Genetic and phenotypic variability and factor analysis for morphological traits in genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources-Water and Soil Science*, 5, 127-141. (in Persian with English abstract) <http://jcnp.iut.ac.ir/article-1-70-fa.html>
- Bayat, A.A. Sepehri, A., Ahmadvand, G. & Dorri, H.R. (2010). Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes.

- Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(1), 42-54. (in Persian with English abstract)
<http://dx.doi.org/20.1001.1.15625540.1389.12.1.4.1>
- Beebe, S.E., Rao, I.M., Blair, M.W. & Acosta-Gallegos, J.A. (2013). Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 4, 35.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035>
- Bishop, D.L. & Bugbee, B.G. (1998). Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi-dwarf wheat. *Journal of Plant Physiology*, 153, 558-565.
[https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(98\)80204-6](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(98)80204-6)
- Blum, A. (2011). *Plant breeding for water-limited environments*. Springer, New York, USA.
- Blum, A. (1990). Variation among wheat cultivars in response of leaf gas exchange to light. *Journal of Agricultural Science*, 115, 305-310.
<https://doi.org/10.1017/S0021859600075717>
- Bonanno, A.R. & Mack, H.J. (1983). Yield components and pod quality of snap bean grown under differential irrigation. *Journal of American Society Horticultural Science*, 108, 837-844. <https://doi.org/10.21273/JASHS.108.5.832>
- Boutraa, T. & Sanders, F.E. (2001). Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 187(4), 251-257. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.2001.00525.x>
- Brownlee, C. (2001). The long and short of stomatal density signals. *Trends in Plant Science*, 6, 441-442. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)02095-7](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)02095-7)
- Chartzoulakis, K., Patakasb, A., Kofidisc, G., Bosabalidisc, A. & Nastoub, A. (2002). Water stress affects on leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, 95(1), 39-50. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00016-X)
- Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J. & Farquhar, G.D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2447-2460.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erh277>
- Cornic, G. (2000). Drought stress inhibits photosynthesis by decreased stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. *TIBS*, 5, 187-188. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01625-3](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01625-3)
- Cornic, C. & Massacci, A. (1996). Leaf photosynthesis under drought stress. Pp: 347-366. In: Baker, N.R. (Ed), *Photosynthesis and environment*. Kluwer Academic Press.
- Dastneshan, S. & Sabokdast, M. (2020). Evaluation of tolerance rate of some genotypes of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to salinity stress. *Journal of Crop Breeding*, 32(1), 184-194. (in Persian with English Abstract) <http://dx.doi.org/10.29252/jcb.11.32.184>
- De Carvalho, M.H.C., Laffray, D. & Louguet, P. (1998). Comparison of the physiological responses of *Phaseolus vulgaris* and *Vigna unguiculata* cultivars when submitted to drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 40, 197-207.
[https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00037-9](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00037-9)
- Del Blanco, I., Rajaram, A.S., Kronstad, W.E. & Reynolds, M.O. (2000). Physiological performance of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science*, 40, 1257-1263. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4051257x>
- Deproost, P., Elsen, F. & Geypens, M. (2004). High yields of mechanically harvested snap beans as induced by moderate water stress during flowering. *Acta Horticulturae*, 664, 205-212. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.664.23>
- Dwyer, L.M., Tollenaar, M. & Stewart, D.W. (1991). Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays*) hybrids. *Canadian Journal of Plant Science*, 71, 1-11. <https://doi.org/10.4141/cjps91-001>

- Emam, Y. & Nycnejad, M. (2004). Introduction on Plant Physiology. Shiraz University Press. 571. (In Persian)
- Farquhar, G.D., Von Caemmerer, S. & Berry, J.A. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*, 149(1), 78-90. <https://doi.org/10.1007/BF00386231>
- Fernandez, A.C., Nishida, W. & Da Costa Proenc, R.P. (2010). Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 2209-2218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x>
- Fikiru, E., Tesfaye, K. & Bekele, E. (2010). A comparative study of morphological and molecular diversity in Ethiopian lentil (*Lens culinaris*) landraces. *African Journal of Plant Science*, 4(7), 242-254.
- Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Candon, A.G. & Saavedra, A.L. (1998). Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science*, 38, 1467-1475, <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800060011x>
- Flexas, J., Ribas-Carbó, M., Diaz-Espejo, A., Galmés, J., & Medrano, H. (2008). Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant, Cell & Environment*, 31(5), 602-621. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01757.x>
- Flexas, J., Barbour, M.M., Brendel, O., Cabrera, H.M., Carriquí, M., Díaz-Espejo, A., Douthe, C., Dreyer, E., Ferrio, J.P., Gago, J., Gallé, A., Galmés, J., Kodama, N., Medrano, H., Niinemets, Ü., Peguero-Pina, J.J., Pou, A., Ribas-Carbó, M., Tomás, M., Tosens, T., & Warren, C.R. (2012). Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. *Plant Science*, 193-194, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.05.009>
- Flexas, L. & Medrano, H. (2002). Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plant: Stomatal and non-stomatal limitation revisited. *Annals of Botany*, 89, 183-189, <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>
- Ghahghaei, M., Galavi, M., Ramroodi, M. & Bagheri, A. (2010). The comparison of yield and yield components of Lentil genotypes at low irrigation in Sistan region. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 8(3), 431-437. (in Persian with English Abstract).
- Ghanbari, A.A., Mousavi, S.H., Mousapour Gorgi, A. & Rao, I.M. (2013). Effects of water stress on leaves and seeds of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 181, 73-77. <https://izlik.org/JA86BT96LN>
- Ghasemi Golezani, K., Movvahedi, M., Rahimzadeh Khoei, F. & Moghaddam, M. (1997). Effect of water deficit on growth and yield of two pea cultivars in different densities. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 7(3-4), 17-42 (in Persian with English Abstract),
- Gomez, K.A. & Gomez, A.A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research*. Second Edition, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Hobbs, S.L.A. & Mahon, J.D. (1982). Variation, heritability and relation to yield of physiological characters in peas. *Crop Science*, 32, 773-9.
- Hosseinzadeh, S.R., Cheniany, M. & Salimi, A. (2014). Effects of foliar application of methanol on physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, 5, 71-82 (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i2.47031>
- Jackson, P., Robertson, M., Cooper, M. & Hammer, G. (1996). The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. *Field Crops Research*, 49, 11-39. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01012-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01012-X)

- Jajermi, V. (1999). *Evaluation of phenotypic and genotypic quantitative traits of green beans by using multivariate statistical*. Master's thesis. Islamic Azad University of Karaj, Karaj, Iran. (In Persian).
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11, 100-105.
- Johnson, R.C., Ngutan, H.T. & Croy, L.T. (1984). Osmotic adjustment and solute accumulation in wheat genotypes differing in drought resistance, *Crop Science*, 2: 957-962.
- Jones, H.G. (1998). Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 49(Special Issue), 387-398.
https://doi.org/10.1093/jxb/49.Special_Issue.387
- Khoshvaghti, H. (2006). *Effect of water limitation on growth rate, grain filling and yield on three pinto bean cultivar*. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture. University of Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian)
- Klamkowski, K. & Treder, W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. *Agricultural Conspectus Science*, 71(4), 159-165.
- Koc, M., Barutcular, C. & Genc, I. (2003). Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. *Crop Science*, 43, 2089-2098.
<https://doi.org/10.2135/cropsci2003.2089>
- Kochaki, A. (1997). *Agronomy and plant breeding in rainfed farming*. Mashhad University Press. 302 pages (in Persian).
- Kochaki, A. & Banayane Avval, M., (1994). *The physiology of crop yield*. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Kumar, J., Singh, H., Singh, T., Tonk, D.S. & Lal, R. (2002). Correlation and path coefficient analysis of yield and its components in summer moong (*Vigna radiate* L. Wilczek). *Crop Research*, 24, 374-377.
- Kruger, G.H.J., Van Rensburg, L. & Mahtis, P. (1995). Carbon dioxide fixation: stomatal and non-stomatal limitations in drought stressed *Nicotina tobacum* L. cultivar. Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France, 5, 505-510.
<https://doi.org/10.1007/978-94-009-0173-5-816>
- Lawlor, D.W., & Tezara, W. (2009). Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaves: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Annals of Botany*, 103(4), 561-579.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcn244>
- Liebman, M., Corson, A., Rowe R.J. & Halteman, W.A. (1995). Dry bean response to nitrogen fertilizer in two tillage and residue management system. *Agronomy Journal*, 87, 538-546. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030024x>
- Lopez, F.B., Johansen, & Chauhan, C.Y.S., (1996). Effect of timing of drought stress on phenology, yield and yield components of a short-duration pigeon pea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 177, 311-320. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00251.x>
- Majnoun Hosseini, N. (2008). Grain legume production. University of Tehran Press (in Persian).
- Mohammadi, G., Javanshir, A., Khooie, F., Mohamadi, R., & Zehtab Salmasi, S. (2005). Critical period of weed interference in chickpea. *Weed Research*, 45(1), 57-63.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00431.x>

- Mohammadzadeh, A. Majnoonhoseini, N. Moghaddam, H. & Akbari, M. (2011). The effect of various water stress and nitrogen levels on the yield and yield components in red beans genotype. *Journal of Agricultural sciences of Iran*, 43(1), 29-38.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.24876>
- Monneveux, P.H., Rekika, D., Acevedo, E. & Merah, O. (2006). Effect of drought on leaf gas exchange, carbon isotopes discrimination, transpiration efficiency and productivity in field grown durum wheat genotypes. *Plant Science*, 170, 867-872.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.12.008>
- Monteith, J.L. & Moss, C.J. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(980), 277-294. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>
- Mendham, N.J. & Salisbury, P.A. (1995). Physiology: Crop development, growth and yield. pp. 11-64. In: D. S. Kimber and D. I. McGregor, Eds., *Bmssica Oilseeds*. Centre for Agricultural Bioscience International, Wallingford.
- Nouri Goghari, M., Dashti, H., Madah Hosseini S. & Dehghan, E. (2015). Evaluation of genetic diversity of Lentil germplasm using morphological traits in Bardsir. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 45(4), 541-551. (In Persian with English Abstract),
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2014.53564>
- Nunez Barrios, A., Hoogenboom, G., & Nesmith, D.S. (2005). Drought stress and distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricola*, 62, 18-22.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000100004>
- Papi Mousavi, A., Arzani, A. & Saeedi, Q.A. (2013). Evaluation of the diversity of photosynthetic components in double haploid rapeseed lines and their relationships with grain yield under field conditions. *Plant Process and Function*, 3(8), 48-55.
- Pearce, D.W., Millard, S., Bray, D.F. & Rood, S.B. (2006). Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. *Tree Physiology*, 26, 211-218.
<https://doi.org/10.1093/treephys/26.2.211>
- Pessaraki, M. (2001). *Handbook of Plant and Crop Physiology*. Second Edition, Marcel Dekker Inc., New York, USA. <https://doi.org/10.1201/9781003093640>
- Pilbeam, C.J., Akatse, J.K., Hebblethwaite, P.D., & Wright, C.D. (1992). Yield production in two contrasting forms of spring-sown faba beans in relation to water supply. *Field Crops Research*, 29, 273-287. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(92\)90030-D](https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90030-D)
- Pinheiro, C., Passarinhoa J.A. & Ricardo, C.P. (2004). Effect of drought and reatering on the merabolism of pinus albus organs. *Journal of Plant Physiology*, 161, 1203-1210.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.016>
- Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. & Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water. *Acta Biologica Cracoviensia-Series Botanica*, 53, 47-56. <https://doi.org/10.2478/v10182-011-0007-2>
- Rahimi Chegeni, A., Bihamta, M.R. & Khodarahmi, M. (2017). Evaluation of different characteristics of wheat genotypes under drought stress using multivariate statistical. *Journal of Crop Breeding*, 9, 147-155. (In Persian with English Abstract),
<https://doi.org/10.29252/jcb.9.21.147>
- Rosales, M.A., Ocampo, E., Rodríguez-Valentín, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J. A. & Covarrubias, A.A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Journal of Experimental Botany*, 63(12), 449-458.
<https://doi.org/10.1093/jxb/err313>
- Sabokdast, M. and Khyalparast, F. (2008). A study of relationship between grain and yield components in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Science and*

- Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11, 123-134, (In Persian with English Abstract) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22518517.1386.11.42.11.0>
- Sadeghipour, O., Ghafari Khaligh, H. & Monem, R. (2004). Effect of plant density on yield and yield components of determinate and indeterminate red bean. *Journal of Agricultural Sciences*, 11(1), 149-159. (In Persian with English Abstract) <https://www.sid.ir/paper/7950/fa>
- Safapour, M., Khagani, S., Amirabadi, M., Teymouri, M. & Bazyan, M.K. (2009). Statistical analysis of the effect of water stress on phenological and agronomical traits of white bean genotypes. *The New Agricultural Findings*, 4, 367-378, (In Persian with English abstract).
- Salehi, F., (2015). *Principles of breeding and cultivation of common bean*. Agricultural and Natural Resources Research Education Publication. (In Persian)
- Sinclair, T.R. & Muchow, R.C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, 215-265. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60914-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60914-1)
- Singh, S.P. & Schwartz, H.F. (2010). Breeding Common Bean for Resistance to Diseases: A Review. *Crop Science*, 50(6), 2199-2223. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.03.0163>
- Sing, S.P. (1995). Selection for water stress tolerance in interracial in common bean. *Crop Science*, 35, 118-124. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010022x>
- Souza, R.P., Machado, E.C., Silva, J.A.B., Lagôa, A.M.M.A. & Silveira, J.A.G. (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. *Environmental and Experimental Botany*, 51, 45-56. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5)
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., & Dickey, D.A. (1997). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach*. Third Edition, McGraw-Hill, New York, USA.
- Sylspur, M., Jaafari, P. & Mollahosseiny, H. (2006). Effect of drought stress and plant density on yield and some agronomy traits of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 2, 13-24. <https://doi.org/10.4236/as.2014.52016>
- Turner, N.C. & Nicolas, M.E. (1987). Drought resistance of wheat for light-textured climate. pp: 203-216. In: Srivastava, J.P., Procrddu, E., Acevedo E. & Varma, S. (eds.), *Drought tolerance in winter cereals*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Wang, S., Meckling, K. A., Marcone, M. F., Kakuda, Y., & Tsao, R. (2011). Synergistic, additive, and antagonistic effects of food mixtures on total antioxidant capacities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(3), 960-968. <https://doi.org/10.1021/jf1040977>
- Wells, R., Schulze, L.L., Ashley, D.A., Boerma H.R., & Brown, R.H. (1982). Cultivars differences in canopy apparent photosynthesis and their relationship to yield in soybeans. *Crop Science*, 22, 886-90. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200040044x>
- Xu, B. & Chang, S.K.C. (2009). Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4754-4764. <https://doi.org/10.1021/jf900695s>
- Yakhkeshi, S. (1998). Study and determination correlation between yield and its components and some important agronomic traits of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by using causality analysis. Master's thesis. College of Agricultural Sciences of Sari, Mazandaran University, Iran. (in Persian).
- Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgharestan Journal of Plant Physiology*, 2, 187-206.

- Zabet, M., Hosein Zade, A.H., Ahmadi, A. & Khialparast, F. (2003). Effect of water stress on different traits and determination of the best water stress index in mung bean (*Vigna radiata*). *Iranian Journal of Agriculture Science*, 34, 889-898. (in Persian with English Abstract).
- Zahedi, F., Nabati, D., Mohammadi, M. & Karimzadeh, R.A. (2016). Path analysis to study morpho-physiological traits, yield and traits related to yield of lentil genotypes under rainfed condition. *Journal of Plant Production*, 39(2), 71-80. (in Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2016.12056>
- Zlatev, Z.S. & Yordanov, I.T. (2004). Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants. *Bulgarestan Journal of Plant Physiology*, 30, 3-18.