

Studying the Effect of Moisture Deficit Stress on the Light Absorption and Use Efficiency of Different Red Bean Cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) in a Mediterranean Climate

F. Parsapour¹, F. Mondani^{1*}, Gh. Mohammadi¹

1- Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran

(*- Corresponding Author Email: F.mondani@razi.ac.ir)

Received: 07 April 2026

Revised: 14 May 2026

Accepted: 01 June 2026

Available Online: 01 June 2026

How to cite this article:

Parsapour, F., Mondani, F., & Mohammadi, Gh. (2026). Studying the effect of moisture deficit stress on the light absorption and use efficiency of different red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) in a Mediterranean climate. *Journal of Water and Soil*, 40(1), 19-37. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jsw.2026.98232.1537>

Introduction

The common bean is an important legume cultivated by farmers in various regions using low-input practices. It originated in South and Central America and is now cultivated in all tropical and temperate regions worldwide. Asia accounts for 43% of global bean production, while the Americas (North, Central, and South America) account for 29%, and Africa for 26%. Bean seeds, containing approximately 22% protein, are a valuable alternative to animal protein sources. Iran is an arid and semi-arid country that faces the problem of resource shortages, especially water. Undoubtedly, modifying consumption patterns as well as optimizing the use of agricultural inputs will lead to increased food security.

Materials and Methods

The experiments were conducted at the research farm of the Campus of Agricultural and Natural Resources (34°, 19' N, 47°, 50' E and altitude 1320 m) of Razi University in the Kermanshah region, located in western Iran, over three years from 2021 to 2023. In terms of climatic divisions, this region is located in the temperate mountainous regions with a Mediterranean climate. The experiments were conducted in a split plot in a randomized complete block design with three replications. The treatments included irrigation water amount as the main factor (providing 100% of the water requirement, equivalent to 7300 m³ ha⁻¹ (IR100%), providing 80% of the water requirement, equivalent to 5840 m³ ha⁻¹ (IR80%), and providing 60% of the water requirement, equivalent to 4380 m³ ha⁻¹ (IR60%) for 2021. Because the amount of water required by the plant is determined according to climatic factors, the amounts of irrigation water in each treatment were determined as 6800, 5440, and 4080 m³ ha⁻¹ for 2022 and 7200, 5760, and 4320 m³ ha⁻¹ for 2023, respectively. Three common red bean cultivars, including Ofogh, Yaghoot, and Derakhshan, were also considered as secondary factors. The soil water status, leaf area index (LAI), light absorption, total dry weight (TDW), light use efficiency (LUE), and grain yield (GY) were measured.

Results and Discussion

The soil volumetric water content fluctuated as a function of the amount of water entering the soil (irrigation) and the amount of water leaving the soil (evaporation from the soil surface and transpiration by the plant). Soil volumetric water content varied in different irrigation treatments. Regardless of the red bean cultivars, the highest and lowest soil water content were observed in the IR100% and IR60% treatments during 2021-2023, respectively.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jsw.2026.98232.1537>

The volumetric soil water content also varied for the studied red bean cultivars during the experimental period. Regardless of irrigation treatments, the highest and lowest soil water content were observed for the Ofogh and Derakhshan cultivars, respectively. The Ofogh cultivar had a shorter growth period than the other cultivars, so it required less irrigation water. It seems that the Ofogh cultivar absorbed water from the soil more quickly in the early stages of growth, which led to a sharp decrease in soil moisture content. But at the end of the growing season, as the air gradually cooled, soil moisture content increased again due to a decrease in water absorption by the Ofogh cultivar. The Yaghoot cultivar required more irrigation water than the Ofogh cultivar due to its unlimited growth, and in the middle of its growth period, due to the greater development of leaves in the canopy, it absorbed more water from the soil, which led to a more severe decrease in soil moisture. The changes in soil water content for the Derakhshan cultivar were almost similar to the Yaghoot cultivar. Due to the longer growth period of Derakhshan cultivar compared to other cultivars, more irrigation water was absorbed by this cultivar, which led to a sharp decrease in soil volumetric water content at the end of the growth period. The results showed that soil moisture content varied significantly among irrigation treatments and cultivars. Severe water deficit stress reduced LAI, TDW, and GY. The highest LUE in the vegetative and reproductive stages for the Yaghoot cultivar compared to other cultivars were 1.36 and 0.54 g MJ⁻¹, respectively. In 2022, the evaluated traits were higher than in 2021 and 2023, due to the lower average temperature (27°C) during the growing season. Regardless of year, the highest grain yield (192.5 g m⁻²) belonged to Ofogh cultivar under optimum irrigation conditions, and the lowest grain yield (80.9 g m⁻²) belonged to Derakhshan cultivar in severe water stress conditions.

Conclusion

The results of this study showed a positive effect of irrigation on the light absorption and LUE of common bean cultivars. Severe water stress reduced the ability of the crop to maintain leaf area during the growth period. Finally, the reduction in light absorption, LUE, and the length of the bean growth period due to drought stress led to lower TDW and GY.

Keywords: Grain yield, Leaf area index, Soil volumetric moisture, Water deficit stress

بررسی تأثیر تنش کمبود رطوبت بر کارایی جذب و مصرف نور ارقام مختلف لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) در یک اقلیم مدیترانه‌ای

فاطمه پارساپور^۱ - فرزاد مندنی^{۱*}  - غلامرضا محمدی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

چکیده

نور یکی از مؤلفه‌های مهم رشد در گیاه بوده و تولید ماده خشک تابعی از نور جذب شده و کارایی مصرف نور است. به منظور بررسی تأثیر تنش کمبود رطوبت بر کارایی جذب و مصرف نور سه رقم لوبیا قرمز آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی طی سه سال (۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲) اجرا شدند. تیمارها شامل آبیاری به عنوان عامل اصلی (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و ارقام لوبیا قرمز (افق، یاقوت و درخشان) به عنوان عامل فرعی بود. جهت اعمال تیمارهای آبیاری حجم آب مصرفی با استفاده از روش تشتک تبخیر محاسبه شد. مقادیر آب آبیاری در هر تیمار به ترتیب ۶۸۰۰، ۵۴۴۰ و ۴۰۸۰ متر مکعب در هکتار برای سال ۱۴۰۱ و ۷۲۰۰، ۵۷۶۰ و ۴۳۲۰ متر مکعب در هکتار برای سال ۱۴۰۲ تعیین شد. نتایج نشان داد محتوای حجمی رطوبت خاک در تیمارهای آبیاری و ارقام مورد بررسی تغییرات متفاوتی داشت. تنش شدید رطوبت باعث کاهش شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و عملکرد دانه شد. بالاترین کارایی مصرف نور در مرحله رویشی و زایشی برای رقم یاقوت در مقایسه با سایر ارقام به ترتیب به میزان ۱/۳۶، ۰/۵۴ گرم بر مگاژول بود. در سال ۱۴۰۱ در مقایسه با سال‌های دیگر به علت پائین‌تر بودن میانگین دمای طول دوره رشد (۲۷ درجه سانتی‌گراد)، صفات اندازه‌گیری شده مقادیر بالاتری داشتند. صرف‌نظر از سال، بالاترین عملکرد دانه (۱۹۲/۵ گرم در متر مربع) متعلق به رقم افق در شرایط آبیاری مطلوب و پائین‌ترین عملکرد دانه (۸۰/۹ گرم در متر مربع) متعلق به رقم درخشان در شرایط تنش شدید رطوبت بود. بطور کلی رقم افق باتوجه به فرم بوته ایستاده و زودرسی علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، به دلیل عملکرد بالاتر، مناسب مناطقی است که با کمبود آب مواجه هستند.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، رطوبت حجمی خاک، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه

مقدمه

لوبیا از جمله مهم‌ترین حبوباتی است که توسط کشاورزان در مناطق مختلف با استفاده از کم‌ترین نهاده‌ها کشت می‌گردد. منشأ آن آمریکای جنوبی و مرکزی است که امروزه در تمام مناطق گرمسیری و معتدل کشت می‌شود. حدود ۴۳ درصد از تولید جهانی لوبیا را قاره آسیا، ۲۹ درصد قاره آمریکا (آمریکای شمالی، مرکزی و جنوبی) و ۲۶ درصد را قاره آفریقا به خود اختصاص می‌دهند (FAOSTAT, 2025;). بذور لوبیا با داشتن حدود ۲۲ درصد پروتئین

جایگزین مناسبی برای پروتئین حیوانی است (Bayat et al., 2020). کشور ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان است که با مشکل کمبود منابع به‌خصوص آب مواجه هست. بی شک اصلاح الگوی مصرف و همچنین استفاده بهینه نهاده‌های کشاورزی منجر به افزایش امنیت غذایی می‌شود (Mousavi et al., 2020). میانگین بارندگی ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است که این مقدار بسیار پایین‌تر از میانگین بارندگی جهان (۸۶۰ میلی‌متر) است (Kaboli et al., 2021). در چنین شرایطی استفاده از روش‌های مدیریتی که بتواند بدون کاهش

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(Email: F.mondani@razi.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

تأمین شرایط مطلوب جهت استفاده از نور به منظور تولید مواد فتوسنتزی با بالاترین کارایی است (Beheshti et al., 2002). از بین عوامل مدیریتی، میزان نور موجود در محیط تحت کنترل زارع نیست و به فصل سال، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و ترکیبات اتمسفر منطقه بستگی دارد. اما میزان جذب تشعشع توسط گیاه وابسته به شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ و آرایش مکانی اندام‌های هوایی گیاه هست (Tohidi et al., 2012). کمبود آب خاک، تولید ماده خشک گیاهان را به دلیل کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی ناشی از کاهش شاخص سطح برگ، پرمردگی برگ‌ها و در نهایت پیری زودرس برگ‌ها و همچنین کاهش کارایی تبدیل نور جذب شده به ماده خشک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Earl & Davis, 2003). در بین ویژگی‌های ذکر شده، کارایی مصرف نور از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا تغییرات بسیار ناچیز در میزان آن منجر به اثرات فراوانی بر تولید ماده خشک گیاه می‌شود. بنابراین، محاسبه کارایی مصرف نور روشی مؤثر و کارآمد برای کمی کردن تجمع ماده خشک است که به صورت افزایش ماده خشک به ازای جذب هر واحد نور تعریف می‌شود و اغلب به صورت شیب رگرسیونی خطی زیست‌توده در مقابل نور جذب شده تجمعی محاسبه می‌شود (Bai et al., 2016). در شرایطی که کمبود آب و مواد غذایی وجود نداشته باشد در غیاب مشکل آفات و بیماری‌ها، تولیدات گیاهی یک رابطه خطی با مقدار تابش تجمعی دریافتی دارند و تابش فعال فتوسنتزی جذب شده مهم‌ترین عامل رشد گیاه است (Tohidi et al., 2012). در مطالعه‌ای گزارش شد که تنش کمبود رطوبت باعث کاهش کارایی مصرف نور و عملکرد دانه لوبیا شد (Rashidi et al., 2022). بنابراین باتوجه به کمبود شدید منابع آبی در اکثر مناطق کشور ایران و اهمیت لوبیا در سبد خانوارها به‌ویژه اقشار کم‌درآمد جامعه، این پژوهش با اهداف (۱) بررسی وضعیت رطوبت خاک طی دوره رشد محصول در شرایط تیمارهای آبیاری، (۲) تعیین تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر جذب و کارایی مصرف نور و (۳) ارزیابی تأثیر کمبود رطوبت بر میزان عملکرد دانه ارقام مختلف لوبیا قرمز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

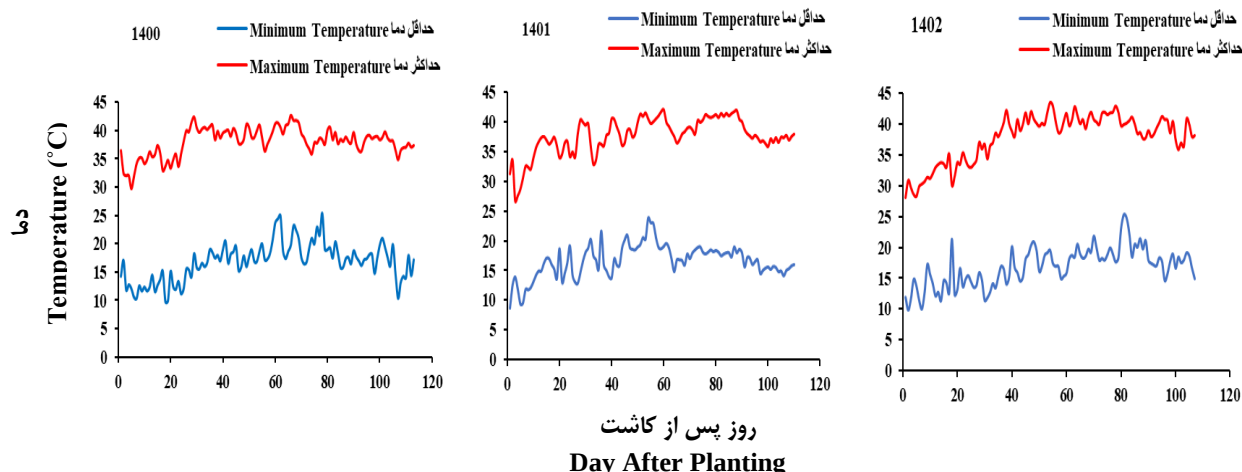
منطقه مورد بررسی

آزمایش‌ها در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) دانشگاه رازی در منطقه کرمانشاه واقع در غرب ایران طی سه سال از ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ اجرا شد. این منطقه از نظر تقسیمات اقلیمی جز مناطق معتدل کوهستانی با اقلیم مدیترانه‌ای قرار دارد. روند تغییرات دمای محل مطالعه در طول فصل رشد گیاه در شکل ۱ نشان داده شده است.

با کاهش اندکی در عملکرد، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی را کاهش دهد، ضروری است. بنابراین کم آبیاری انتخاب یک راهبرد بهینه و برتر برای استفاده از آب تحت شرایط کمبود آب بوده که در عین حال ممکن است سبب کاهش حداقلی کمیت و کیفیت محصول نیز شود (Sun et al., 2023). بر اساس آخرین آمار موجود، در ایران در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ سطح زیر کشت لوبیا حدود ۸۷ هزار هکتار و میزان تولید نیز حدود ۲۰۸ هزار تن در سال بوده است، سطح زیر کشت و میزان تولید لوبیا در استان کرمانشاه در همین سال به ترتیب ۶۹ هکتار و ۱۶۸ تن گزارش شده است که نشان می‌دهد علی‌رغم اهمیت اکولوژیک این محصول و نیاز آن در سبد غذایی خانوار به شدت رو به کاهش است (MJA, 2024).

کمبود منابع آب منجر به افزایش هزینه‌های تولید کشاورزی و کاهش عرضه غذا به میزان قابل توجه شده و از این طریق امنیت غذایی جمعیت جهان را در معرض خطر قرار داده است (Chieb & Gachomo, 2023). در پژوهشی با هدف ارزیابی ژنوتیپ‌های لوبیا در شرایط تنش خشکی، نشان داده شد که عملکرد دانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت، به‌طوری‌که با افزایش شدت تنش میزان آن کاهش یافت (Tahmasebi & Mohammadi-Dehbalaee, 2019). در مطالعه‌ای دیگر نیز مشخص شد که تنش خشکی منجر به کاهش عملکرد دانه لوبیا شد (Androcioli et al., 2020). باوجود اینکه تکنولوژی‌های نوین قادر به توزیع مناسب آب و افزایش راندمان مصرف، جهت جلوگیری از هدررفت آب شده‌اند، با این حال کاشت گیاهان مقاوم به خشکی راه‌حل مناسب‌تری برای مناطقی با کمبود آب است (Toscano et al., 2019). بنابراین، یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد لوبیا، انتخاب رقم متحمل به خشکی است. در توسعه برنامه اصلاحی تولید ارقام کارآمد از نظر مصرف آب در شرایط تنش خشکی، شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم لوبیا بسیار اهمیت دارد. همچنین ارقامی که در شرایط تنش خشکی، عملکرد بالاتری دارند و به آبیاری مطلوب نیز واکنش خوبی نشان می‌دهند، مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها هستند، زیرا قادرند پتانسیل عملکرد بالای خود را در طیف گسترده‌ای از شرایط آب قابل دسترس خاک حفظ کنند (Ghanbari, 2022). علاوه بر ویژگی‌های ژنتیکی ارقام، مدیریت‌های زراعی از جمله رژیم آبیاری قادر است صفاتی نظیر ساختار تاج‌پوشش گیاهی، کارایی مصرف نور و تولید ماده خشک را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Ahmadi et al., 2018).

نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که منبع نامحدودی از انرژی زیستی را برای گیاه فراهم می‌آورد و شدت و کیفیت آن می‌تواند رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد (Li & Mathews, 2016). بنابراین، یکی از پیش‌شرط‌های لازم برای رسیدن به تولید حداکثر،



شکل ۱- روند تغییرات حداقل و حداکثر دمای روزانه در منطقه کرمانشاه در طول دوره رشد لوبیا قرمز در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ (سازمان هواشناسی کرمانشاه. www.kermanshahmet.ir)

Figure 1- Temperature changes in Kermanshah during the growth period in 1400 to 1402 (Kermanshah Meteorological Organization. www.kermanshahmet.ir)

جدول ۱- مجموع بارندگی ماهیانه (بر حسب میلی‌متر) در منطقه کرمانشاه طی سال‌های آزمایش

Table 1- Monthly cumulative precipitation (mm) in the Kermanshah region during experiment years

ماه Month	سال Year		
	1400	1401	1402
فروردین Farvardin	4.4	10.5	90.5
اردیبهشت Ordibehesht	7.3	81.2	59.2
خرداد Khordad	0.1	0	16.7
تیر Tir	0	0	0
مرداد Mordad	0	0	0
شهریور Shahrivar	0	0	0
مهر Mehr	0	0	14.4
آبان Aban	39.2	18.5	30.0
آذر Azar	29.7	11.7	7.1
دی Dae	7.1	54.4	64.8
بهمن Bahman	82.6	39.5	40.1
اسفند Esfand	20.9	22.1	54.0
جمع کل Total	191.3	237.9	376.8

آزمایشات به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شدند. تیمارها شامل میزان آب آبیاری به عنوان عامل اصلی (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، معادل ۷۳۰۰ متر مکعب در هکتار (IR_{100%}))، تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی، معادل ۵۸۴۰ متر مکعب در هکتار (IR_{80%}) و تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی، معادل ۴۳۸۰ متر مکعب در هکتار (IR_{60%}) برای سال (۱۴۰۰) بود. چون میزان آب مورد نیاز گیاه با توجه به عوامل اقلیمی تعیین می‌شود، بنابراین مقادیر آب آبیاری در هر تیمار به ترتیب ۶۸۰۰، ۵۴۴۰ و ۴۰۸۰ متر مکعب در هکتار برای سال ۱۴۰۱ و ۷۲۰۰، ۵۷۶۰ و ۴۳۲۰ متر مکعب در هکتار برای سال ۱۴۰۲ تعیین شد. اطلاعات مربوط به میزان مجموع بارش‌های ماهیانه در جدول ۱ نشان داده شده است. در نهایت میزان آبی که در هر تیمار در اختیار گیاه قرار داده شده، مجموعه آب آبیاری و آب ناشی از بارندگی بود.

ارقام رایج لوبیا قرمز شامل افق، یاقوت و درخشان نیز به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. منشاء رقم افق کشور کلمبیا است. ویژگی‌های این رقم شامل کلاس بین‌المللی Morado، فرم بوته ایستاده، مناسب برای برداشت مکانیزه، زودرس، متوسط دوره رشد و نمو ۸۵ روز، مقاوم به آفت کنه دونه‌ای و بیماری‌های ویروسی، بازار پسندی مطلوب، تحمل بالا در برابر تنش خشکی و مناسب برای کاشت در مناطق با سرمای زود هنگام پاییزه است. منشاء رقم یاقوت کشور ایران بوده و دارای ویژگی‌هایی نظیر کلاس تجاری بین‌المللی Red Mexican، فرم بوته ایستاده رشد نامحدود، مناسب برای برداشت مکانیزه، متوسط دوره رشد و نمو ۸۷ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه‌ای و بیماری‌های ویروسی، بازار پسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب مناطق معتدل و سرد است. منشاء رقم درخشان نیز کشور کلمبیا است. این رقم دارای مشخصاتی نظیر فرم بوته ایستاده، متوسط دوره نمو ۱۱۰ روز، حساس به آفت کنه دو نقطه‌ای و علف‌های هرز، مناسب مناطق معتدل و سرد و کلاس بین‌المللی Morado است. بذور استفاده شده از مرکز تحقیقات ملی لوبیای خمین تهیه شد (MANRRAC, 2021).

به منظور آماده‌سازی زمین، شخم و دیسک در اول خرداد برای هر سه سال زراعی انجام شد. قبل از انجام آزمایش به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مکان پژوهش، نمونه برداری به صورت تصادفی انجام و به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۲). نیتروژن به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره در مرحله سه برگی و پتاسیم به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سولو پتاس در زمان غلاف بستن استفاده شد. همه بذرها قبل از کاشت با سم مانکوزب به نسبت دو در هزار ضد عفونی گردید. هر کرت فرعی دارای ۷ ردیف کاشت به طول چهار متر بود. فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذور روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. بذرها با دست و در عمق پنج سانتی‌متر خاک کشت شدند. در هر سه سال تاریخ کاشت ۵ خرداد بود. تراکم نهایی مزرعه ۲۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی متناسب با تیمارهای مربوطه بر اساس شرایط محیطی و نیاز آبی گیاه هر چهار تا هفت روز یک‌بار انجام گردید. تیمار تنش خشکی در مرحله سه برگی لوبیا اعمال شد و تا مرحله بلوغ فیزیولوژیک گیاه نیز ادامه داشت. حجم آب مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری جهت اعمال تیمارهای آبیاری با استفاده از تشتک تبخیر کلاس A محاسبه و تبخیر روزانه از تشتک اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس ضریب تشتک و ضریب گیاهی، حجم آب مصرفی مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری از روابط زیر تعیین شد (Alizadeh & Kamali, 2007a).

$$ET_o = K_{pan} \times E_{pan} \quad (1)$$

در اینجا، ET_o : تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، E_{pan} : میزان تبخیر از تشت تبخیر است و K_{pan} : ضریب تشت تبخیر (میلی‌متر در روز) است که بستگی به وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن دارد و مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۸۵ متغیر است (Alizadeh, 2013).

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 2- Physicochemical properties of the soil at the experimental site in 0-30 cm

شاخص واکنش pH	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر Phosphor (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	نیتروژن Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	بافت texture	عمق Depth (cm)	سال Year
7.75	13.80	44.20	42.00	440.00	11.40	0.83	0.12	1.16	1.00	رسی سیلتی Silty clay	0-30	2021
7.60	10.00	46.00	44.00	297.00	13.86	0.50	0.24	2.00	1.05	رسی سیلتی Silty clay	0-30	2022
7.46	10.00	46.00	44.00	211.00	6.26	0.41	0.14	1.44	1.10	رسی سیلتی Silty clay	0-30	2023

محاسبه گردید. سپس میزان نور جذب شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Mondani et al., 2019).

$$I_{abs} = I_0 \times (1 - P) \times (1 - e^{-K \times LAI}) \quad (۴)$$

در اینجا، I_{abs} : نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، I_0 : نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر متر مربع)، P : ضریب انعکاس نور و K : ضریب خاموشی نور که به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۶۷ در نظر گرفته شد (Tsubo et al., 2001) و LAI : شاخص سطح برگ روزانه بود. برای برآورد شاخص سطح برگ روزانه نیز از رابطه زیر استفاده شد (Mondani et al., 2019).

$$LAI = \frac{a + b \times 4 \times \left(e^{-\left(\frac{x-c}{d} \right)} \right)}{\left(1 + e^{-\left(\frac{x-c}{d} \right)} \right)^2} \quad (۵)$$

در اینجا، a : عرض از مبدأ، b : زمان رسیدن به حداکثر LAI ، c : حداکثر LAI ، d : نقطه عطف منحنی و c : روزهای پس از کاشت است. برای محاسبه وزن خشک کل روزانه (TDW) بر حسب گرم در متر مربع نیز از رابطه زیر استفاده شد (Mondani et al., 2019).

$$TDW = \frac{a}{(1 + e^{(b(x-c))})} \quad (۶)$$

در اینجا، a : حداکثر تجمع وزن خشک کل (گرم بر متر مربع)، b : زمانی که منحنی وزن خشک کل وارد مرحله خطی می‌شود (روز پس از کاشت)، c : سرعت رشد نسبی و x : زمان برحسب روز پس از کاشت است. کارایی مصرف نور برحسب مگاژول بر گرم، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین وزن خشک کل (گرم بر متر مربع) و میزان نور جذب شده تجمعی (مگاژول بر متر مربع) در دو مرحله رویشی و زایشی لوبیا قرمز برای هر تیمار محاسبه شد. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه نیز از بخشی از هر کرت فرعی که به این منظور لحاظ شده بود از مساحت یک متر مربع برداشت صورت گرفت و پس خشک شدن بوته‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت عملکرد دانه اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۰ استفاده شد، به این صورت که ابتدا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید، تجزیه واریانس داده‌ها توسط رویه GLM انجام و سپس از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. جهت برازش مدل‌های تجربی لجستیک پیک (معادله ۵) و لجستیک (معادله ۶) از نرم‌افزار Slidwrite نسخه ۷/۰۱ و برای رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

ضریب گیاهی لوبیا ۰/۱۵ در اوایل رشد (از زمان کاشت تا نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد)، ۱/۱۵ در اواسط رشد (از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد تا زمان رسیدن محصول) و ۰/۲۶ در مرحله برداشت (از زمان شروع رسیدن محصول تا برداشت یا پلاسیدگی کامل گیاه) لحاظ گردید (Alamdari, 2018). از طریق ضرب کردن ضریب گیاهی در مقادیر روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل، مقادیر تبخیر و تعرق واقعی روزانه محاسبه شد (Alen et al., 1998).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (۲)$$

در اینجا، K_c ضریب گیاهی و ET_c تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر در روز) است. با جمع کردن تبخیر و تعرق واقعی روزانه بین دو مرحله آبیاری، نیاز خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه شد. آبیاری به صورت قطره‌ای انجام و حجم آب ورودی به کرت‌ها نیز با کنتور اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوی آب خاک به روش حجمی، در فواصل زمانی بین دو آبیاری مقداری از خاک هر کرت فرعی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت و توزین شد. سپس نمونه‌ها در داخل آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از ۴۸ ساعت نمونه از آون خارج و دوباره وزن شد. محتوی آب خاک از طریق معادله زیر تعیین شد (Hillel, 2004).

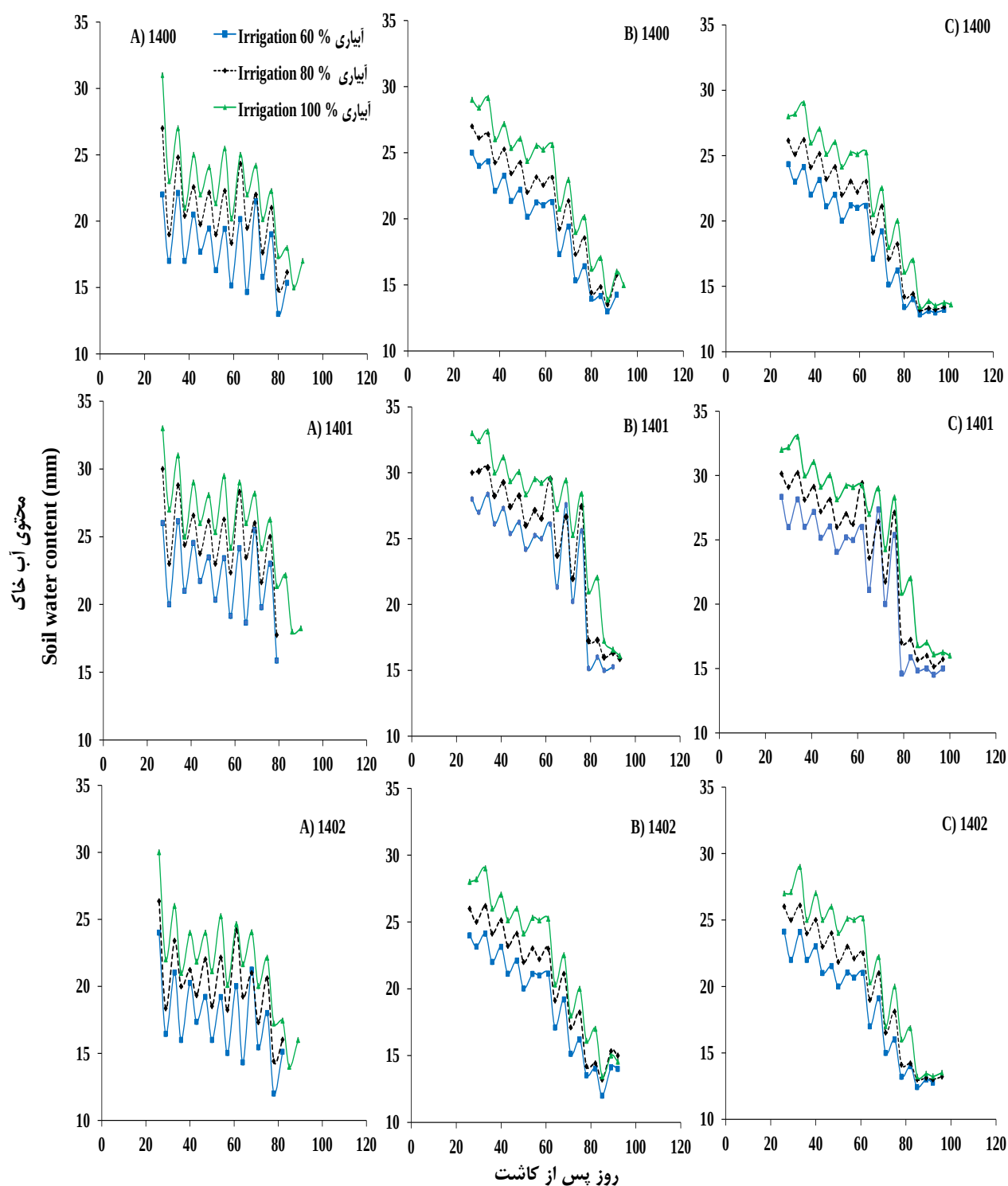
$$\Theta_g = \frac{mwet - mdry}{mdry} \quad (۳)$$

در اینجا، Θ_g : محتوی آب حجمی (جرم آب در هر جرم خاک خشک)، $mwet$: جرم آب موجود در خاک (جرم مرطوب)، $mdry$: جرم کل خاک خشک شده در آون (جرم خشک) است.

اندازه‌گیری صفات گیاهی

اندازه‌گیری‌ها شامل نمونه‌برداری‌های تخریبی و نهایی بود. نمونه‌گیری‌های تخریبی از بخشی از هر کرت فرعی که به این منظور در نظر گرفته شده بود بصورت کاملاً تصادفی و با رعایت اثرات حاشیه‌ای هر ۱۰ روز یک‌بار تا مرحله بلوغ فیزیولوژیک، انجام شد. در هر مرحله از نمونه‌برداری، سه بوته از هر کرت انتخاب و صفات اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و سپس توزین شدند. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از نرم‌افزار J-Microvision استفاده شد (Hajishabani et al., 2020).

به منظور اندازه‌گیری میزان نور روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه، ابتدا داده‌های ساعات آفتابی روزانه از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه دریافت شد و با استفاده از روش گودریان و وانلار (Goudrian & Van Laar, 1993) میزان نور روزانه بالای کانوپی



شکل ۲- تأثیر تیمارهای آبیاری بر محتوای آب خاک ارقام لوبیا قرمز. A: افق، B: یاقوت، C: درخشان
Figure 2- The effect of different irrigation treatments on the soil water content of red bean cultivars. A: Ofogh, B: Yaghoot, C: Derakhshan

نتایج و بحث

وضعیت آب خاک

محتوای حجمی آب خاک به عنوان تابعی از میزان آب وارد شده به خاک (بارندگی (جدول ۱) و آبیاری) و میزان آب خارج شده از خاک (تبخیر از سطح خاک و تعرق توسط گیاه) در نوسان بود. محتوای حجمی آب خاک در تیمارهای مختلف آبیاری تغییرات متفاوتی نشان داد (شکل ۲). صرف نظر از ارقام مورد بررسی، بیشترین و کمترین میزان محتوای حجمی آب خاک به ترتیب در تیمارهای آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش کمبود آب (۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) طی سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ مشاهده شد. محتوای حجمی آب خاک در طی دوره آزمایش برای ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود (شکل ۲). صرف نظر از تیمارهای آبیاری بیشترین و کمترین محتوای حجمی آب خاک به ترتیب برای رقم افق و درخشان مشاهده شد. رقم افق نسبت به ارقام دیگر دوره رشد کوتاه‌تری داشت، بنابراین میزان آب آبیاری کمتری نیاز داشت. به نظر می‌رسد که رقم افق در مراحل اولیه رشد، آب را سریع‌تر از خاک جذب کرد که منجر به کاهش شدید میزان رطوبت خاک گردید. اما در انتهای دوره رشد به مرور که هوا خنک‌تر شد، میزان رطوبت خاک نیز دوباره به علت کاهش میزان جذب آب توسط رقم افق افزایش یافت (شکل ۲). رقم یاقوت به دلیل رشد نامحدود بودن نسبت به رقم افق به آب آبیاری بیشتری نیاز داشت و در اواسط دوره رشد خود به علت توسعه بیشتر برگ‌ها در کانوپی میزان آب بیشتری از خاک جذب کرد که منجر به کاهش شدیدتر رطوبت خاک شد (شکل ۲). تغییرات محتوای حجمی آب خاک در شرایط کشت رقم درخشان تقریباً مشابه رقم یاقوت بود. با توجه به طول دوره رشد بیشتر رقم درخشان در مقایسه با دیگر ارقام مورد بررسی میزان آب آبیاری بیشتری نیز نیاز داشت، که به همین دلیل در انتهای دوره رشد محتوای حجمی آب خاک به علت جذب بیشتر آب توسط این رقم به شدت کاهش یافت (شکل ۲).

میزان رطوبت موجود در منطقه ریشه گیاه عامل اصلی ایجاد تنش کمبود آب در گیاهان است، بنابراین با آگاهی دقیق از محتوای حجمی رطوبت خاک، می‌توان از آسیب رسیدن به گیاه تحت شرایط تنش خشکی جلوگیری نمود و حداکثر بهره‌وری را به دست آورد. از طرفی دیگر انتخاب رقم پرمحصول و متحمل به تنش‌های غیرزنده نیز از عوامل مهم در افزایش عملکرد است (Ghanbari, 2022). نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای حجمی رطوبت خاک کاهش یافت و در بین ارقام مورد بررسی بیشترین میزان رطوبت توسط رقم افق جذب شد. رقم افق دارای طول دوره رشد کوتاه‌تری در مقایسه با سایر ارقام بود. به نظر می‌رسد رقم افق که جزو ارقام پر محصول نیز محسوب می‌شود به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و رشد

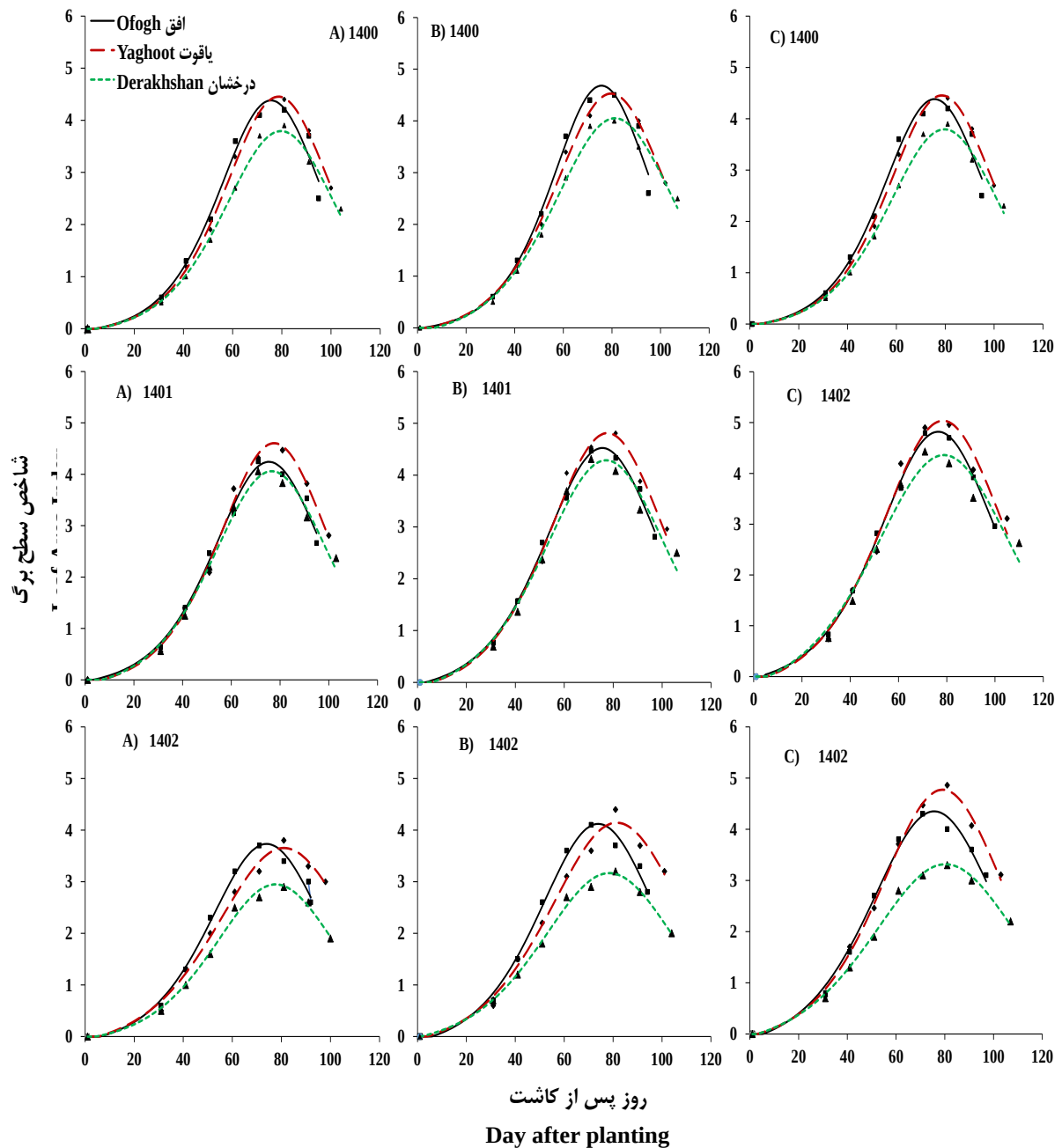
سریع‌تر با سرعت بیشتری آب را از لایه‌های عمیق‌تر خاک جذب می‌کند و همین موضوع باعث می‌شود که ارقام زودرس معمولاً به تنش‌های محیطی مانند خشکی و دماهای بالا مقاوم‌تر باشند. این ویژگی می‌تواند منجر به کاهش نیاز آبی و افزایش عملکرد شود. قانع پور و همکاران (Ghanepour et al., 2012) گزارش کردند که رقم افق به دلیل سیستم ریشه‌ای خاص خود، در مقایسه با دیگر ارقام برتری دارد. این ریشه‌ها با تغییر الگوی تخصیص ماده خشک به بخش زیرزمینی باعث افزایش رشد، جذب آب و حفظ محتوای آب بالاتر در برگ‌ها شده و در نتیجه افزایش عملکرد رخ می‌دهد. بنابراین این ویژگی به رقم افق کمک می‌کند تا در شرایط کمبود آب همچنان رشد کند و به تنش خشکی سازگار شود. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که محتوای حجمی آب خاک در شرایط تیمارهای مورد بررسی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بود (شکل ۲). این موضوع ممکن است به علت پایین‌تر بودن میانگین دمای طول دوره رشد گیاه در سال ۱۴۰۱ در مقایسه با سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ باشد (شکل ۱) که منجر به تخلیه آهسته‌تر و کمتر رطوبت حجمی خاک گردید. دمای محیط از جمله عوامل مؤثر بر میزان محتوای حجمی رطوبت خاک است. در مناطقی با متوسط دمای بالاتر در طول دوره رشد گیاه، سرعت و میزان تبخیر آب از سطح خاک افزایش می‌یابد.

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد تغییرات شاخص سطح برگ لوبیا قرمز در شرایط تیمارهای مورد بررسی و طی سال‌های مختلف دارای روند مشابهی بود (شکل ۳). با پیشرفت زمان، شاخص سطح برگ روند افزایشی داشت و پس از رسیدن به حداکثر میزان خود که در زمان گلدهی بود، روند کاهشی پیدا کرد (شکل ۳). با افزایش شدت تنش کمبود رطوبت شاخص سطح برگ در ارقام مختلف نیز کاهش یافت. حداکثر شاخص سطح برگ برای رقم یاقوت در تیمار آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب ۴/۹۶، ۴/۸۱ و ۴/۳۲ بود. برای رقم افق این مقادیر به ترتیب ۴/۷۹، ۴/۴۷ و ۴/۲۵ و به دست آمد و برای رقم درخشان به ترتیب ۴/۴۳، ۴/۳۱ و ۴/۰۶ محاسبه شد. بیشترین میزان شاخص سطح برگ رقم یاقوت در حدود ۸۱ روز پس از کاشت و در شرایط آبیاری کامل به میزان ۴/۹۶ مشاهده شد (شکل ۳) و پایین‌ترین میزان شاخص سطح برگ نیز مربوط به رقم درخشان که در حدود ۸۱ روز پس از کاشت و در شرایط تنش شدید خشکی به میزان ۲/۹۰ مشاهده شد (شکل ۳). صرف نظر از تیمارهای آبیاری و ارقام مقادیر شاخص سطح برگ لوبیا در سال ۱۴۰۱ نسبت به سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بیشتر بود. دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه به ترتیب، ۱۶/۸، ۳۷/۹ و ۲۷/۴ درجه سانتی‌گراد برای سال ۱۴۰۰، ۱۶/۶، ۳۷/۴ و ۲۷/۰ درجه

رسید سبب اختلال در فرآیند تلقیح و عدم تولید بذر و در نتیجه کاهش عملکرد شد (Khadivar et al., 2025). به نظر می‌رسد پایین‌تر بودن میانگین دمای طول دوره رشد گیاه در سال ۱۴۰۱ در مقایسه با سال-های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ منجر به افزایش تولیدات فتوسنتزی انتقال یافته برای ساخت برگ‌ها و در نتیجه افزایش شاخص سطح برگ گردید.

سانتی‌گراد برای سال ۱۴۰۱ و ۱۷/۲، ۳۸/۷ و ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد برای سال ۱۴۰۲ بود. در دماهای پایین‌تر در مقایسه با دماهای بالا به علت کاهش میزان تنفس نگهداری بافت‌های مختلف گیاه، میزان فتوسنتز خالص افزایش می‌یابد. نتایج پژوهشی دیگر نیز نشان داد زمانی که میانگین دمای هوا در دوره گلدهی لوبیا به ۲۷/۷ درجه سانتی‌گراد



شکل ۳- تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر شاخص سطح برگ ارقام لوبیا قرمز، A: آبیاری ۶۰ درصد، B: آبیاری ۸۰ درصد، C: آبیاری ۱۰۰ درصد
Figure 3- The effect of different irrigation treatments on the leaf area index of red bean cultivars. A: Irrigation 60%, B: Irrigation 80% , C: Irrigation 100%

مربع برای رقم یاقوت به ترتیب، ۱۳۵۲/۹، ۱۲۶۹/۶ و ۱۱۸۷/۹ مگاژول در متر مربع و برای رقم افق به ترتیب، ۱۲۷۶/۱، ۱۱۹۶/۳ و ۱۱۱۷/۲ مگاژول در متر مربع بود. بیشترین (۱۴۱۰/۹) مگاژول در متر مربع) و کمترین (۱۰۳۵/۸) مگاژول در متر مربع) میزان نور جذب شده تجمعی به ترتیب مربوط به رقم درخشان در شرایط آبیاری کامل و شرایط تنش شدید خشکی بود (شکل ۴).

مقدار نور جذب شده توسط ارقام مورد بررسی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سالهای ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بود. به نظر می‌رسد میزان نور جذب شده تجمعی توسط کانوپی رقم درخشان نسبت به ارقام دیگر به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی و همچنین زاویه قرارگیری برگ‌ها بیشتر بود. برگ‌های رقم درخشان به گونه‌ای قرار گرفتند (مثلاً عمود بر جهت تابش) که باعث جذب بیشتر و بهتر نور وارد شده به کانوپی گردید که منجر به استفاده کاراتر از نور و افزایش کارایی مصرف نور شد. در تحقیقی دیگر گزارش شده است که میزان جذب نور رقم دیررس ۷۰۴ C.S از سایر ارقام بیشتر بود (Tohidi et al., 2012)، این موضوع توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Shibles & Weber, 1995).

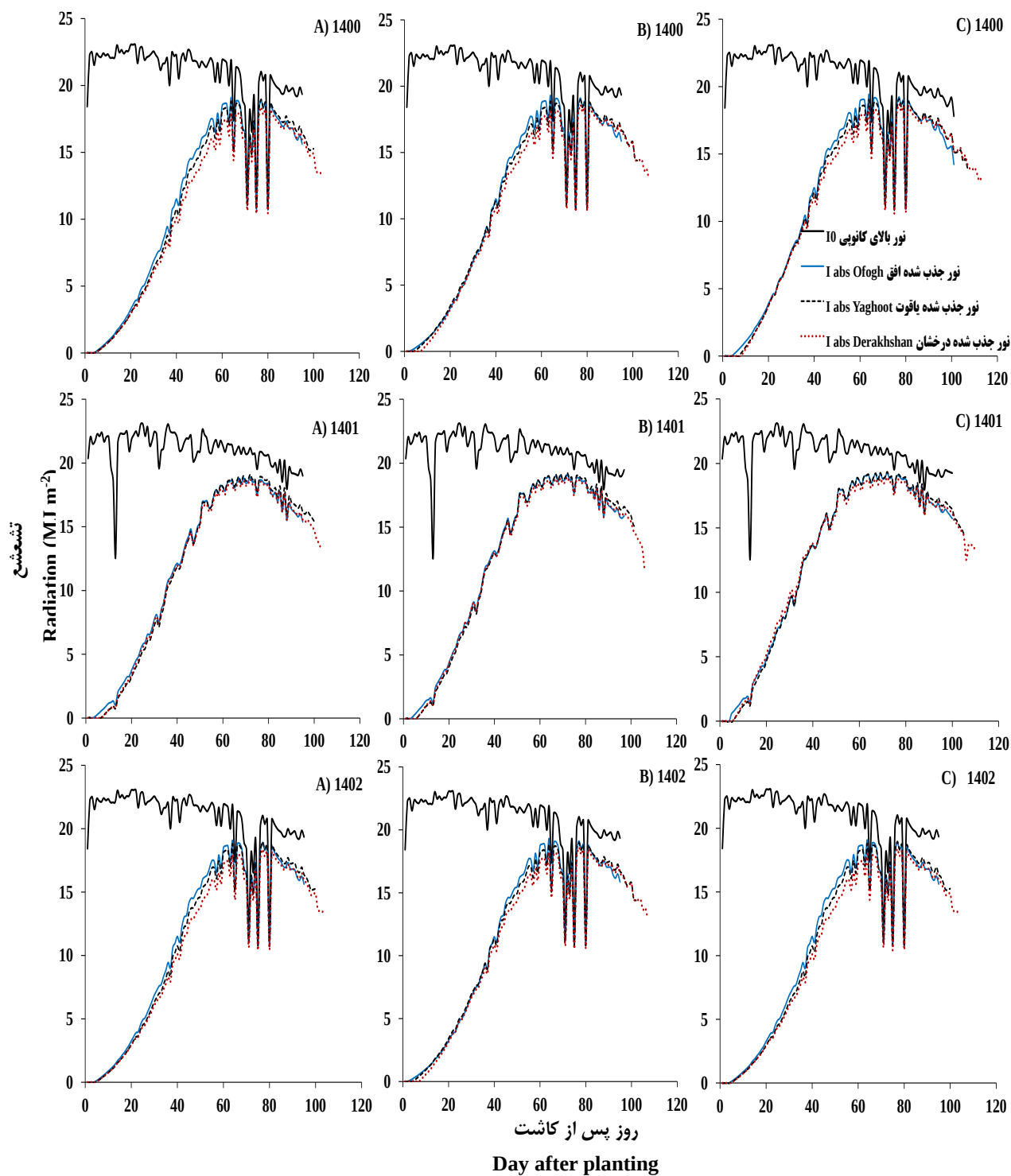
وزن خشک کل

نتایج نشان داد که در ابتدای دوره رشد به دلیل کوچک بودن بوته‌ها تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری و ارقام لوبیا قرمز از نظر روند افزایش وزن خشک کل مشاهده نشد (شکل ۵). اما با گذشت زمان وزن خشک کل وارد دوره رشد خطی خود شد و سپس در حدود ۹۵ تا ۱۱۰ روز پس از کاشت به حداکثر میزان خود رسید. صرف‌نظر از ارقام لوبیا قرمز، با افزایش شدت تنش خشکی حداکثر وزن خشک کل نیز کاهش یافت. تغییرات وزن خشک کل در بین ارقام مورد بررسی از نظر حداکثر میزان و زمان رسیدن به حداکثر میزان نیز متفاوت بود (شکل ۵). میانگین حداکثر وزن خشک کل طی سه سال آزمایش برای رقم افق در تیمار آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب، ۳۳۳/۳، ۵۴۸/۳ و ۳۳۸/۵ گرم بر متر مربع، برای رقم یاقوت به ترتیب، ۷۹۹/۱، ۶۵۲/۱ و ۳۸۳/۱ گرم بر متر مربع و برای رقم درخشان نیز به ترتیب، ۸۴۴/۱، ۷۰۷/۵ و ۴۲۴/۲ گرم بر متر مربع بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک کل مربوط به رقم درخشان و در شرایط آبیاری کامل به میزان ۸۸۴/۱ گرم بر متر مربع و کمترین آن مربوط به رقم افق در شرایط تنش شدید کم آبی به میزان ۳۳۸/۵ گرم بر متر مربع مشاهده شد (شکل ۵).

تنش خشکی سبب کاهش تعداد برگ می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش شاخص سطح برگ می‌شود (Hu et al., 2013). نتایج نشان داد که در مراحل اولیه رشد لوبیا قرمز، تفاوت چندانی بین شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری وجود نداشت. به نظر می‌رسد گیاه به دلیل استقرار اولیه و سطح برگ پایین در مراحل اولیه، رشد کندی داشته و افزایش وزن خشک در این دوره نسبت به زمان ناچیز بود. در مراحل ابتدای رشد بیشتر ترکیبات فتوسنتزی تولید شده توسط ارقام لوبیا قرمز صرف تولید برگ‌ها با هدف بسته شدن هر چه زودتر کانوپی شد. اما با گذشت زمان در تیمارهای تنش ملایم و شدید خشکی به علت محتوی حجمی رطوبت خاک پایین‌تر در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب توسعه شاخص سطح برگ نیز با سرعت کمتری اتفاق افتاد. گیاهان تحت شرایط تنش خشکی شاخص سطح برگ خود را از طریق لوله‌کردن برگ‌ها، پیری و ریزش زودهنگام آن‌ها کاهش می‌دهند (Seetseng, 2008). کاهش شاخص سطح برگ می‌تواند منجر به کاهش تعلق و در نتیجه جذب کمتر رطوبت خاک گردد که باعث مقاوت گیاه به تنش خشکی می‌شود. پاکتر و همکاران (Pagter et al., 2005) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی، شاخص سطح برگ از طریق کاهش اندازه و تعداد برگ‌های جدید و همچنین ریزش برگ‌های مسن‌تر کاهش یافت. آثار سوء ناشی از تنش خشکی بر رشد و نمو و عملکرد لوبیا، بستگی به زمان وقوع تنش، شدت تنش، مرحله نمو و ژنوتیپ گیاه دارد (Cortes et al., 2012). محققین دیگر نیز کاهش شاخص سطح برگ را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند (Nohong & Nompo, 2015; Mahpara et al., 2014).

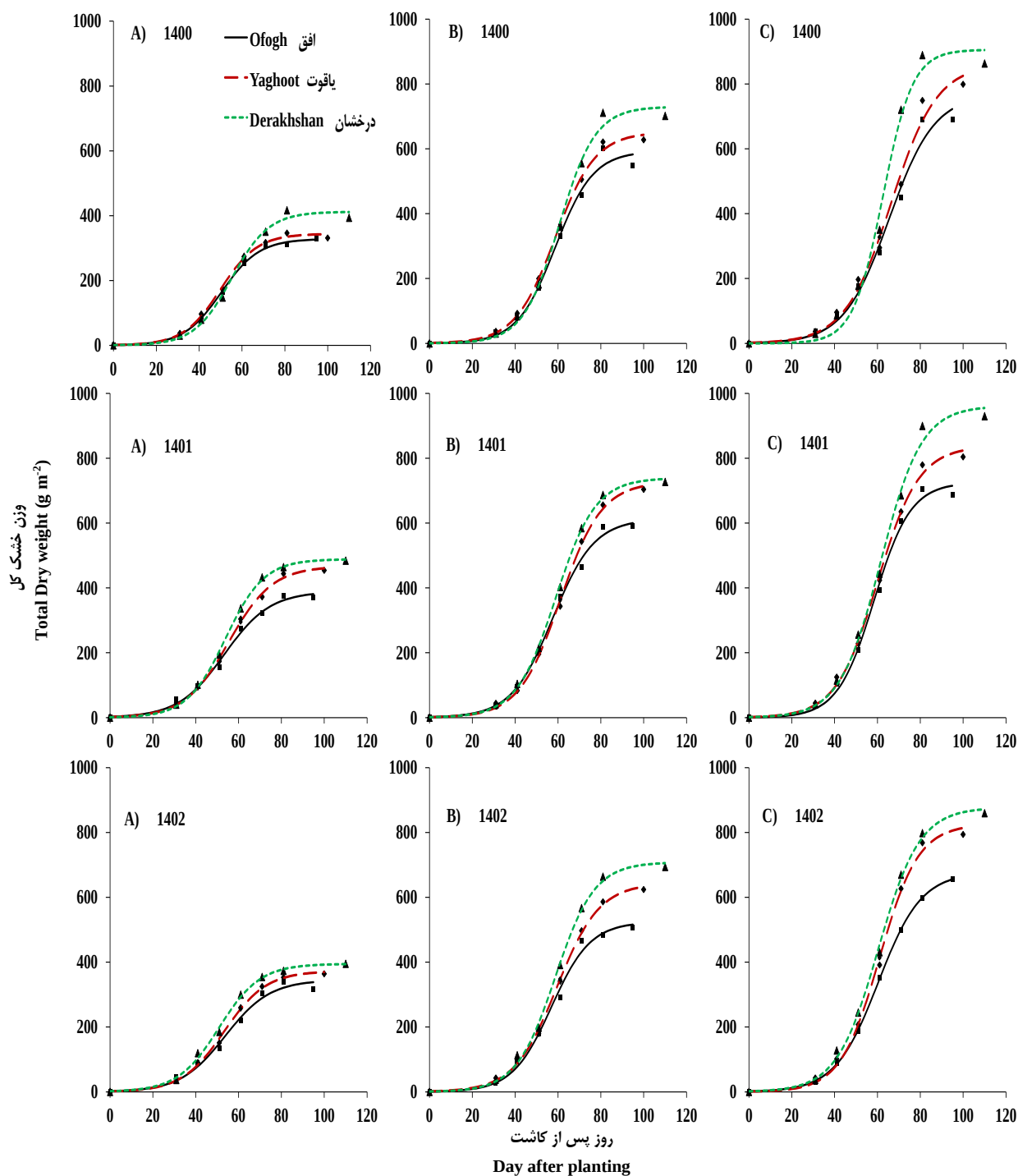
جذب نور

روند جذب نور از روند تغییرات شاخص سطح برگ تبعیت کرد، به طوری که در مراحل اولیه رشد به دلیل پایین بودن شاخص سطح برگ و عدم پوشش کامل سطح زمین، جذب نور نیز کم بود (شکل ۴). متناسب با افزایش شاخص سطح برگ، نور جذب شده به تدریج در تمام تیمارهای مورد بررسی افزایش یافت و در زمان گلدهی به حداکثر میزان خود رسید و سپس به علت ریزش برگ‌ها و به هم خوردن ساختار کانوپی تا پایان دوره رشد روند نزولی در پی گرفت. نتایج نشان داد که روند جذب نور در بین تیمارهای مورد ارزیابی تفاوت چندانی نداشت، با این حال با افزایش شدت تنش خشکی میزان نور جذب شده توسط کانوپی لوبیا قرمز کاهش یافت. میانگین سه ساله این بررسی برای میزان نور جذب شده تجمعی رقم درخشان در تیمار آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به ترتیب، ۱۴۱۰/۹، ۱۳۰۹/۶ و ۱۲۱۴/۷ مگاژول در متر



شکل ۴- تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر میزان جذب تشدشع خورشیدی ارقام لوبیا قرمز، A: آبیاری ۶۰ درصد، B: آبیاری ۸۰ درصد، C: آبیاری ۱۰۰ درصد

Figure 4- The effect of different irrigation treatments on the solar radiation absorption of red bean cultivars. A: Irrigation 60%, B: Irrigation 80%, C: Irrigation 100%



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن خشک کل ارقام لوبیا قرمز، A: آبیاری ۶۰ درصد، B: آبیاری ۸۰ درصد، C: آبیاری ۱۰۰ درصد
Figure 5- The effect of different irrigation treatments on the total dry weight of red bean cultivars of, A: Irrigation 60%, B: Irrigation 80%, C: Irrigation 100%

وزن خشک کل ارقام مورد بررسی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بود. در طول دوره رشد ارقام لوبیا قرمز وزن خشک کل در تیمار آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد نیاز آبی) نسبت به دیگر تیمارهای آبیاری بطور معنی‌داری بالاتر بود و در شرایط تنش کمبود آب شدید (۶۰ درصد نیاز آبی)، وزن خشک کل به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. زمانی که آب عامل محدودکننده است، گیاهان به علت پایین بودن شاخص سطح برگ، نور کم‌تری نیز جذب کرده و در نتیجه تولید ماده خشک نیز کاهش می‌یابد. از طرفی تنش کمبود آب باعث تغییر ساختمان کانوپی گیاه، الگوی انتشار نور درون کانوپی و در نهایت کارایی مصرف نور می‌شود. تنش خشکی، تولید ماده خشک گیاهان را به علت کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی ناشی از کاهش سطح برگ، پژمردگی، جمع‌شدن پهنک و در نهایت پیری زودرس برگ‌ها و همچنین کاهش کارایی تبدیل نور جذب شده به ماده خشک تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Earl & Davis, 2003). در مطالعه‌ای دیگر نیز مشخص شد که کاهش محتوی حجمی آب خاک منجر به کاهش اندازه و تعداد برگ‌ها و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک گردید (Li et al., 2006).

کارایی مصرف نور

صرف‌نظر از ارقام لوبیا قرمز، با افزایش شدت تنش خشکی میزان کارایی مصرف نور کاهش یافت (شکل ۶). نتایج نشان داد کارایی مصرف نور لوبیاقرمز طی فاز رویشی بیشتر از فاز زایشی در هر سه سال آزمایش بود. حداکثر کارایی مصرف نور برای رقم یاقوت در تیمار آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید به‌ترتیب ۱/۳۶، ۱/۳۵ و ۱/۳۱ گرم بر مگاژول بود. برای رقم افق این مقادیر به‌ترتیب ۱/۳۱، ۱/۳۰ و ۱/۲۸ گرم بر مگاژول به‌دست آمد و برای رقم درخشان به‌ترتیب ۱/۲۲، ۱/۰۳ و ۰/۹۹ گرم بر مگاژول بود. تولید زیست‌توده در شرایط بدون تنش توسط مقدار تشعشع جذب شده تجمعی به‌وسیله سایه‌انداز گیاهی و کارایی مصرف نور مشخص می‌شود (Monteith, 1994). بالاترین کارایی مصرف نور برای رقم یاقوت به میزان ۱/۳۶ گرم بر مگاژول در شرایط آبیاری مطلوب مشاهده شد (شکل ۶ ج) و همچنین پایین‌ترین میزان کارایی مصرف نور مربوط به رقم درخشان در شرایط اعمال تنش شدید آبی به میزان ۰/۸۹ گرم بر مگاژول مشاهده شد (شکل ۶ الف). صرف‌نظر از تیمارهای آبیاری و ارقام مقادیر کارایی مصرف نور در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بود.

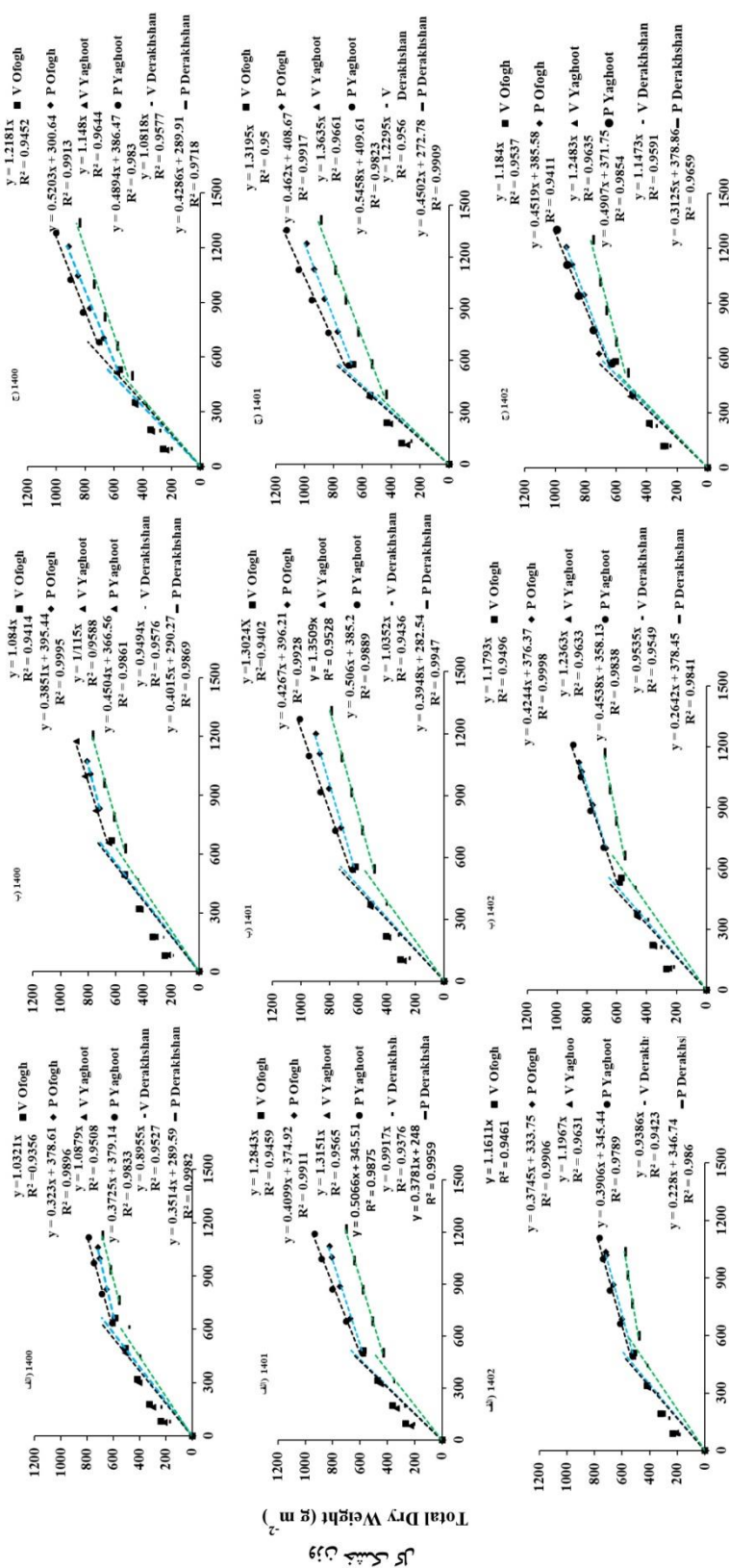
کارایی مصرف نور مفیدترین پارامتر برای تخمین تولید محصولات است و برای گونه‌های مختلف یا شرایط متداول در یک ناحیه بر تولید محصولات زراعی ثابت نیست. ارقام مختلف لوبیاقرمز کارایی مصرف نور متفاوتی داشتند، به نظر می‌رسد این تفاوت ناشی از اختلاف در تجمع ماده خشک ناشی از کارایی فتوسنتزی ارقام در سطوح مختلف تأمین نیاز آبی باشد. تحت شرایط آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد نیاز آبی)،

در رقم یاقوت بیشترین کارایی مصرف نور مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد که رقم یاقوت در استفاده از نور و تولید ماده خشک بهتر عمل می‌کند. در تحقیقی دیگر گزارش شد که در شرایط تنش خشکی، هم میزان نور جذب شده و هم ماده خشک تولیدی کاهش یافت (Emam Niknezhad, 2004). این کاهش باعث می‌شود که آب کمتری در دسترس گیاه قرار گیرد و به سبب آن رشد سلول‌ها و در نتیجه، سطح برگ گیاه هم نیز کم‌تر شود. همچنین هرچه نسبت ماده خشک تولیدی به نور جذب شده کم‌تر باشد، کارایی مصرف نور کم‌تر می‌شود. کاهش کارایی نور در شرایط تنش شدید آبی (۶۰ درصد نیاز آبی)، در همه ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی نیز گزارش شده است (Karimzadeh et al., 2018).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و رقم و برهمکنش آنها بر عملکرد دانه لوبیاقرمز معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه ارقام مورد بررسی بطور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به رقم افق در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن مربوط به رقم درخشان در شرایط تنش شدید خشکی مشاهده بود (جدول ۴). عملکرد دانه ارقام مورد بررسی در سال ۱۴۰۱ بیشتر از سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ بود. نتایج نشان داد رقم افق عملکرد دانه بالاتری نسبت به ارقام دیگر داشت که احتمالاً به دلیل جذب میزان بیشتری از محتوی رطوبت حجمی خاک و در نتیجه تولید ترکیبات فتوسنتزی بالاتری باشد. به نظر می‌رسد تنش خشکی، سبب کاهش محتوی رطوبت حجمی خاک شده که این عوامل باعث آسیب‌رسانی به بافت‌های گیاه، کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید ماده خشک و همچنین عملکرد دانه گردید.

عملکرد دانه ارقام افق، یاقوت و درخشان در تیمار آبیاری ۶۰ درصد در مقایسه با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد به‌ترتیب ۵۵، ۵۳ و ۵۶ درصد کاهش یافت. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد میزان کاهش عملکرد دانه در بین ارقام مورد بررسی تقریباً مشابه یکدیگر بود که این موضوع در نتیجه برش‌دهی ارقام در هر سطح آبیاری نیز تأیید گردید (جدول ۳). در مطالعه‌ای دیگر اعمال تنش خشکی در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب در رقم کوشا منجر به کاهش ۶۰/۴ درصدی و در ژنوتیپ COS16 منجر به کاهش ۵۶/۹ درصدی عملکرد دانه لوبیا قرمز شد (Mohammadi et al., 2018). تنش کمبود رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی است که تحت‌تأثیر اثرات متقابل میان ژنوتیپ (خصوصیات ارقام)، محیط (شرایط اقلیم و خاک) و مدیریت مزرعه است (Arvin et al., 2018).



شکل ۶- تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری بر کارایی مصرف نور ارقام مختلف لوبیا قرمز: الف: آبیاری ۶۰٪، ب: آبیاری ۸۰٪، ج: آبیاری ۱۰۰٪، و: رویشی، پ: زایشی
Figure 6- The effect of different irrigation treatments on the efficiency of radiation consumption of different Cultivars of red bean
A: Irrigation 60%, B: Irrigation 80%, C: Irrigation 100%, V: Vegetative, P: Productive

جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد دانه لوبیا قرمز تحت تأثیر آبیاری و ارقام مختلف طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۴۰۲
 Table 3- Variance analysis of red bean grain yield under the influence of irrigation and different cultivars during 1400—1402

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares
سال Year (Y)	2	30881**
خطا Error (Y)	6	1740
آبیاری Irrigation (I)	2	95313*
آبیاری × سال Y × I	4	2074 ^{ns}
خطای آبیاری Error I (Y)	12	1466
ارقام Cultivars (C)	2	144637**
رقم × آبیاری I × C	4	5428**
تکرار × سال Y × B	4	3280**
رقم × آبیاری × سال Y × I × C	8	1531 ^{ns}
خطای کل Total Error	36	841
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		8.84
برش‌دهی برهمکنش ارقام در هر سطح آبیاری Interaction slicing of cultivars in every level of irrigation		
آبیاری Irrigation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares
60%	2	1234**
80%	2	1341**
100%	2	1167**

^{ns}، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف غیرمعنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

^{ns}, * and ** show non-significant difference, significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively.

مصرف نور ارقام لوبیا قرمز بود. صرف‌نظر از سال در شرایط آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید، میانگین شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی به ترتیب ۴/۹۶، ۴/۸۱ و ۴/۲۵ بود. تنش شدید آب، توانایی بوته‌ها را برای حفظ سطح برگ در طول دوره رشد کاهش داد. صرف‌نظر از سال و ارقام مورد بررسی نور جذب شده تجمعی در تیمار آبیاری مطلوب، تنش ملایم و تنش شدید، به تدریج کاهش یافت، اما این کاهش شدید نبود. با توجه به این نکته که نور جذب شده وابسته به میزان شاخص سطح برگ گیاه است و پس از بسته شدن تاج پوشش گیاه، عملاً افزایش شاخص سطح برگ تأثیری بر میزان جذب نور گیاه ندارد، بنابراین این نتیجه دور از ذهن نبود. بالاترین وزن خشک کل و کارایی مصرف نور به ترتیب متعلق به رقم درخشان و رقم یاقوت بود. تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد لوبیا منجر به کاهش جذب نور، کارایی مصرف نور و تولید ماده خشک شد. تولید ماده خشک

بر اساس مطالعات به عمل آمده، عامل تنش کمبود آب به تنهایی سبب کاهش ۵۰ درصد از عملکرد دانه محصولات زراعی باتوجه به تفاوت در زمان، شدت تنش و ارقام در جهان است (Heidari & Karami, 2014). مهم‌ترین شاخص انتخاب ارقام تحت شرایط تنش کمبود آب، افزایش عملکرد دانه است. باتوجه به اینکه تولید دانه تحت تأثیر عوامل محیطی و ژنتیکی زیادی قرار دارد، بنابراین انتخاب ارقام تحت شرایط تنش دشوار است (Debaeke & Abdellah, 2004). کاهش عملکرد دانه در اثر محدودیت آب توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Teran & Singh, 2002).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر مثبت آبیاری بر کارایی جذب و

و عملکرد دانه لوبیا قرمز رابطه نزدیکی با قابلیت دسترسی به رطوبت خاک داشت.

جدول ۴- اثرات برهمکنش آبیاری و رقم بر عملکرد دانه لوبیا قرمز

Table 4- Effects of interaction of irrigation and cultivar on red bean grain yield

آبیاری Irrigation	رقم Cultivar	عملکرد Yield (g/m ²)
60%	افق Ofogh	86.8 ^f
	یاقوت Yaghoot	82.9 ^{fg}
	درخشان Derakhshan	80.9 ^g
80%	افق Ofogh	164.9 ^d
	یاقوت Yaghoot	154.2 ^e
	درخشان Derakhshan	148.4 ^e
100%	افق Ofogh	192.5 ^a
	یاقوت Yaghoot	177.5 ^c
	درخشان Derakhshan	183.4 ^b

حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار است

Similar letters indicate no significant difference

شاخص‌های رشد، استفاده کارآمد از منابع محیطی مانند تابش و در نهایت افزایش تولید فراهم می‌کند. گیاه لوبیا از نظر واکنش به سطوح تنش خشکی بسته به نوع رقم متفاوت بود. براین اساس انتخاب رقم افق باتوجه به فرم بوته ایستاده و زودرسی علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، در مناطقی که به دلیل سرمای زود هنگام پائیزه امکان کاشت لوبیا وجود ندارد مناسب‌تر بوده و می‌تواند عملکرد قابل قبولی را ارائه دهد. باتوجه به حساسیت شدید گیاه لوبیا قرمز به شرایط کمبود آب ضروری است پژوهش‌های بیشتری روی ارقام مختلف لوبیا در شرایط مختلف آب و هوایی در کشور انجام شود.

سیاسگزاری

از مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاهی دانشگاه رازی به خاطر فراهم کردن امکانات و حمایت‌های علمی لازم، صمیمانه تشکر می‌شود.

اگرچه تولید وزن خشک رقم درخشان بیشتر از سایر ارقام بود، اما به نظر می‌رسد انتقال ترکیبات فتوسنتزی بیشتر به سمت دانه‌ها توسط رقم افق تحت شرایط اقلیم مورد مطالعه منجر به بالاتر بودن عملکرد دانه این رقم گردید. عملکرد دانه ارقام افق، یاقوت و درخشان در تیمار آبیاری ۶۰ درصد در مقایسه با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد به ترتیب، ۵۵، ۵۳ و ۵۶ درصد کاهش یافت که نشان می‌دهد میزان کاهش عملکرد دانه در بین ارقام مورد بررسی تقریباً مشابه یکدیگر است. در بین ارقام مورد بررسی کمترین طول دوره نموی متعلق به رقم افق و بیشترین آن متعلق به رقم درخشان بود. با این حال رقم افق علی‌رغم طول دوره نموی کوتاه‌تر دارای عملکرد دانه بالاتری بود، که این موضوع به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب آبیاری مواجه هستند یا در مناطقی که طول دوره رشد در آنجا کوتاه‌تر است، می‌تواند تأثیر مطلوبی بر بهبود میزان تولید داشته باشد. از یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که با انتخاب رژیم آبیاری مناسب در مزارع لوبیا می‌توان به ساختار مناسب کانوپی دست‌یافت که وضعیت مطلوبی را برای بهبود

References

- Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G., & Shirkhani, A. (2018). Evaluation of Nitrogen uptake and productivity of maize cultivars (*Zea mays* L.) under Kermanshah climate conditions. *Journal of*

1. *Agroecology*, 10(1), 234-247. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v10i1.56935>
2. Alamdari, E. (2018). The effect of deficit irrigation on yield and physiological traits of bean cultivars. *Plant Production Technology*, 18(1), 47-61. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9633.1537>
3. Alizadeh, A. (2013). *The principles of applied hydrology*. Imam-Reza University.
4. Alizadeh, A., & Kamali, Gh. (2007a). *Water requirements of plants*. Astan Ouds Razavi Press. First edition. pp 228.
5. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. pp 56.
6. Androcioli, L.G., Zeffa, D.M., Alves, D.S., Tomaz, J.P., & Moda-Cirino, V. (2020). Effect of water deficit on morpho-agronomic and physiological traits of common bean genotypes with contrasting drought tolerance. *Water*, 12, 1-13. <https://doi.org/10.3390/w12010217>
7. Arvin, P., Vafa bakhsh, J., & Mazaheri, D. (2018). Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). *Journal of Agroecology*, 9(4), 1208-1226. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.61808>
8. Bai, Z., Mao, S., Han, Y., Feng, L., Wang, G., & Yang, B. (2016). Study on light interception and biomass production of different cotton cultivars. *Plos One*. 11(5), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156335>
9. Bayat, N., Ghanbari, A.A., & Bayramzade, V. (2020). Nanopriming a method for improving crop plants performance: a case study of red beans. *Jornal of Plant Nutrition*. 1(44), 141-151. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1806304>
10. Beheshti, A., Koochaki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2002). The effect of planting pattern on light interception and radiation use efficiency in canopy of three maize cultivars. *Seed and Plant*, 18(4), 417-431. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/spij.2017.110754>
11. Chieb, M., & Gachomo, E.W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. *BMC Plant Biology*, 23(1), 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
12. Cortes, A.J., Thiis, D., Chavarro, C., Madrinan, S., & Blair, M.W. (2012). Nucleotide diversity patterns at the drought-related DREB2 encoding genes in wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 125, 1069-1085. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1896-5>
13. Debaeke, P., & Abdellah, A. (2004). Adaptation of crop management to water limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.006>
14. Earl, H.J., & Davis, R.F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, 688-696. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880>
15. Emam, Y., & Niknezhad, M. (2004). *An introduction to crop physiology*. Shiraz University Press.
16. FAOSTAT. (2025). The Food and Agricultural Organization of the United Nations: The statistical database. <https://doi.org/10.32614/cran.package.faostat>
17. Ghanbari, A.A. (2022). Grain yield efficiency index, a criterion for selecting the best bean genotypes in drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 4, 63-71. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.302878.654721>
18. Ghanepour, S., Shakiba, M.R., Turchi, M., Ostan, Sh., & Ghanbari, A.A. (2012). Interaction of soil Zn and moisture supply on root growth, relative water content, and stomatal conductance of two common bean cultivars. 12th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding.
19. Goudriaan, J., & Van Laar, H.H. (1993). *Modelling potential crop growth processes*. Kluwer Academic Press.
20. Hajishabani, H., Mondani, F., & Bagheri, A. (2020). Simulation effects of sowing date on growth and yield of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA model. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18, 197-212. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i2.82684>
21. Heidari, M., & Karami, V. (2014). Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultura Sciences*, 13(1), 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.12.002>
22. Hillel, D. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*. Academic Press.
23. Hu, W.H., Yan, X.H., Xiao, Y.A., Zeng, J.J., Qi, H.J., & Ogwen, J.O. (2013). 24-Epibrossinosteriod alleviate drought-induced inhibition of photosynthesis in *Capsicum annum*. *Scientia Horticulturae*, 150, 232-237. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.012>
24. Kaboli, S., Hekmatzadeh, A.A., Darabi, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 507-520. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03553-9>
25. Karimzadeh, H.A., Nezami, A., Kafi, M., & Taddayon, M.R. (2017). Effect of deficit irrigation on yield and yield components of pinto bean genotypes in Shahrekord. *Iranian Journal of Pulses Research*, 8(1), 113-126. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.49118>
26. Kermanshah Meteorological Organization. (2025). www.kermanshahmet.ir

27. Li, F.W., & Mathews, S. (2016). Evolutionary aspects of plant photoreceptors. *Journal Plant Research*, 129, 115-122. <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0785-4>
28. Khadivar, J., Avarseji, Z., Alamdari, E.G., & Naeemi, M. (2025). Effect of planting dates and different weed management on yield and morphological traits of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*). *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 9, 138-150. <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-457-fa.html>
29. Li, R., Baum, M., Grando, M., & Ceccarelli, S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China*, 5(10), 751-757. [https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(06\)60120-x](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(06)60120-x)
30. Mahpara, S., Hussain, T., & Farooq, J. (2014). Drought tolerance studies in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova*, 4(160), 133-140. <https://doi.org/10.1515/cerce-2015-0011>
31. Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. 2021. <http://manrrc.ir>
32. Mondani, F., Khani, K., Jalali Honarmand, S., & Saeidi, M. (2019). Evaluating effects of plant growth promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agricultural Water Management*, 213, 707-713. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.004>
33. Monteith, J.L. (1994). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, 747-766. <https://doi.org/10.2307/2401901>
34. Mousavi, A., Ardalan, A., Takian, A., Ostadtaghizadeh, A., Naddafi, K., & Massah Bavani, A. (2020). Climate change and health in Iran: a narrative review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18, 367-378. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3>
35. Mohammadi, M., Tavakoli, A., Pouryousef, M., & Mohseni Fard, E. (2018). The effect of epibrassinolide on growth and seed yield of bean under optimal irrigation and drought stress conditions. *Crops Improvement*, 20, 595-608. <https://doi.org/10.1071/cp18424>
36. Nohong, B., & Nompo, S. (2015). Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 9(5), 14-21.
37. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran (MJA). 2024. Agricultural Jihad Organization of Kermanshah Province. <https://agrodl.ir/statistics/>
38. Pagter, M., Bragato, C., & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of fragmites australis to water deficit. *Aquatic Botany*, 81, 285-299. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.01.002>
39. Rashidi, Z., Bannayan Aval, M., Azizi, Kh., & Nasiri Mahallati, M. (2022). Effect of drought stress on yield and yield components and radiation use efficiency of three types of red, white and pinto beans. *Journal of Plant Production Research*, 29(3), 143-164. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1007/s42106-026-00423-0>
40. Seetseng, K.A. (2008). Effect of water application and plant density on canola (*Brassica napus* L.) in the free state. M.S. thesis, University of the Free State Bloemfontein. <https://doi.org/10.17159/wsa/2023.v49.i2.3965>
41. Shibles, R.M., & Weber, C.R. (1995). Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. *Crop Science*, 5, 575-577. <https://doi.org/10.2135/cropsci1965.0011183X000500060027x>
42. Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L., & Guo, J. (2023). Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, 15(2887), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su15042887>
43. Tahmasebi, Z., & Mohammadi-Dehbalae, H. (2019). Evaluation of black bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 197-207. (In Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1223.1249>
44. Teran, H., & Singh, S.P. (2002). Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Science*, 42(1), 64-70. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.6400>
45. Tohidi, M., Nadery, A., Siadat, S., & Lak, S. (2012). Variables productivity of light interception in grain maize hybrids at various amount of nitrogen. *World Applied Science Journal*, 16(1), 86-93.
46. Toscano, S., Ferrante, A., & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010006>
47. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2001). Comparisons of radiation use efficiency of mono/intercropping system with different row orientation. *Field Crops Research*, 71, 17-29. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00142-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00142-3)
48. Uebersax, M.A., Cichy, K.A., Gomez, F.E., Porch, T.G., Heitholt, J., Osorno, J.M., Kamfwa, K., Snapp, S. S., & Bales, S. (2022). Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security—A review. *Legume Science*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.1002/leg3.155>