



**Research Article**

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

Seyedeh Soudabeh Shobeiri<sup>1</sup> , Ali Akbar Asadi<sup>2</sup> , Ali Akbar Ghanbari<sup>3</sup> 

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](mailto: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](mailto:asadipm@gmail.com)

3-Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: [aghanbari2004@yahoo.com](mailto: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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, transpiration rate, and stomatal conductance. Stepwise regression analysis showed that among the photosynthetic parameters, stomatal conductance and substomatal CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, 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<sup>۱</sup>، علی‌اکبر اسدی<sup>۲</sup>، علی‌اکبر قنبری<sup>۳</sup>

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

رایانامه: [s.shobeiri@yahoo.com](mailto: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](mailto:asadipm@gmail.com)

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

رایانامه: [aghanbari2004@yahoo.com](mailto:aghanbari2004@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱	تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷	تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

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 CO<sub>2</sub> 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.، قنبری، ع.ا. (۱۴۰۵). بررسی پارامترهای عملکردی و فتوسنتزی و روابط بین آنها در ژنوتیپ‌های لوبیای سیاه. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۶(۱)، ۵۹-۸۱.

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



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 فرآیندهای 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<sub>2</sub> می‌تواند فتوسنتز را به‌کمتر 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<sub>2</sub> به فضای بین سلولی شده که در نهایت کاهش غلظت CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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). با این 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 فرآیندهای 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، به طوری 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<sub>2</sub>، 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<sub>2</sub> از حفره‌های بین‌سلولی برگ به کلروپلاست است. افزایش هدایت مزوفیلی موجب افزایش غلظت CO<sub>2</sub> 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; Flexas *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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  زیرروزنه‌ای و کارایی مصرف آب روزنه‌ای ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ ) 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 اشباع (%)	EC (dS/m)	pH	CCE (%)	OC (%)	پتاسیم قابل‌جذب (mg/kg)	فسفر قابل‌جذب (mg/kg)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)
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 × 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×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×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

SS (Sub stomatal CO<sub>2</sub>) - دمای برگ - LT (Leaf temperature) - فتوسنتزی - PAR (Photosynthetic activated radiation): تشعشع فعال فتوسنتزی - CO<sub>2</sub> 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): 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 G5, G20, 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 به‌عنوان 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، به‌عنوان یک رویداد اولیه در واکنش گیاهان به کمبود مقدار آب ناشی از تنش شناخته می‌شود که منجر به محدودیت جذب کربن به‌وسیله برگ‌ها می‌شود. بالا بودن میزان درصد محتوای



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 ( $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ )	LT ( $^{\circ}\text{C}$ )	SS ( $\mu\text{mol/mol}$ )	TR ( $\text{mmol/m}^2\text{s}$ )	SC ( $\text{mol/m}^2\text{s}$ )	P ( $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ )	PWUE ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ )	MC ( $\text{mmol CO}_2/\text{m}^2\text{s}$ )	WUE ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$ )
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<sub>2</sub>): CO<sub>2</sub> 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 - PPP plot): تعداد بوته در کرت. میانگین‌های دارای حروف لاتین مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنادار ندارند.





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; Jajermi, 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 CO<sub>2</sub>): CO<sub>2</sub> زیر روزنه ای- TR (Transpiration rate): تعرق- SC (Stomatal conductance): هدایت روزنه ای- P (Photosynthesis): فتوسنتز- PWUE (Plant efficiency): 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 flowering): تعداد روز تا گلدهی- DM (Days to maturity): تعداد روز تا رسیدگی- SPP (Seed per plant): تعداد دانه در غلاف- 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 مورد نظر اصلاحگر را بالا برده و با افزایش تنوع ژنتیکی در یک جامعه محدود 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 <sup>2</sup> =0.597			R <sup>2</sup> =0.583
		R <sub>Adjust</sub> =0.584			R <sub>Adjust</sub> =0.577
فتوسنتز			محصول دانه		
صفات وارد شده به مدل	ضرایب رگرسیون	صفات وارد شده به مدل	ضرایب رگرسیون		
Traits entered into the model	Regression coefficient	Traits entered into the model	Regression coefficient		
Constnt	ضریب ثابت	Constnt	ضریب ثابت		
	37.05** ± 1.525		-5134** ± 958.2		
Stomatal conductance	هدایت روزنه‌ای	Plant per plot	تعداد بوته در کرت		
	0.098** ± 0.008		14.87** ± 1.38		
Sub stomatal CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> زیرروزنه‌ای	Seed per pods	تعداد دانه در غلاف		
	-14.87** ± 1.31		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 CO<sub>2</sub> 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



- 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>



- 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](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 rewatering 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*



- 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.