پژوهش‌های حبوبات ایران

ISSN (print): 2980-793X
ISSN (online): 2783-5367

نشریه علمی - دوفصلنامه

پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

سال (دوره) ۱۵، شماره ۲، نیمه دوم ۱۴۰۳ - شماره پیاپی: ۳۰

با همکاری

انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران
Iranian Society of Plant Physiology

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

واحد علوم و تحقیقات

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پژوهش‌های حبوبات ایران

نشریه علمی- دوفصلنامه

پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد

با مجوز شمارهٔ ۸۸/۶۱۲۴ مورخ ۱۳۸۸/۰۸/۲۵ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
و درجه علمی‌پژوهشی به شمارهٔ ۳/۱۱/۳۷۸۵ مورخ ۱۳۸۹/۰۳/۱۷ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
(بر اساس مصوبه وزارت عتف، از سال۱۳۹۸، تمامی نشریات دارای درجه «علمی-پژوهشی»، به نشریه «علمی» تغییر نام یافتند.)
*** این نشریه، از اول تیرماه سال۱۳۸۹، به‌طور منظم و در قالب دوفصلنامه، منتشر می‌شود. ***

سال (دوره) ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳- شمارهٔ پیاپی: ۳۰

این نشریه در قالب تفاهم‌نامهٔ همکاری میان دانشگاه فردوسی مشهد با دانشگاه‌های صنعتی اصفهان، تربیت مدرس، شهید باهنر کرمان، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آزاد اسلامی واحد شیراز و علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و با هدف گسترش همکاری‌های علمی و پژوهشی منتشر می‌شود.

برخی از پایگاه‌هایی که این نشریه در آن‌ها نمایه می‌شود:

نشانی:
مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، پژوهشکدهٔ علوم گیاهی، دفتر نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
کُد پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، تلفن: ۳۸۸۰۴۶۵۳ (۰۵۱)، نمابر: ۴۳۰-۳۸۷۸۷ (۰۵۱)
پُست الکترونیک: ijpr@um.ac.ir
تارنما: http://ijpr.um.ac.ir

مندرجات

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 129-139
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۳۹-۱۲۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

The Effect of Planting Density and Supplementary Irrigation on the Agricultural Traits of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in Dry Conditions

Mehdi Kakaei [1*]

Received: 24-07-2023
Revised: 09-01-2024
Accepted: 18-03-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Kakaei, M. (2024). The effect of planting density and supplementary irrigation on the agricultural traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in dry conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 129-139. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

Introduction
Lentil (*Lens culinaris* Medik.) from the Fabaceae family, is a self-fertilizing and diploid annual plant (2n=14), herbaceous and botanically has a short and branched stem with a bright green color. Drought stress is one of the most common climate-related challenges in nature, and few plants can fully overcome it. It is a major factor limiting plant growth. Given that over 80% of the area under lentil cultivation in Iran relies on rainfed agriculture, drought has the greatest impact on reducing yield during various stages of the plant's growth and development. Supplementary irrigation technique is effective in reducing the possible risk and increasing the reliability of crop yield under rainfed conditions. Planting density can play an important and strategic role in plant yield.

Materials and Methods
The present experiment was conducted in the crop year 2023. The soil of the study site, first, was plowed and then disked and finally leveled with a trowel. Before planting, the seeds were disinfected using Captan fungicide to prevent lightning disease. After the initial preparation of the land, planting was done at the end of March 2023. The experiment was carried out in the form of split plots based on a randomized complete block design with three replications. The main factor (main plots) included two levels (irrigation at the time of planting and no supplementary irrigation) and the sub factor (subplots) was related to planting density (100, 200 and 300 plants per m^2). All crop care was done at a certain time according to the customs of the research area. In this research, the characteristics of plant height, number of pods per plant, number of seeds per plant, number of branches per plant, dry weight of a whole plant (biomass), total weight of seeds of a plant (seed yield), 100-seed weight and the SPAD value were measured. Relevant measurements were performed with standard methods. SPSS version 26 software was used for statistical analysis of data.

Results and Discussion
The results of this study showed that there is significant genetic diversity for the studied traits. Based on the Analysis of variance results, in the case of supplementary irrigation factor, the traits of number of pods per plant, number of seeds per plant, biological yield, 100-seed weight and SPAD value at the probability level of 1% ($P\leq 0.01$) and for traits of plant height and seed yield were significant at the 5% probability level ($P\leq 0.05$). Regarding the planting density, traits of number of pods per plant, biological yield, seed yield, 100-seed weight and SPAD value were significant at 1% probability level ($P\leq 0.01$). Considering the interaction effect of these two factors (supplementary irrigation and planting density), the number of seeds per plant was significant at the 5% probability level ($P\leq 0.05$) and the 100-seed weight was significant at the probability level 1% ($P\leq 0.01$). Mojdeh cultivar with a density of 100 and 200 plants per m^2 and with additional irrigation conditions at the beginning of flowering had the best yield (3.26 and 2.93 g, respectively). Correlation analysis (Pearson method) of traits showed that there is a significant correlation between the yield and other evaluated traits ($P\leq 0.01$ and $P\leq 0.05$), which indicates the relationship between yield components and yield which can pave the way for future agricultural and plant breeding research on the same topics as current research.

1- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
* Corresponding Author: m.kakaei@pnu.ac.ir

Conclusions

According to the results of this experiment, it seems that the density of 100 or 200 plants per m^2 is suitable for lentil cultivation in conditions similar to the location of this research. The results also showed the significant diversity and difference for most traits, which can be useful and practical in future agricultural and breeding programs.

Keywords: Correlation, Density, Podding, Supplementary irrigation

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 129-139
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۳۹-۱۲۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

تأثیر تراکم کاشت و آبیاری تکمیلی بر صفات زراعی عدس (*Lens culinaris* Medik.) در شرایط دیم

مهدی کاکایی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثرات آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر گیاه عدس (*Lens culinaris* Medik.) (رقم مژده)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده با آرایش طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه پیام‌نور اسدآباد (استان همدان) اجرا گردید. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری (در مرحله نیام‌دهی و بدون آبیاری تکمیلی (دیم)) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم کاشت (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. بر اساس جدول تجزیه واریانس، تأثیر عامل آبیاری تکمیلی بر صفات تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و بر صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵)، معنی‌دار بود. تأثیر عامل تراکم کاشت بر صفات تعداد نیام در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار گردید. اثر متقابل این دو عامل (آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت) بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) و بر صفت وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار بود. رقم مژده در تراکم ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در واحد سطح و با شرایط آبیاری تکمیلی در اوایل نیام‌دهی توانست بهترین عملکرد (به ترتیب ۳/۲۶ و ۲/۹۳ گرم در واحد تک بوته) را تولید نماید. تجزیه همبستگی (پیرسون) صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد بوته و سایر صفات مورد ارزیابی، همبستگی معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده ارتباط اجزای عملکرد با صفت عملکرد می‌باشد که می‌تواند مسیر پژوهش‌های آتی به‌زراعی و به‌نژادی را در موضوعات مشابه تحقیق حاضر هموارتر نماید. با توجه به نتایج کلی این آزمایش، به نظر می‌رسد که تراکم ۱۰۰ یا ۲۰۰ بوته در مترمربع در شرایط آبیاری تکمیلی برای کشت عدس در اسفندماه (در شرایط محل اجرای این پژوهش) مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، تراکم، نیام‌دهی، همبستگی

مقدمه

از جمله حوادث اقلیمی رایج در طبیعت، تنش خشکی می‌باشد که معمولاً کمتر گیاهی به‌طور کامل، موفق به عبور از آن می باشد و به‌عنوان عاملی در جهت محدود کردن رشد گیاهان شناخته شده است (Kakaei, 2019). با توجه به این که فراتر از ۸۰ درصد سطح زیر کشت عدس (*Lens culinaris* Medik.) در ایران به‌صورت کشت دیم می‌باشد، بیشترین اثر در نقصان عملکرد این گیاه در مراحل مختلف رشدونمو این گیاه حادث می‌شود (Parsa & Bagheri, 2008). گیاه عدس از جمله حبوباتی می‌باشد که دارای عادت رشدی نامحدود و سرما دوست می‌باشد. در اکثر نقاط کشور، این گیاه در خاک‌های فقیر و به‌صورت دیم زراعت می‌شود؛ پراکندگی نامناسب بارندگی و کمبود باران، عملکرد اندکی را برای گیاه عدس ایجاد نموده است. چنانچه رطوبت برای این گیاه تأمین گردد، قادر است رشد رویشی و زایشی خود را در مدت زمان طولانی‌تری ادامه دهد (Hosseini et al., 2011). بسیاری از افراد در اکثر کشورها و از جمله کشور ایران از حبوباتی نظیر نخود و عدس، پروتئین مورد نیاز خود را تأمین می‌کنند (Kakaei, 2019). عدس نقش مهمی در امنیت غذایی داشته و یک منبع پایدار از پروتئین، روی، آهن، کربوهیدرات‌های پری‌بیوتیک و مواد مغذی متنوع برای ارتقای سلامت می‌باشد. این محصول به‌طور گسترده در مناطق حاشیه‌ای نیمه‌خشک کشت می‌شود و در معرض عوامل استرس‌زای محیطی مختلف قرار دارد (Zeroual et al., 2023). عدس در تأمین پروتئین انسان و دام، کاهش شیوع علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها (قرار گرفتن در تناوب زراعی) نقش ارزنده‌ای در سیستم‌های کشاورزی دارد

۱- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: m.kakaei@pnu.ac.ir)

(Miguele et al., 2005). به‌علت کم توقع بودن این گیاه، امکان کشت آن در سطح وسیعی از زمین‌های زراعی با خواص مختلف، هموار شده است. حبوبات علاوه‌براین که منبعی غنی از پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه ضروری هستند، می‌توانند به‌عنوان یک کارخانه کوچک نیتروژن‌ساز عمل نموده و نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش داده و تعادل محیطی را حفظ نمایند. در سیستم کشاورزی پایدار، حبوبات به‌دلیل ایفای سهم گسترده خود در تنوع محصولات، گیاه شناخته شده‌ای است. با توجه به تقاضا برای پروتئین مقرون به‌صرفه و با کیفیت بالا (Maaz et al., 2018) تولید جهانی عدس از ۳/۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۰- ۲۰۰۰ به ۵/۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۸- ۲۰۱۱ افزایش یافته است؛ در واقع، عملکرد کم و ناپایدار، یک محدودیت عمده برای تولید جهانی عدس است (Lake & Sadras, 2021). تکنیک آبیاری تکمیلی در کاستن احتمالی خطر و افزایش پایای عملکرد محصولات تحت شرایط کشت دیم تأثیرگذار می‌باشد. در حقیقت، تکنیک آبیاری تکمیلی یک مداخله گذرا می‌باشد؛ یعنی در زمانی که میزان بارندگی جهت رشد گیاه زراعی کافی است، ولی دارای پراکنش نامناسب می‌باشد، با تکنیک آبیاری تکمیلی می‌توان با حداقل یک بار آبیاری به‌ویژه در مرحله حساس رشد، از بروز تنش خشکی در مساحت قابل توجهی از اراضی تحت کشت دیم ممانعت نمود (Karimi & Jalini, 2018). پژوهشگران در مطالعه‌ای بیان کردند که آبیاری تکمیلی بهینه، در نقاط دیم‌کاری بر اساس جنبه‌های زیر قابل انجام است: ۱) جهت بهبود عملکرد گیاهانی که به‌صورت دیم کشت شده‌اند. ۲) الزام انجام آبیاری تکمیلی زمانی که بارندگی قادر به تأمین رطوبت برای افزایش راندمان عملکرد نباشد. ۳) زمان آبیاری تکمیلی به‌صورتی برنامه‌ریزی می‌شود که با کاربرد حداقل آب قابل دسترس، بتواند در مراحل حساس رشدی گیاه، عملکرد مطلوب را ایجاد کند (Karimi & Jalini, 2018). محققان بسیاری علاقه‌مند به پژوهش بر روی گیاه عدس بوده و روی این گیاه ارزشمند از جهات مختلف تحقیق نموده‌اند؛ در این راستا، محققی در مطالعه‌ای، ارقام عدس را در محیط‌های مختلف خشکی و آبیاری تکمیلی مورد پژوهش قرار داد و موفق به رتبه‌بندی ارقام در مقابله با تنش خشکی با کمک شاخص‌های مرتبط با خشکی گردید (Kakaei, 2019). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران با مطالعه تراکم کاشت ارقام عدس روی صفت عملکرد بیان کردند که رقم‌های مختلف عدس به تراکم بوته عکس‌العمل نشان داده و حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تراکم‌های ۱۶۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع حاصل گردید (Malek Maleki et al., 2011). در مطالعه روی پارامترهای مختلف گیاه عدس محققان بیان نمودند که کاشت زود هنگام گیاه عدس در سیستم خاک‌ورزی صفر، بهترین روش زراعی برای این محصول است (Mukherjee et al., 2023). در مطالعه تأثیر تراکم عدس روی عملکرد، محققان اعلام کردند که کاشت زود هنگام، تراکم بوته بالا (۱۲۰ بوته در مترمربع) و میزان مصرف بالای فسفر منجر به تولید با عملکرد مطلوب می‌شود (Turk et al., 2003). در مطالعه‌ای، پژوهشگران کشت مخلوط عدس بهاره و گندم را بررسی نمودند که نشان‌دهنده توانایی حضور این گیاه ارزشمند در کنار کشت گندم می‌باشد (Loic et al., 2018). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران بیان کردند که انجام آبیاری تکمیلی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد در گیاه عدس شده است (Ghhashghaei et al., 2022). با توجه به ضرورت توجه به پژوهش در خصوص گیاه عدس، تحقیق حاضر جهت بررسی تراکم کاشت و آبیاری تکمیلی روی عملکرد گیاه عدس طراحی و اجرا گردید؛ به‌عبارت دیگر، در این مطالعه، توصیه بهترین تراکم بذر و تأثیر آبیاری تکمیلی روی عملکرد برای کشت عدس در شرایط شهر اسدآباد (استان همدان) مورد نظر بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه پیام‌نور شهر اسدآباد (استان همدان)، با مختصات جغرافیایی بین مدار '۳۴°/۳۷ تا '۳۴°/۵۰ عرض شمالی و '۴۷°/۹ تا '۴۷°/۵۱ طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ و با ارتفاع ۱۶۰۷ از سطح دریا انجام شد. خاک محل تحقیق نخست شخم و سپس دیسک زده شد و نهایتاً توسط ماله مسطح و هموار گردید. بذر رقم مژده قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش کاپتان (دو در هزار) برای جلوگیری از بیماری برق‌زدگی ضدعفونی گردید. در خاک محل آزمایش هیچ گونه کود شیمیایی استفاده نشد، ولی از کود پوسیده دامی به‌میزان مناسب، در خاک مورد کاشت استفاده گردید. بعد از آماده‌سازی اولیه زمین، کاشت در اسفندماه ۱۴۰۱ صورت گرفت. بلافاصله بعد از کاشت، بارندگی مؤثری حادث گردید. آزمایش به‌صورت کرت خرد شده با آرایش طرح بلوک کامل تصادفی و سه تکرار انجام گردید. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری (در مرحله نیام‌دهی و بدون آبیاری تکمیلی (دیم)) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم کاشت (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان عامل فرعی با فاصله ردیف حدود ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. کلیه مراقبت‌های زراعی در وقت معین طبق عرف منطقه تحقیق صورت گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات، از هر واحد آزمایشی در هر تکرار تعداد پنج بوته (بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای) انتخاب و

میانگین آن‌ها در نظر گرفته شدند. صفات شاخص سبزینگی به‌کمک دستگاه SPAD 502 PLUS شرکت KONICA MINOLTA ژاپن در مرحله نیام‌دهی، ارتفاع بوته بر حسب سانتی‌متر (با خط‌کش)، تعداد شاخه در بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه بر حسب گرم، وزن خشک کل تک بوته (زیست‌توده) بر حسب گرم، وزن کل دانه-های تک بوته (عملکرد دانه در بوته) بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده گردید.

جدول ۱، مجموع بارش‌ها در زمان کاشت و پس از آن به‌صورت ماهانه و بر حسب میلی‌متر در شرایط محل پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت در خصوص صفت شاخص سبزینگی عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت شاخص سبزینگی، تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین میزان شاخص سبزینگی را تولید کرد و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفته‌اند و در شرایط آبیاری دیم نیز بیشترین میزان شاخص سبزینگی به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوت قرار گرفتند. در پژوهشی، محققان در مطالعه ارزیابی حساسیت فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی و میزان کلروفیل در گندم بیان نمودند که اندازه‌گیری شاخص سبزینگی با استفاده از کلروفیل‌مترهای دستی و قابل حمل باعث راحتی کار شده است (Moenirad et al., 2021) که در این پژوهش نیز از دستگاه قابل حمل برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل استفاده گردید، همچنین آن‌ها اعلام نمودند که با توجه به جدول تجزیه واریانس، شاخص سبزینگی تحت اثر تیمارهای مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که با نتایج این مطالعه همسو بود.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی بر ارتفاع بوته عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۵) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت ارتفاع بوته، در شرایط آبیاری تکمیلی در کلیه تراکم‌ها (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح) دارای ارتفاع بیشتری نسبت به شرایط بدون آبیاری تکمیلی (دیم) بودند و هر سه تراکم در این شرایط در یک گروه قرار گرفتند. به‌طور کلی، در شرایط آبیاری تکمیلی ارتفاع بوته در عدس بیشتر از شرایط دیم بود که نشان‌دهنده مفید بودن آبیاری تکمیلی در جهت افزایش رشد گیاه می‌باشد. محققان در مطالعه‌ای روی باقلا، اثر تراکم بوته و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد را ارزیابی نمودند و بیان کردند که در تمامی تاریخ‌های کاشت، افزایش تراکم کاشت باعث افزایش ارتفاع بوته شده است (Sharifi et al., 2016) که در خصوص صفت ارتفاع نیز در تحقیق حاضر منطبق و همسو می‌باشد.

تعداد شاخه (ساقه) در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر صفت تعداد شاخه در بوته عدس غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲) و به همین ترتیب، مقایسه میانگین برای این صفت نیز نتوانست گروه‌های آماری متفاوتی را ایجاد نماید (جدول ۳).

تعداد نیام در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر صفت تعداد نیام در بوته عدس معنی دار (P≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت تعداد نیام در بوته، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح و شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین تعداد نیام را تولید نمود و پس از آن، تراکم‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع بیشترین تعداد نیام را در شرایط آبیاری تکمیلی تولید کردند و در شرایط بدون آبیاری تکمیلی نیز به‌ترتیب تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح دارای بیشترین تعداد نیام در بوته بودند. این نتایج با بخشی از نتایج تحقیقات حسینی و همکاران (Hosseini et al. 2011) همسو بود. این پژوهشگران در مطالعه اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد اقتصادی عدس بیان کردند که انجام یک مرتبه آبیاری تکمیلی در مرحله رشدی گل‌دهی در افزایش تعداد نیام در بوته و عملکرد عدس بسیار مؤثر بوده است. در مطالعه‌ای روی باقلا، پژوهشگران بیان نمودند که با افزایش تراکم بوته، از تعداد غلاف در هر بوته کاسته می‌شود (Sharifi et al., 2016) که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد.

جدول ۱- مقدار بارندگی ماهانه (بر حسب میلی‌متر) در محل انجام پژوهش

Table 1- The amount of monthly rainfall (mm) in the research location

سال زراعی Year	اسفند ۱۴۰۱ 2023 February	فروردین ۱۴۰۲ 2023 March	اردیبهشت ۱۴۰۲ 2023 April	خرداد ۱۴۰۲ 2023 May	تیر ۱۴۰۲ 2023 June
1401-1402 2022-2023	43.3	55.7	61.2	28.9	0

جدول ۲- تجزیه واریانس عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس

Table 2- Analysis of variance of supplementary irrigation and planting density factors on yield and yield components of lentil

منابع تغییرات S.O.V.	میانگین مربعات Mean of squares								
	درجه آزادی d.f	شاخص سبزینگی SPAD value	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches	تعداد نیام در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.056	31.722	0.167	1.722	5.056	0.034	0.055	0.053
آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation	1	440.056**	320.889*	34.722	1233.389**	320.889**	7.347**	6.372**	2.607*
خطای a Error a	2	0.056	23.389	5.056	1.722	0.389	0.034	0.009	0.055
تراکم کاشت Density	2	155.056**	8.389	4.167	264.056**	73.556**	1.709**	1.358**	1.708**
آبیاری تکمیلی × تراکم کاشت Supplementary irrigation × density	2	3.722	15.389	1.056	1.722	6.222*	0.362**	0.001	0.118
خطای b Error b	8	3.389	5.556	7.861	5.389	1.056	0.011	0.015	0.116
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4	6	19	5	2.5	1.5	5	11.5

* و **: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد. ns: غیرمعنی‌دار.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم بوته بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد در عدس

Table 3- Comparison of the means of the interaction of supplementary irrigation and plant density factors on yield and yield components in lentil

آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation	تراکم بوته Plant density	صفات مطالعه شده Studied traits							
		شاخص سبزینگی SPAD value	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	تعداد نیام در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) Biological yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield ($g.plant^{-1}$)
بدون آبیاری تکمیلی (دیم) Without supplementary irrigation (rainfed)	100	51.66^{c}*	35^{b}	12.33^{a}	40.33^{d}	43^{c}	7^{c}	5.46^{c}	2.63^{bc}
	200	46.33^{d}	33.33^{b}	10.33^{a}	33.33^{e}	39^{d}	6.4^{d}	4.93^{d}	1.85^{d}
	300	40^{e}	35.33^{b}	10.66^{a}	27.33^{f}	34^{e}	5.466^{e}	4.5^{e}	1.6^{d}
آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation	100	60.33^{a}	40^{ab}	14.33^{a}	57.66^{a}	49.66^{a}	7.9^{a}	6.63^{a}	3.26^{a}
	200	55.66^{b}	44.66^{a}	13^{a}	48.66^{b}	47^{b}	7.5^{b}	6.13^{b}	2.93^{ab}
	300	51.66^{c}	44.33^{a}	14.33^{a}	44.33^{c}	44.66^{c}	7.3^{b}	5.7^{c}	2.166^{cd}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

تعداد دانه در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر تعداد دانه در بوته عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۱) بود. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در تراکم کاشت در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) معنی‌دار گردید (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح و شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین تعداد دانه در بوته تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفته‌اند و در شرایط دیم نیز بیشترین تعداد دانه در بوته به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در تحقیقی روی واکنش ارقام نخود دیم به زمان کاشت، پژوهشگران اعلام نمودند که صفت تعداد دانه در بوته صفت معنی‌داری بوده (Farnia & Moradi, 2015) که با نتایج پژوهش پیش‌رو منطبق می‌باشد.

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت و همچنین، اثر متقابل آن‌ها بر وزن ۱۰۰ دانه عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند. اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح، در گروه مجزایی از تراکم‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح قرار گرفت. در شرایط دیم نیز بیشترین وزن ۱۰۰ دانه به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوت قرار گرفتند.

عملکرد بیولوژیک تک بوته

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر عملکرد بیولوژیک بوته عدس در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) بیشترین میزان صفت عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری تکمیلی، به‌ترتیب مربوط به تراکم ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند و در شرایط دیم نیز بیشترین عملکرد بیولوژیک بوته به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در پژوهشی روی مطالعه عدس در شرایط دیم مشهد، محققان بیان نمودند که صفت عملکرد بیولوژیک برای مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد عدس بسیار مناسب می‌باشد و آن را صفتی اثرگذار در مطالعه عدس بیان کردند (Bannayan Aval et al., 2018) که در پژوهش حاضر نیز از مطالعه این صفت بهره‌برداری لازم صورت پذیرفته است.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) و تراکم کاشت در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت عملکرد دانه، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگرچه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند و در شرایط دیم نیز بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تراکم-های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در پژوهشی روی مطالعه اثر تراکم بذر بر عملکرد ارقام عدس، محققان بیان نمودند که رقم اصلاح شده گچساران، با شرایط تراکمی ۲۵۰ بذر در مترمربع، بیشترین عملکرد را در تراکم مذکور به خود اختصاص داد و توانست در کنترل علف‌های هرز نیز موفق عمل کند (Portahari et al., 2012).

نتایج همبستگی بین صفات

در پژوهش‌های به‌نژادی، وجود همبستگی بین صفات مورد مطالعه به‌خصوص در مورد انتخاب بر مبنای تعدادی از صفات، بسیار پر اهمیت می‌باشد (Azizizadeh et al., 2022). بر اساس جدول ۴، صفت ارتفاع بوته با صفت تعداد نیام در بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۵۳۹**) می‌باشد، با این مفهوم که هر چقدر گیاه بتواند از شرایط محیطی نظیر نور، رطوبت و غیره بیشتر استفاده کند و رشد رویشی (رشد ساقه و مجموع شاخه‌های اصلی و فرعی) را افزایش دهد، طبیعتاً شرایط برای تشکیل تعداد نیام را بیشتر مهیا کرده است و البته به‌علت رشد

نامحدود گیاه عدس، در صورت مهیا بودن شرایط محیطی، رشد رویشی ادامه‌دار خواهد بود. با افزایش صفت ارتفاع، به تناسب آن صفت تعداد دانه در بوته (۰/۵۹۶**) افزایش یافته، چرا که افزایش ارتفاع در تراکم مناسب باعث افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود. صفات تعداد شاخه در بوته و عملکرد بیولوژیک تک بوته در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) با افزایش ارتفاع یک روند صعودی را از خود نشان دادند که با افزایش ارتفاع، عملکرد بیولوژیک تک بوته نیز افزایش یافت که یک امر طبیعی و منطقی می‌باشد. با افزایش تعداد نیام در بوته، صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک تک بوته، عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت تعداد شاخه در بوته، در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) افزایش نشان داده است. افزایش صفت تعداد دانه در بوته، صفات عملکرد بیولوژیک تک بوته، عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه، شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت تعداد شاخه در بوته در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) دچار افزایش شده است. با افزایش تعداد شاخه در بوته، صفات عملکرد بیولوژیک تک بوته و وزن ۱۰۰ دانه افزایش یافت، در این راستا عزیزی‌زاده Azizizadeh (2022)، نیز در مطالعه همبستگی ژنوتیپ‌های عدس بین صفت عملکرد دانه با صفت وزن ۱۰۰ دانه رابطه مثبت و معنی‌داری را گزارش نمود. آن‌ها همچنین بیان کردند که در حبوبات و به‌ویژه عدس این همبستگی معمولاً مثبت ولی کم می‌باشد، چرا که عدس در زمره گیاهان دارای رشد نامحدود قرار دارد. با افزایش صفت عملکرد بیولوژیک تک بوته، سه صفت عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی افزایش یافتند. با افزایش میزان صفت عملکرد تک بوته، صفت عملکرد بیولوژیک دچار افزایش می‌شود که این نتیجه کاملاً طبیعی و قابل انتظار می‌باشد. هر چه صفت شاخص سبزینگی بیشتر شود، گیاه سوخت‌وساز بیشتری می‌تواند انجام دهد و ارسال آسیمیلات‌ها به دانه افزایش می‌یابد و لذا، عملکرد دانه افزایش می‌یابد و با افزایش عملکرد دانه تک بوته، صفات وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی افزایش می‌یابد. در پژوهشی حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2011) در مطالعه اثرات آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس ابراز نمودند که آبیاری تکمیلی سبب بهبود معنی‌دار تعداد نیام در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک شد و همچنین بیان کردند که در بین اجزای عملکرد عدس، تعداد نیام در بوته بیشترین همبستگی (۰/۷۶**) را با عملکرد دانه داشت و لذا، صفت مذکور مهم‌ترین جزء عملکرد دانه در عدس بوده است.

جدول ۴- ضرایب همبستگی (پیرسون) صفات مورد مطالعه در گیاه عدس تحت اثر عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم بوته

Table 4- Correlation coefficients (Pearson) of studied traits in lentil plant under the effect of supplementary irrigation factors and plant density

صفات مورد مطالعه Traits		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
ارتفاع بوته Plant height	X1	1							
تعداد نیام در بوته Number of pods per plant	X2	0.539*	1						
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	X3	0.596**	0.954**	1					
تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	X4	0.478*	0.549*	0.559*	1				
عملکرد بیولوژیک Biological yield	X5	0.578*	0.984**	0.97**	0.537*	1			
عملکرد دانه Grain yield	X6	0.421	0.825**	0.863**	0.337	0.845**	1		
وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	X7	0.598**	0.946**	0.972**	0.501*	0.954**	0.823**	1	
شاخص سبزینگی SPAD value	X8	0.460	0.978**	0.942**	0.464	0.963**	0.842**	0.96**	1

* و **: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیرمعنی‌دار.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non-significant.

نتیجه‌گیری

آبیاری تکمیلی در بیشتر نقاط کشور، برای تولید مطلوب محصولات کشاورزی پر اهمیت می‌باشد، چرا که در اغلب مناطق، بارندگی کافی نیست یا پراکنش آن مطلوب نمی‌باشد. لذا، آبیاری در مرحله حساس رشدی نظیر شروع نیام‌دهی دارای اهمیت است. تراکم کاشت می‌تواند نقشی مهم و راهبردی در عملکرد گیاه داشته باشد. تراکم مطلوب در زراعت می‌تواند رقابت‌های درون و برون گونه‌ای را در جهت استفاده بهینه از منابع مدیریت نماید. یافتن تراکم مناسب جهت کشت، گیاه را قادر خواهد ساخت که از تمامی عوامل محیطی نظیر رطوبت، نور و مواد غذایی به‌نحو کارآمدی استفاده نماید. رقم مژده مورد مطالعه در این پژوهش، در تراکم ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در واحد سطح و با شرایط آبیاری تکمیلی در اوایل نیام‌دهی توانست بهترین عملکرد (۳/۲۶ گرم در واحد تک بوته) را تولید نماید. تجزیه همبستگی (پیرسون) صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد تک بوته و سایر صفات مورد ارزیابی همبستگی معنی‌داری وجود دارد (۰/۰۱ ≥P و ۰/۰۵ ≥P) که نشان‌دهنده ارتباط صفات اجزای عملکرد با صفت عملکرد می‌باشد که می‌تواند مسیر تحقیقات آینده به‌زراعی و به‌نژادی را در موضوعات مشابه تحقیق حاضر هموارتر کند. با توجه به نتایج کلی این آزمایش، به نظر می‌رسد که تراکم بوته به‌ترتیب اولویت ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۱۲ سانتی‌متر در شرایط آبیاری تکمیلی برای کشت عدس در اسفندماه محل پژوهش، مناسب بوده است.

سپاسگزاری

از همکاری دانشگاه پیام‌نور، جناب دکتر محسن سعیدی عضو هیأت علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی جهت همکاری در تهیه بذر مورد تحقیق و همچنین از جناب مهندس محمدحسن باقری شکیب رئیس اداره پیش‌بینی مرکز تحقیقات هواشناسی استان همدان بابت در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی محل پژوهش قدردانی می‌کنم.

References

Azizizadeh, Z., Tahmasebi, Z., & Mirzaei, A. (2022). Genetic diversity of yield and yield components in few lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Pulses Research, 13*(1), 73-86. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i1.2103-1003

Bannayan Aval, M., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Bardehji, S. (2018). Effect of different nitrogen levels on phenology, growth indices and yield of two lentil cultivars under rainfed conditions in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research, 15*(4), 939-956. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.59769

Farnia, A., & Moradi, S. (2015). Study of the rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars response to planting dates in Kermanshah conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 2*(1), 47-64. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v11i2.76502

Ghhashghaei, M., Tadayon, M. R., Bahador, M., & karimzadeh, H. (2022). Effect of supplementary irrigation and application of zeolite on the growth and yield of lentils (*Lens culinaris* Medik) under rainfed conditions. *Journal of Crop Production and Processing, 11*(4), 17-33. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.11.4.209114

Hosseini, F. S., Nezami, A., Parsa, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2011). The effects of supplementary irrigation on the yield and yield components of lentil cultivars in the climatic conditions of Mashhad (*Lens culinaris* Medik). *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 25*, 633-625. (In Persian with English Abstract)

Kakaei, M. (2019). Evaluation of terminal drought stress tolerance in lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Crop Production and Processing, 8*(4), 59-71. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.59

Karimi, M., & Jalini, M. (2018). Application of supplementary irrigation in dryland wheat farming. *Journal of Water and Sustainable Development, 6*(1), 29-34. (In Persian with English Abstract)

Lake, L., & Sadras, V. O. (2021). Lentil yield and crop growth rate are coupled under stress but uncoupled under favorable conditions. *European Journal of Agronomy, 12*(6), 126-266.

Loic, V., Laurent, B., Etienne-Pascal, J., & Eric, J. (2018). Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agronomy for Sustainable Development, 38*, 39.

Miguele, Z., Frade, M. M., & Valenciano, J. B. (2005). Effect of sowing density on the yield and yield components of spring-sowing irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) growing in Spain. *New Zeeland Journal of Crop and Horticulture Science, 33*, 367-371.

Maaz, T., Wulfhorst, J. D., McCracken, V., Kirkegaard, J., Huggins, D. R., Roth, L., Kaur, H., & Pan, W. (2018). Economic, policy, and social trends and challenges of introducing oilseed and pulse crops into dryland wheat cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 25*(3), 177-194.

Malek Maleki, F., Majnoon Hosseini, N., & Alizadeh, H. (2011). Effect of plant density on seed yield and yield components of two lentil cultivars (*Lens culinaris* Medik). *Iranian Journal of Field Crop Science, 42*(1), 33-40. (In Persian with English Abstract)

Mukherjee, B., Kumar Naskar, M., Nath, R., Atta, K., Visha Kumari, V., Banerjee, P., Alamri, S., Patra, K., Laing, A. M., Skalicky, M., & Hossain, A. (2023). Growth, nodulation, yield, nitrogen uptake, and economics of lentil as influenced by sowing time, tillage, and management practices. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1151111.

Moenirad, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Soltani, A., & Eganepour, F. (2021). Investigation of fluorescence chlorophyll sensitivity, chlorophyll index, rate of chlorophyll (a, b), nitrogen concentration and nitrogen nutrition index under nitrogen and phosphorus nutrition in wheat. *Crop Production, 14*(1), 1-18. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.12259.1947

Parsa, M., & Bagheri, A. R. (2008). Legumes. Publications University of Mashhad, Iran. p. 522. (In Persian with English Abstract)

Portahari, S. N., Rahimi, M. M., Vaezi, B., & Ahmadikhah, A. (2012). The effect of seed density and weed control on the yield and yield components of two rainfed lentil cultivars in subtropical conditions. *Electronic Journal of Crop Production, 5*(4), 135-149. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1391.5.4.8.3

Sharifi, P., Niknami, F., Sadeghi., S. M. (2016). Effect of plant density and planting date on yield and yield components of faba bean. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 12*(1), 83-95. (In Persian with English Abstract)

Turk, M. A., Tawaha, A. M., & El-Shatnawi, M. K. J. (2003). Response of lentil (*Lens culinaris* Medik) to plant density, sowing date, phosphorus fertilization and ethephon application in the absence of moisture stress. *Journal of Agronomy and Crop Science, 18*(9), 1-6.

Zeroual, A., Baidani, A., & Idrissi, O. (2023). Drought stress in lentil (*Lens culinaris*, Medik) and approaches for its management. *Horticulturae, 9*, 1.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 141-158
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۵۸-۱۴۱
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83890.1063

Grouping of Candidate Drought Tolerant Genotypes of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) based on Yield and Yield Components in Different Planting Dates in Water Deficit Conditions

Mehrdad Saeedian[1], Morteza Goldani[2*], Mehdi Parsa[2], Saeedreza Vessal[3]

Received: 25-08-2023
Revised: 03-02-2024
Accepted: 03-03-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Saeedian, M., Goldani, M., Parsa, M., & Vessal, S.R. (2024). Grouping of candidate drought tolerant genotypes of chickpea (*Cicer arietinum. L*) based on yield and yield components in different planting dates in water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 141-158. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83890.1063

Introduction
Given the expected population growth in the coming years and the necessity to provide food for people, legumes, especially chickpeas (*Cicer arietinum. L*), hold significant importance in terms of economics, nutrition, soil improvement, and crop rotation. Legumes are considered one of the most important sources of protein in most developing countries. Researchers believe that early cultivation of chickpeas leads to better performance due to the longer vegetative growth period and concurrent reproductive phase with appropriate rainfall and desirable moisture. On the other hand, studies show that spring planting of chickpeas leads to a reduction in all growth factors due to the simultaneous sensitive growth stages with water deficit and drought stress. This study was conducted to grouping of candidate chickpea genotypes in response to water deficit based on their yield performance and components at different planting dates.

Materials and Methods
This study was conducted at the research farm station of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, in the year 2018-19. In this research, six genotypes and two cultivars were evaluated in a randomized complete block design with four replications as a split-plot design. Seeds were obtained from the seed bank collection of Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. Planting was done in two dates in 5 March and 13 April with a density of 40 plants per square meter. Also, irrigations were done only at two stages; the first stage was irrigated with the purpose of achieving the emergence and the second irrigation at the time of 50% flowering with 20 mm in both stages. To measure traits such as emergence time, flowering time (50% of plants in flowering stage) and biomass, plant height, number of pods per plant, percentage of fertile pods, and 100-seed weight at the end of the growth stage and harvest time, five plants were randomly selected from each plot, and the desired traits were examined and recorded. At the time of full maturity and drying of the plants, after removing half a square meter margin from each plot, biological and seed yield were measured, and for calculating biological yield, the dry weight of seeds was added to the dry weight of plant residues.

Results and Discussion
The results indicated a significant superiority in all traits for the first planting date (5 March) compared to the second planting date (13 April). Significant differences were observed among the different genotypes in terms of emergence percentage, days to maturity, plant height, days to flowering, biological yield, podding, and seed yield. Genotype MCC352 had the highest number of pods per plant (34 pods), and genotype MCC427 had the highest number of days to flowering. Genotype MCC537 was superior in plant height and biological yield, but genotype MCC696 was superior in days to maturity and seed yield, indicating that these two genotypes had better responses to environmental conditions. Based on cluster analysis of chickpea genotypes in the first planting date, eight genotypes were classified into four clusters. Cluster 1 included genotypes MCC352, MCC537, MCC552, MCC80, and Jam cultivar. Cluster 2 included

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
3- Assistant Professor, Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
* Corresponding Author: goldani@um.ac.ir

Samin cultivar. Cluster 3 included genotype MCC427, and cluster 4 included genotype 696MCC. Cluster 1 had the highest coefficients in terms of emergence percentage and days to maturity, and cluster 2 had the highest coefficients of days to maturity and days to flowering. Similarly, in the second planting date, eight chickpea genotypes were classified into three clusters. Cluster 1 included genotypes MCC696, MCC537, MCC552, MCC80, and Jam cultivar. Cluster 2 included genotypes MCC352 and MCC427. Cluster 3 included Samin cultivar. Cluster 1 had the highest coefficients in terms of emergence percentage and days to maturity, and cluster 2 had the highest coefficients of days to maturity and emergence percentage. Furthermore, the Principal Component Analysis of the studied genotype traits showed that in the first planting date (5 March), PC1 (43.4%) and PC2 (25.7%) accounted for a total of 69.1% of the variance, while in the second planting date, PC1 (36.8%) and PC2 (27%) accounted for a total of 63.3% of the variance. Overall, the studied genotypes had better performance and yield components in the first planting date.

Conclusions

In general, it can be concluded that delayed planting and exposure to drought stress during the critical growth stages of the plant at the end of the season resulted in a decrease in chickpea yield and its components. It was observed that planting chickpea on time to avoid late drought stress at flowering and podding stages would lead to a better yield and its components.

Keywords: Cultivation time, Drought stress, Growth stages, Principal Component Analysis

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 141-158
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۵۸-۱۴۱
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83890.1063

گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کاندیدای متحمل به خشکی نخود کابلی (*Cicer arietinum* L.) براساس عملکرد و اجزای عملکرد در تاریخ‌های مختلف کاشت در شرایط کم آبیاری

مهرداد سعیدیان[۱]، مرتضی گلدانی[۲*]، مهدی پارسا[۲]، سعیدرضا وصال[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کاندیدای متحمل به خشکی نخود (*Cicer arietinum* L.) در تاریخ‌های مختلف کاشت، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل تاریخ‌های کاشت (۱۴ اسفند و ۲۴ فروردین) به‌عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌های نخود (MCC696، MCC552، MCC537، MCC427، MCC352 و MCC80) و دو رقم جم و ثمین به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت اول نسبت به تاریخ کاشت دوم در تمامی صفات دارای برتری بودند. بیشترین تعداد روز تا رسیدگی (۱۰۳ روز) و بالاترین عملکرد دانه (۱/۰۶ کیلوگرم در مترمربع) در ژنوتیپ MCC۶۹۶ و همچنین بالاترین ارتفاع بوته(۳۴ سانتی‌متر) و عملکرد بیولوژیک (۲/۶۴ کیلوگرم در مترمربع) در ژنوتیپ MCC۵۳۷ به‌دست آمد. ژنوتیپ MCC۳۵۲ دارای بیشترین میزان تعداد غلاف در بوته (۳۴ غلاف) بود. ژنوتیپ‌ها براساس شباهت، در تاریخ کاشت اول به چهار خوشه و در تاریخ کاشت دوم به سه خوشه تقسیم شدند. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که در تاریخ کاشت اول PC1 و PC2 (۶۹/۱ ٪) و در تاریخ کاشت دوم (۶۳/۳ ٪) کل واریانس داده‌ها را به خود اختصاص دادند. به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که بهترین تاریخ کاشت برای کشت نخود بهاره در شرایط کم آبیاری مشهد، نیمه اسفندماه و بهترین ژنوتیپ‌ها جهت کشت، MCC۵۳۷ و MCC۶۹۶ بودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تنش خشکی، زمان کشت، مراحل رشد

مقدمه

نخود با نام علمی (*Cicer arietinum* L.)، سومین محصول زراعی مهم خانواده حبوبات و یکی از محصولات غذایی اصلی است که بعد از لوبیا و نخود فرنگی بیشترین سطح زیر کشت را در بین حبوبات دارد (Fernández et al., 2013). حبوبات در اکثر کشورهای در حال توسعه ازجمله مهم‌ترین منابع پروتئینی محسوب می‌شوند و در بین حبوبات، نخود با داشتن میزان پروتئین خام بین ۱۷تا ۲۳ درصد که دو تا سه برابر پروتئین موجود درغلات می‌باشد، می‌تواند بخشی از پروتئین مورد نیاز کشور را تأمین کند (Zaferanieh et al., 2009). نخود در شرایط گسترده و متنوع محیطی و در حدود ۵۹ کشور مختلف اعم ار خشک و نیمه خشک و معتدل از نظر دمایی کشت می‌شود (Muehlbauer & Tulle, 1997). سطح زیرکشت جهانی نخود ۱۳/۹۸ میلیون هکتار و تولید کل آن ۱۳/۷۳ میلیون تن می‌باشد. تقریباً ۹۰ درصد ازکشت گیاه نخود در سطح جهان به‌صورت دیم انجام می‌شود و تولید آن طی ۳۰ سال گذشته از۶/۶ میلیون تن به ۱۰ میلیون تن افزایش یافته است (FAO, 2021). در ایران، نخود در بین حبوبات با مساحت معادل ۶۲/۸ درصد جایگاه نخست را به خود اختصاص داده است. باتوجه به اینکه عمدتاً کشت نخود در ایران به‌صورت دیم انجام می‌پذیرد، لذا وقوع تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی این گیاه یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد آن است (Rozan et al, 2001).

باتوجه نوسانات اقلیمی رخ داده در سال‌های اخیر، لزوم یافتن ژنوتیپ‌های منعطف در برابر تغییرات اقلیمی و تنش‌های مختلف به‌خصوص تنش خشکی جهت ثبات هر چه بیشتر عملکرد نخود اهمیت بسیار زیادی دارد (Tiwari et al., 2023).

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استادیار، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: goldani@um.ac.ir)

تاریخ کاشت‌های مختلف به‌دلیل تفاوت در میزان تشعشع خورشیدی، طول روز و دماهای مختلف، بر روی مراحل رویشی و زایشی گیاه اثرگذار است. تاریخ کاشت نامناسب به‌دلیل مواجهه با دمای نامطلوب، بر روی مراحل رویشی و زایشی گیاه اثر می‌گذارد (Amraei, 2022). کاهش طول دوره رشد گیاه یا مواجهه مراحل حساس رشدی آن با شرایط نامطلوب دمایی، می‌تواند باعث کاهش رشد شود، امّا این می‌تواند یک راهکار مناسب برای تحمل به خشکی در گیاه نخود باشد. از جمله عوامل مهم در انتخاب تاریخ کاشت می‌توان به شرایط آب و هوایی بارش باران، دما، تشعشع و طول روز اشاره کرد (Skendžić et al., 2021). یکی از مهم‌ترین تأثیرات انتخاب تاریخ کاشت مناسب، بر روی عملکرد اقتصادی گیاه است. در مناطق معتدل آب وهوایی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب به‌دلیل حداکثر بهره‌وری از منابع در طول فصل رشد کوتاه، بسیار حیاتی است (Sajid & Hu, 2022). در فصل بهار، به‌دلیل فرصت کم گیاه برای استفاده حداکثری از منابع، گیاه باید در اولین فرصت ممکن کشت شود. کاشت زود هنگام گیاه در بستر سرد، ممکن است باعث استقرار ضعیف گیاهان و افزایش صدمات حاصل از تنش سرمایی شود. تأخیر در کاشت، احتمال کوتاه شدن فصل رشد و افزایش خشکی بستر بذر را افزایش می‌دهد. این موضوع، برای گیاه نخود که معمولاً شرایط خشک یا کم‌آبی و کاهش رطوبت خاک را در اواخر فصل رشد تجربه می‌کند، موضوع بسیار مهمی است (Skendžić et al., 2021). زالی و همکاران (Zali et al., 2015) در مطالعه‌ای بیان کردند که کاشت نخود در اواخر زمستان نسبت به کشت بهاره آن برتری دارد وهر چقدر دفعات آبیاری بیشتر شود، عملکرد دانه نخود نسبت به شرایط دیم بیشتر خواهد شد. در تحقیقی که طی دو سال زراعی بر روی نخود در همدان صورت گرفت، گزارش شد که با تأخیر در کاشت، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه کاهش یافت و بیشترین تعداد غلاف بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه، در تاریخ کاشت اول (۲۰ دی) حاصل شد (Seyedi et al., 2020). در بررسی اثر تاریخ کاشت‌های مختلف نخود بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک سه رقم نخود زراعی نشان داده شد، تأخیر در تاریخ کشت موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد شاخه اصلی و فرعی، تعدادغلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و کاهش مرحله رشد رویشی گیاه می‌شود. کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی، با کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاه همراه بود و مواد فتوسنتزی کمتری به اندام‌های زایشی انتقال یافت و در نتیجه، عملکرد گیاه کاهش یافت (Iravani Panah et al., 2022).

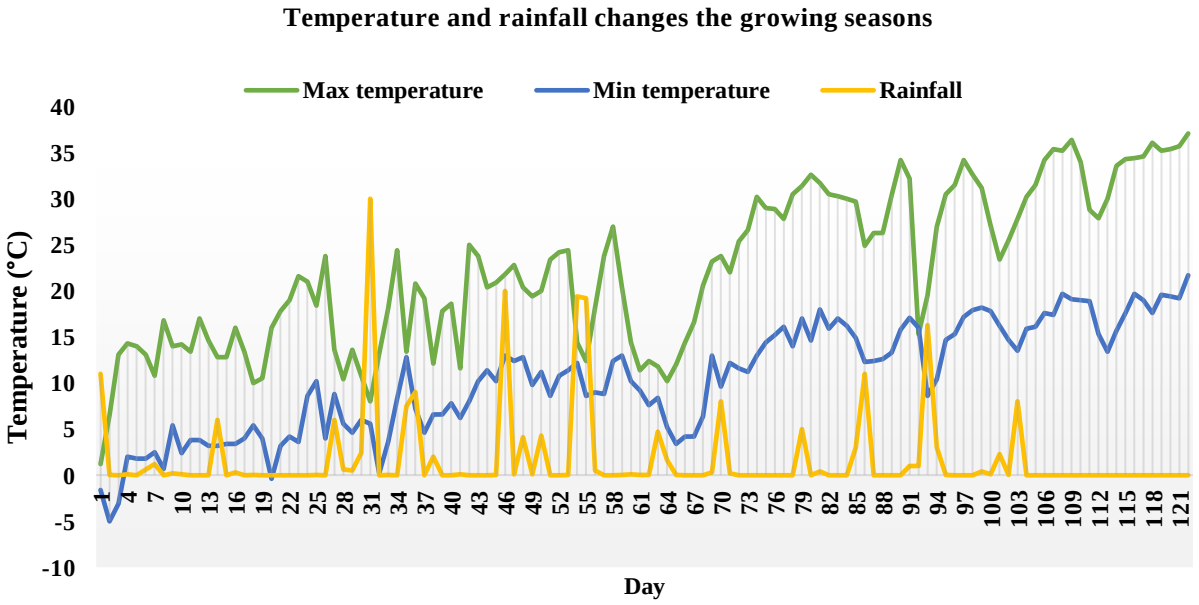
از سوی دیگر، کمبود رطوبت بر روی جوانه‌زنی بذر و استقرارگیاهچه در مزرعه، توانایی فتوسنتز گیاه و رفتارهای اسمزی سلول مؤثر است. با این حال، گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها در میزان تحمل به خشکی بسیار متفاوت هستند. بهبود و اصلاح ژنوتیپ‌ها، جایگزینی برای ثبات عملکرد در شرایط تنش خشکی به‌شمار می‌رود (Islam et al., 2021). بنابراین، اصلاح و بهبود ژنوتیپ‌های نخود با کارایی مصرف آب بالاتر و عملکرد بهتر، در مناطق مستعد تنش خشکی می‌تواند از نظر وضعیت اقتصادی کشاورزان این مناطق با اهمیت باشد. متخصصان اصلاح ژنتیک نخود در حال حاضر، شناسایی ارقام زودرس با عملکرد بالا که زودرسی در آن‌ها یک سازوکار تحمل به خشکی به‌شمار می‌رود را اولویت خود قرار داده‌اند (Tiwari et al., 2023).

هدف این تحقیق،گروه‌بندی ژنوتیپ‌های کاندیدای متحمل به خشکی نخود از نظر عملکرد و اجزای عملکرد در دو تاریخ کاشت متمایز به‌صورت کم آبیاری در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۸ -۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه ۲۸ دقیقهٔ شرقی و با ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو تاریخ کاشت ۱۴ اسفند ۱۳۹۷ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۸ به‌عنوان کرت اصلی و شش ژنوتیپ به‌عنوان کاندیدای مقاوم به خشکی (MCC696، MCC552، MCC537، MCC427، MCC352 و MCC80) و دو رقم رایج (جم و ثمین) به‌عنوان کرت فرعی بود. اطلاعات هواشناسی در شکل ۱ قید شده است.

قبل از اجرای آزمایش، به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و ویژگی-های آن در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره آزمایش در سال‌های ۹۸- ۱۳۹۷

Fig. 1- Meteorological statistics (monthly) of Mashhad synoptic station during the test period in 2017-2018

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (۳۰-۰) سانتی‌متری

Table 1- The results of chemical analysis of experimental field soil (0-30 Cm)

بافت Texture	شوری (دسی زیمنس بر متر) Salinity ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته Acidity	کربن آلی (درصد) Organic carbon (percent)	نیتروژن (درصد) Nitrogen (percent)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم) Phosphorus ($(mg.kg^{-1})$)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) Potassium ($mg.kg^{-1}$)
سیلتی لومی Silty loam	1.2	7.95	0.51	0.08	29.6	119

در این آزمایش، هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به‌طول شش متر و با فواصل خطوط ۴۵ سانتی‌متر بوده و تراکم کشت بر مبنای ۴۰ بوته در مترمربع بود. برای آماده‌سازی بستر کاشت، پس از شخم زدن زمین با دیسک و ماله تسطیح شد. روش کاشت بذور نیز به‌صورت دستی انجام گرفت. یک مرحله وجین در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۸ انجام گرفت. همچنین، دو مرحله آبیاری که آبیاری اول با هدف سبز شدن و آبیاری دوم در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی به‌میزان ۲۰ میلی‌متر انجام شد.

برای اندازه‌گیری صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل زمان سبز شدن، زمان ۵۰ درصد گل‌دهی، زیست‌توده، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، درصد غلاف بارور و وزن ۱۰۰ دانه، از هر کرت تعداد پنج بوته به‌صورت تصادفی در مرحله انتهای رشد و در زمان رسیدگی کامل انتخاب و برداشت شد و صفات مورد نظر در این نمونه‌ها بررسی و ثبت شد.

پس از رسیدگی کامل و خشک شدن بوته‌ها و نیز حذف حاشیه به اندازه نیم مترمربع از هر کرت، نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه انجام شد. برای محاسبه عملکرد بیولوژیک، وزن خشک دانه‌ها با وزن خشک بقایای گیاه جمع شد. جهت محاسبه شاخص برداشت، از معادله زیر استفاده شد که در آن GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد بیولوژیک گیاه است:

$$HI= (GY/BY) \times 100$$ معادله (۱)

برای محاسبات آماری در این مطالعه از نرم‌افزار SAS 9.2 و برای ترسیم از Excel (Ver. 2013) استفاده شد. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها از نرم‌افزار Minitab16 و برای تجزیه خوشه‌ای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار SPSS19 استفاده گردید. برای صحت گروه‌بندی انجام شده، از تجزیه واریانس چند متغیره، تجزیه تابع تشخیص استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها به‌روش آزمون دانکن انجام شد و سطح احتمال به‌کار رفته در کلیه تجزیه و تحلیل‌ها ۹۵ درصد در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

درصد سبز شدن

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت بر درصد سبز شدن از نظر آماری بسیار معنی‌دار($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲). در تاریخ کاشت دوم، در همه ژنوتیپ‌ها به‌جز ژنوتیپ MCC ۵۳۷، درصد سبز شدن کاهش یافت. در تاریخ کاشت اول، رقم ثمین (۹۵ درصد) بیشترین و ژنوتیپ MCC۴۲۷ (۷۰ درصد) کمترین درصد سبز شدن را داشتند. در تاریخ کاشت دوم، ژنوتیپ MCC۵۳۷ (۹۰ درصد) بیشترین و رقم ثمین (۳۰ درصد) کمترین میزان این صفت را دارا بودند. بیشترین میزان درصد سبز شدن در بین ژنوتیپ‌های هر دو تاریخ کاشت، مربوط به رقم ثمین (۹۵ درصد) در تاریخ کاشت اول و کمترین میزان درصد سبز شدن نیز مربوط به رقم مذکور (۳۰ درصد) در تاریخ کاشت دوم بود و تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت برای تیمارهای مختلف بیش از دو برابر بود (شکل ۲). می‌توان بیان کرد که علت درصد بالای سبز شدن ژنوتیپ‌های مختلف نخود در تاریخ کاشت اول نسبت به تاریخ کاشت دوم، میزان بارندگی‌های مؤثر رخ داده پس از تاریخ کشت اول تا زمان کاشت دوم بود. همچنین، براساس داده‌های هواشناسی، در تاریخ کاشت دوم و قبل از سبز شدن بارندگی زیادی رخ داد که باعث ایجاد غرقاب در زمین زراعی شد که به نظر می‌رسد که در روند سبز شدن گیاهان تأثیرگذار بوده است. در بررسی داده‌های هواشناسی مشخص شد که در تاریخ کاشت اول در روزهای ابتدایی دمای بالاتری (۱۶-۳ درجه سانتی‌گراد) نسبت به تاریخ کاشت دوم (۰-۱۲ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد و این در فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر جوانه‌زنی نقش مهمی داشته است. در آزمایشی، نشان داده شد که دماهای پایین (°C ۱۵>) در زمان سبز شدن موجب استقرار ضعیف گیاهچه نخود و در نتیجه، کاهش عملکرد می‌شود (Devasirvatham et al., 2015).

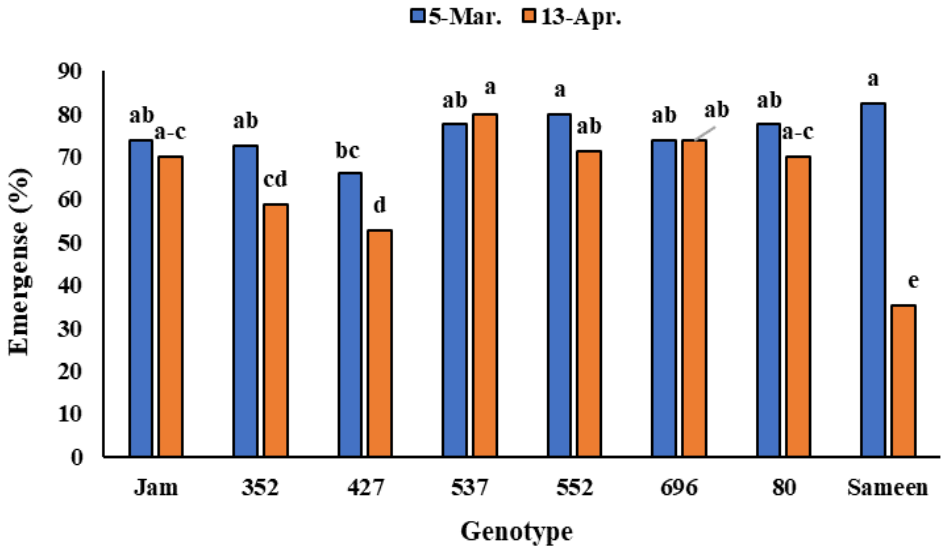
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف نخود تحت تأثیر تاریخ کاشت و ژنوتیپ

Table 2- Analysis of variance of different traits of chickpea affected by planting date and genotype

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		درصد سبز شدن Emergence%	تعداد روز تا رسیدگی Days to maturity	ارتفاع Plant height	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تعداد روز تا گل‌دهی Days to anthesis	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت HI
بلوک Block	3	566^{ns}	2.06 ^{ns}	220*	0.329 ^{ns}	11/4 ^{ns}	47.3 ^{ns}	0.014 ^{ns}	52.9*
تاریخ کاشت Planting date (A)	1	2128^{ns}	11745**	167*	30.2**	3481**	1089*	4.76**	0.476 ^{ns}
خطا Error (a)	3	323	0.890	16.1	0.774	10.3	43.4	0.121	6.02
ژنوتیپ Genotype (B)	7	446**	206**	63.7**	0.575**	161**	116**	0.085**	18.9 ^{ns}
A × B	7	483**	8.60**	11.9*	0.284**	62.8**	18.6**	0.047**	1.18 ^{ns}
خطای کل Total error	42	60.5	1.51	5.23	0.070	1.91	5.71	0.008	16.8
ضریب تغییرات C.V		11.2	1.51	9.92	17.9	2.54	11.5	15.7	10.1

ns, *, **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

ns, *, **: as non-significance, significant at the 5% probability level, and significant at the 1% probability level, respectively



شکل ۲- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر درصد سبز شدن گیاهچه نخود

Fig. 2- The interaction of planting date and genotype on the percentage of chickpea seedling emergence

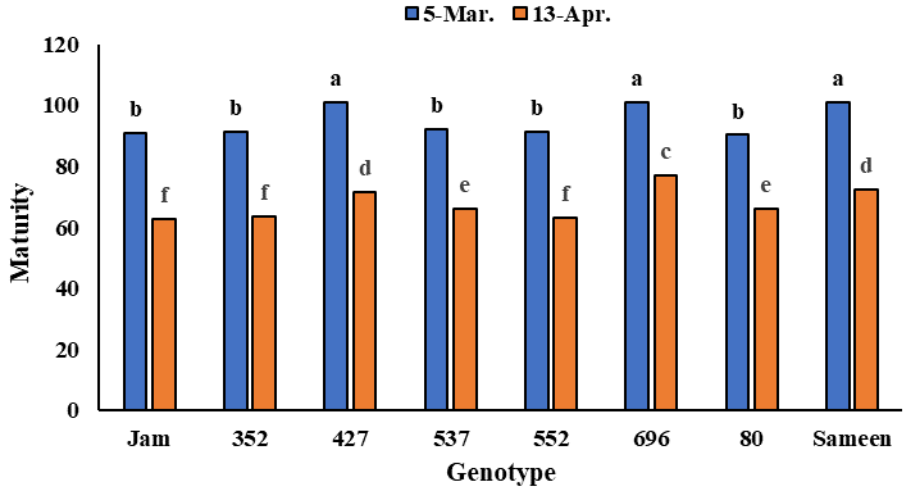
تعداد روز تا رسیدگی

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت، ژنوتیپ‌های نخود و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت تأثیر بسیار معنی‌داری($p \leq 0.01$) بر تعداد روز تا رسیدگی داشتند (جدول ۲). در تاریخ کاشت دوم نسبت به تاریخ کاشت اول در تمامی ژنوتیپ‌ها اثرکاهشی مشاهده شد. بررسی‌ها نشان داد که کمترین میزان این صفت در این دو تاریخ به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MCC۸۰ وMCC۵۵۲ بود و بیشترین تعداد روز از کاشت تا رسیدگی در هر دو تاریخ کاشت مربوط به ژنوتیپ MCC۶۹۶ (۱۰۳ و ۶۱ روز) بود. تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت برای تیمارهای مختلف ۴۲ روز بود (شکل ۳). می‌توان نتیجه گرفت که میزان دمای بالا و تنش خشکی رخ داده در انتهای دوره رشد گیاه، علت کوتاه شدن طول دوره رسیدگی نخود در تاریخ کاشت دوم (۲۴ فروردین) باشد. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، گیاه نخود در تاریخ کاشت دوم دماهای بالایی را به‌خصوص در انتهای فصل رشد تجربه کرده است که باعث تسریع در رسیدگی شده است که این می‌تواند یک مکانیسم برای فرار از تنش‌های انتهایی فصل رشد باشد. یانو و همکاران (Yano et al., 2007) در مطالعه‌ای بیان کردند که بالا رفتن درجه حرارت باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی گیاه می‌شود و این باعث زودرس شدن گیاهان و کاهش دوره رشد می‌شود. حاجرپور و همکاران (Hajarpoor et al., 2015) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کاهش طول دوره رشد و فرار از تنش خشکی آخر فصل از جمله راهکارهای سازگاری می‌باشند. در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شد که افزایش دما و تنش خشکی باعث کاهش طول دوره رشد رویشی و به دنبال آن کاهش دوره رشد و نموی گیاه می‌گردد (Benali et al., 2023).

ارتفاع بوته

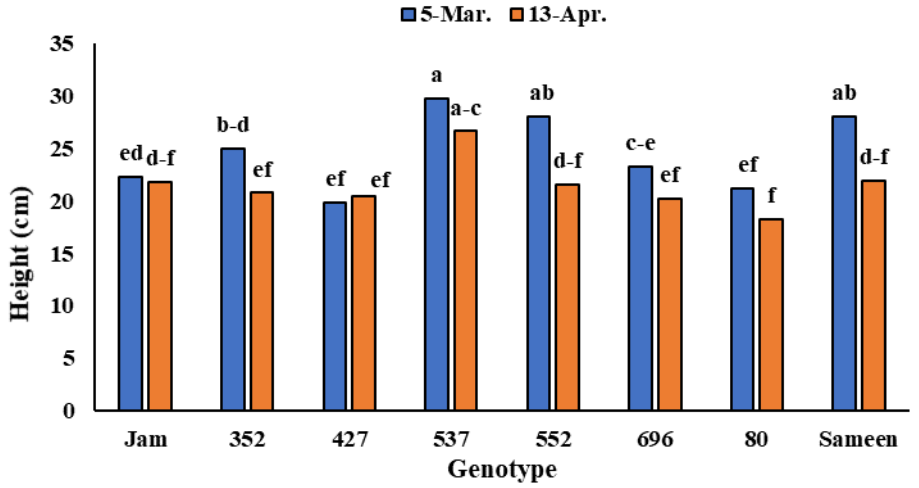
اثر اصلی ژنوتیپ‌های نخود ($p \leq 0.01$) و تاریخ کاشت و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) تأثیر معنی‌داری بر روی ارتفاع بوته داشتند (جدول ۲). در تاریخ کاشت دوم (۲۴ فروردین) نسبت به تاریخ کاشت اول (۱۴ اسفند) در تمامی ژنوتیپ‌ها به‌جز MCC۴۲۷، اثر کاهشی مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان این صفت به‌ترتیب در تاریخ کاشت‌های ۱۴ اسفند و ۲۴ فروردین در ژنوتیپ MCC۵۳۷ (۳۰ سانتی‌متر و ۲۷ سانتی‌متر) بود (شکل ۴). کمترین ارتفاع بوته نخود، در هر دو تاریخ کاشت، مربوط به ژنوتیپ MCC۸۰ بود که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت برای تیمارهای مختلف ۵۰ درصد بود (شکل ۴). می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به این که بخش قابل ملاحظه‌ای از رشدگیاه نخود در کشت نیمه دوم فروردین ماه در زمان بروز خشکی انتهای فصل رخ داده و میزان ارتفاع بوته نیز کاهش یافته است. به نظر می‌رسد که مهم‌ترین دلیل آن کاهش طول دوره رشد گیاه در این تاریخ کاشت باشد. هو و همکاران (Hu et al., 2023) در بررسی خود نشان دادند که درجه حرارت بالا به همراه تنش خشکی، مهم‌ترین عامل کاهش دوره رشد گیاه

است. به نظر می‌رسد که افزایش سرعت نمو و کاهش دوره رشد به‌دلیل برخورد با دماهای بالا باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Ahluwalia et al., 2021). گزارش شده است که استفاده از بارندگی‌های زمستانه و داشتن فرصت بیشتر برای رشد رویشی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نخود در تاریخ کاشت اول می‌گردد (Seyedi et al., 2018).



شکل ۳- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر تعداد روز تا رسیدگی نخود

Fig. 3- Interaction of planting date and genotype on the number of days to maturity in chickpea



شکل ۴- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر ارتفاع بوته نخود

Fig. 4- Interaction of planting date and genotype on chickpea plant height

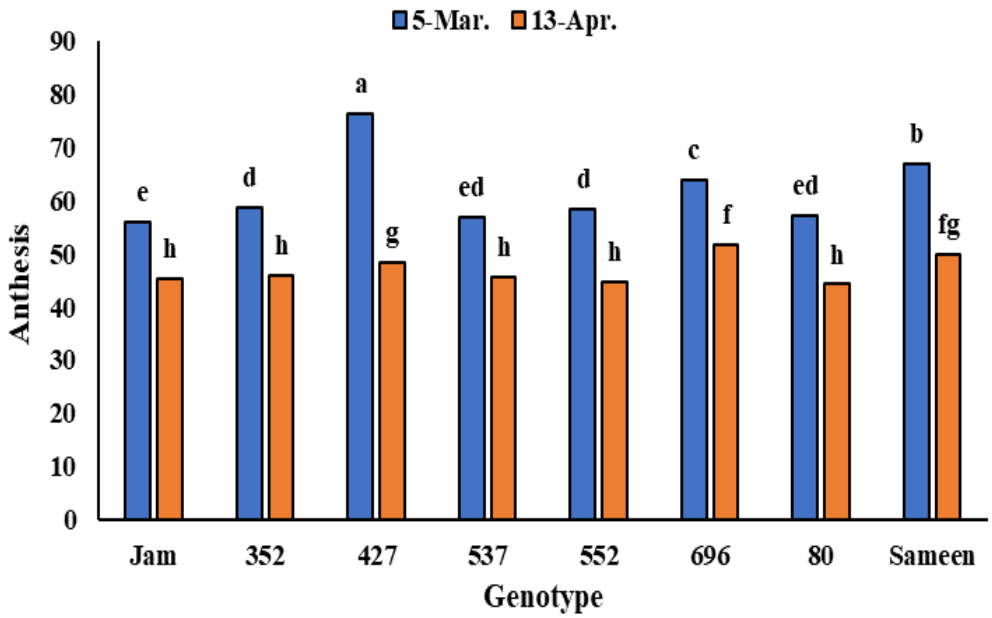
تعداد روز تا گل‌دهی

اثر اصلی تاریخ کاشت، ژنوتیپ‌های نخود و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت تأثیر بسیار معنی‌داری($p \leq 0.01$) بر تعداد روز تا گل‌دهی داشتند (جدول ۲). با تأخیر در تاریخ کاشت (۲۴ فروردین) از تعداد روز تا گل‌دهی نخود کاسته شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ MCC۴۲۷ و MCC ۶۹۶ به‌ترتیب در تاریخ کاشت اول و دوم، بالاترین میزان این صفت (تعداد روز تا گل‌دهی) را داشتند (شکل ۵) که تفاوت این بیشترین و کمترین برای تیمارهای مختلف ۳۶ روز بود. همچنین، ژنوتیپ‌های مختلف در تاریخ کاشت ۱۴ اسفند نسبت به تاریخ کاشت ۲۴ فروردین، تعداد روز بیشتری را تا رسیدن به مرحله گل‌دهی داشتند (شکل ۵). می‌توان گفت که به‌دلیل کاهش آب قابل دسترس به‌ویژه در اوایل دوره گل‌دهی ضمن کاهش سرعت رشد رویشی و کوتاه شدن دوره رشد زایشی، در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین گیاه با کاهش تعداد روز تا گل‌دهی مواجه شد. همچنین، این (تسریع طول دوره رشد) می‌تواند یک

مکانیسم دفاعی در برابر تنش باشد. فرار از خشکی به‌معنای تکمیل دوره رشدی گیاه قبل از شروع خشکی انتهایی فصل می‌باشد که اغلب به‌عنوان راهبرد اولیه گیاه در سازگاری به مناطق دارای تنش خشکی، مورد توجه قرار می‌گیرد (Anbessa et al., 2006). بررسی‌ها نشان داده است که زمان مناسب گل‌دهی، یک عامل اساسی و مهم در سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی می‌باشد (Chirivi et al., 2023). پژوهشگران در آزمایشی دیگر نشان دادند که با تسریع دوره رسیدگی و کاهش طول دوره رشد در کاشت تأخیری، تعداد روز تا گل‌دهی نیز کاهش چشمگیری داشت (Oguz et al., 2022).

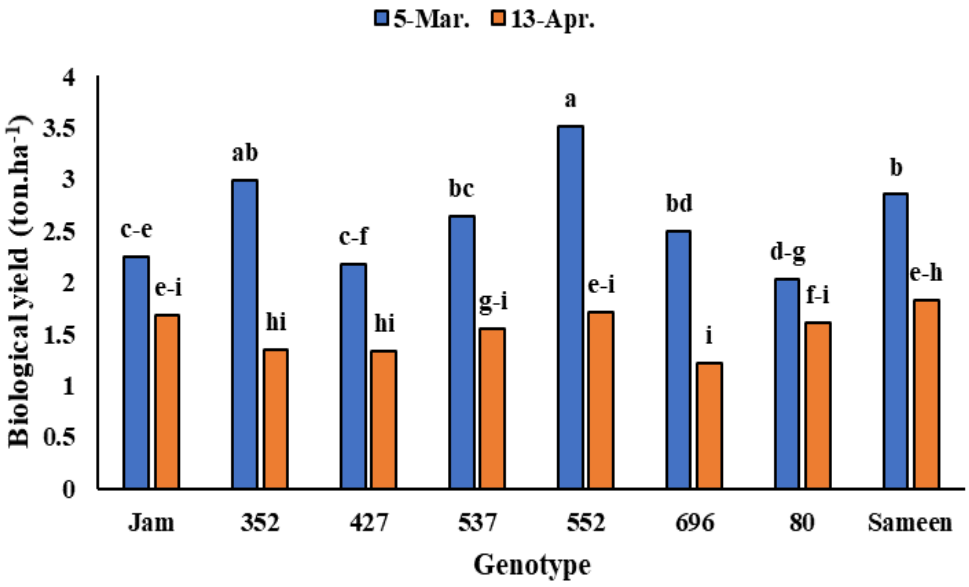
عملکرد بیولوژیک

نتایج نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت از نظر آماری بر عملکرد بیولوژیک بسیار معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲). ژنوتیپ MCC۵۳۷ و رقم ثمین در تاریخ کاشت اول و MCC۸۰ وMCC۴۲۷ در تاریخ کاشت دوم به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک را در این آزمایش داشتند (شکل۶). همچنین، عملکرد بیولوژیک در تمامی ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین نسبت به تاریخ کاشت ۱۴ اسفندکاهش یافت. همان‌طور که از نتایج ارائه شده در شکل ۶ مشخص است، ژنوتیپ MCC۵۳۷ از نظر عملکرد بیولوژیک در هر دو تاریخ کاشت بهترین بود و تفاوت بیشترین وکمترین عملکرد بیولوژیک در بین ژنوتیپ‌ها بیش از سه برابر بود. می‌توان گفت که تأخیر درکاشت و برخورد گیاه با تنش‌خشکی و دماهای بالا، باعث کاهش سطح برگ و به دنبال آن کاهش فتوسنتز، کاهش آب قابل دسترس گیاه و در نتیجه، کاهش رشد شده است. همچنین، با کاهش طول دوره رشد، کاهش عملکرد بیولوژیک نیز اتفاق افتاد. بعضی از ژنوتیپ‌ها نیز در این تاریخ کاشت، عملکرد بهتری را نسبت به بقیه از خود نشان دادند که این می‌تواند در نتیجه مکانیسم‌های متفاوت آن‌ها برای مقابله با تنش خشکی باشد. می‌توان اشاره کرد که میزان سرعت فتوسنتز و تجمع مواد فتوسنتزی یک عامل بسیار مهم در افزایش یا کاهش عملکرد بیولوژیکی گیاه به‌شمار می‌رود (Sherin et al., 2022). بررسی نشان می‌دهد که هرگونه تغییری در تجمع مواد فتوسنتزی و کاهش دوره رشد رویشی گیاه، در نهایت باعث کاهش وزن خشک گیاه می‌شود (Edziri et al., 2021). در طی تنش خشکی جذب CO_2 توسط برگ‌ها عمدتاً با بسته شدن روزنه، آسیب غشاء و اختلال فعالیت‌های آنزیمی مختلف کاهش می‌یابد که این فتوسنتز را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yue et al., 2020).



شکل ۵- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ برتعداد روز تا گل‌دهی نخود

Fig. 5- Interaction of planting date and genotype on days to flowering in chickpea



شکل ۶- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر عملکرد بیولوژیک نخود

Fig. 6- Interaction of planting date and genotype on chickpea biological yield

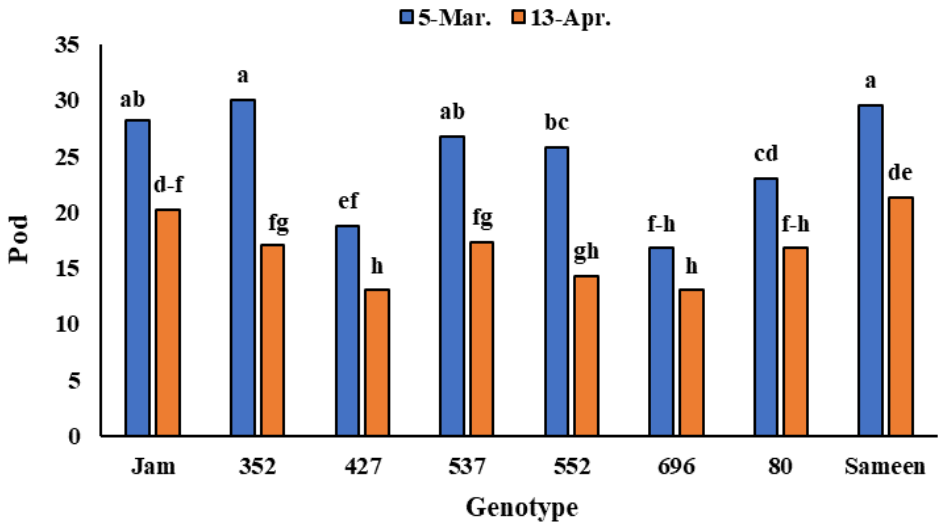
تعداد غلاف در بوته

نتایج جدول ۲ نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت ($p \leq 0.05$) و ژنوتیپ‌های نخود و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت ($p \leq 0.01$) تأثیر معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته داشتند. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های مختلف نخود نشان داد که در اولین تاریخ کاشت، ژنوتیپ MCC ۳۵۲ (۳۴ غلاف) بیشترین و ژنوتیپ MCC۶۹۶ (۱۴ غلاف در بوته) کمترین و در تاریخ کاشت دوم، رقم جم (۲۵ غلاف در بوته) بیشترین و ژنوتیپ MCC۴۲۷ کمترین تعداد غلاف را داشتند (شکل ۷). تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت در هر دو تاریخ کاشت، بیش از دو برابر بود. می‌توان بیان کرد که در تاریخ کاشت دوم، با وقوع تنش در مرحله گل‌دهی، ریزش گل و کاهش تعداد غلاف اتفاق افتاده است. وقوع تنش در مرحله شروع غلاف‌بندی نیز ممکن است تأثیر بسیار زیادی در کاهش باروری و لقاح و در نهایت، کاهش شدید در تعداد دانه در غلاف داشته باشد. همچنین به نظر می‌رسد، تفاوتی که در ژنوتیپ‌ها از نظر صفت غلاف‌دهی مشاهده می‌شود، به‌دلیل‌توانایی آن‌ها در حفظ رطوبت و تنظیم فشار اسمزی در شرایط وقوع تنش باشد. در پژوهشی نشان داده شد که بیشترین عملکرد نخود تحت شرایط فاریاب حاصل می‌شود و در این ارتباط، اجتناب از تنش خشکی بعد از مرحله گل‌دهی به‌ویژه در مرحله غلاف‌دهی و دانه بستن ضروری است (Devasirvatham et al., 2018). لی و همکاران (Liu et al., 2008) بیان کردند، تنش خشکی شدید در اوایل نمو غلاف‌ها باعث کاهش رشد آن‌ها می‌شود. ریزش غلاف‌ها، عامل اصلی کاهش عملکرد است و زمانی آغاز می‌شود که پیری برگ‌ها بر اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد (Pang et al., 2018).

عملکرد دانه

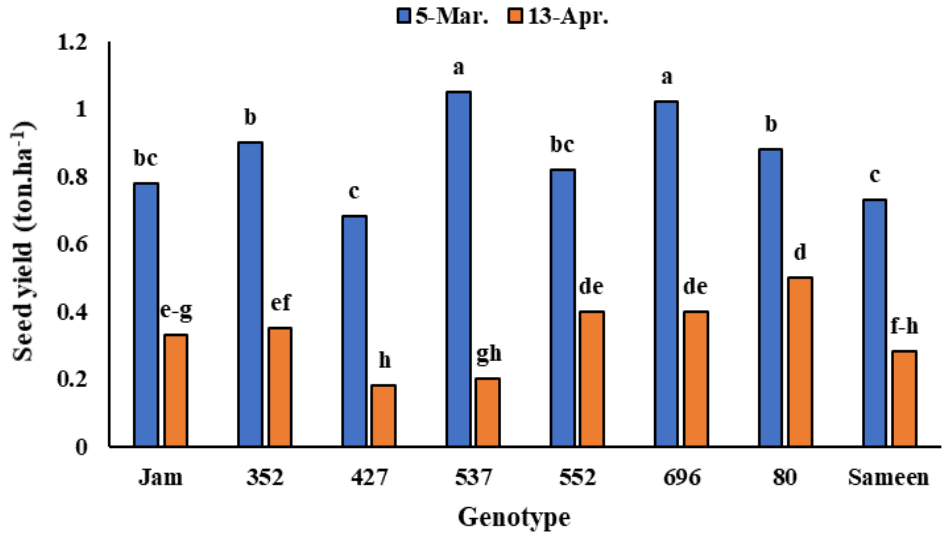
اثر اصلی تاریخ کاشت، ژنوتیپ‌های نخود و برهم‌کنش ژنوتیپ × تاریخ کاشت تأثیر بسیار معنی‌داری($p \leq 0.01$) بر عملکرد دانه داشت (جدول ۲). این نتایج نشان داد که تمامی ژنوتیپ‌ها در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین نسبت به تاریخ کاشت اول از نظر صفت عملکرد دانه کاهش داشتند. در تاریخ کاشت اول (۱۴ اسفند)، ژنوتیپ MCC۶۹۶ (۱/۰۶ تن در هکتار) بهترین و رقم ثمین (۰/۷۰۳ تن در هکتار) کمترین و در تاریخ کاشت دوم (۲۴ فروردین)، ژنوتیپ MCC۸۰ (۰/۵۱۷ تن در هکتار) بیشترین و ژنوتیپ MCC۴۲۷ (۰/۱۶۹ تن در هکتار) کمترین میزان این صفت را داشتند. در هر دو تاریخ کاشت، ژنوتیپ MCC۶۹۶ بهترین عملکرد را داشت. همچنین، تفاوت بیشترین و کمترین این صفت، بیش از دو برابر بود (شکل ۸). به نظر می‌رسد که کاهش رطوبت در زمان گل‌دهی و غلاف‌دهی، موجب کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و چروکیده شدن و کاهش وزن بذور می‌شود. می‌توان گفت که فراهمی رطوبت در این مراحل حساس رشدی باعث طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه شده و در نتیجه، مواد فتوسنتزی بیشتری را در اختیار دانه قرار می‌دهد. با وقوع تنش خشکی، گیاه بیشتر انرژی خود را صرف گسترش ریشه جهت حفظ بقا و حفظ رطوبت لازم برای فرآیندهای حیاتی خود می‌کند. تنش خشکی، جذب آب، مواد

معدنی و ساخت مواد فتوسنتزی را دچار اختلال می‌کند و منجر به کاهش شدید وزن دانه و عملکرد می‌شود (Farooq et al., 2009). در پژوهشی نشان داده شد که تنش خشکی، تجمع مواد آلی برگ را به‌شدت کاهش می‌دهد و تشکیل و نمو دانه که به ذخایر مواد آلی تجمع یافته در برگ وابسته است، به‌شکل معناداری کمتر می‌شود (Trabelsi et al., 2019). ادزیری و همکاران (Edziri et al., 2021) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که هرگونه تغییری در مرحله گل‌دهی و ساخت مواد فتوسنتزی بر پر شدن دانه تأثیر می‌گذارد، زیرا تجمع مواد ذخیره‌ای در دانه‌ها از طریق فتوسنتز خود دانه و فتوسنتز جاری سایر قسمت‌های فعال فتوسنتزی و انتقال مواد غذایی از سایر قسمت‌های گیاه به دانه تأمین می‌شود.



شکل ۷- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر تعداد غلاف در بوته نخود

Fig. 7- Interaction of planting date and genotype on Number of pod



شکل ۸- برهم‌کنش تاریخ کاشت و ژنوتیپ بر عملکرد دانه نخود

Fig. 8- Interaction of planting date and genotype on chickpea seed yield yield

نمودار خوشه‌ای

هدف از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، ساختن یک نمودار درختی است که در آن مکان‌هایی که با ویژگی‌های مورد مطالعه، شبیه‌ترین مکان‌ها هستند بر روی شاخه‌هایی که نزدیک به هم هستند، قرار گیرند. همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۹ نشان داده شده است، هشت ژنوتیپ نخود به چهار خوشه طبقه‌بندی شدند. خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های MCC۳۵۲، MCC۵۳۷، MCC۵۵۲، MCC۸۰ و رقم جم، خوشه دوم شامل رقم ثمین، خوشه سوم شامل ژنوتیپ MCC۴۲۷ و خوشه چهارم شامل ژنوتیپ MCC۶۹۶ بود (شکل ۹). خوشه اول از نظر خصوصیات درصد سبز شدن و تعداد روز تا رسیدگی و در خوشه دوم از نظر خصوصیات تعداد روز تا رسیدگی و تعداد روز تا گل‌دهی دارای بیشترین ضرایب بود (جدول ۳). در تحلیل چندمتغیره برای مطالعه تنوع ژنوتیپ‌ها از مجموعه‌ای از روش‌ها مانند روش PCA و روش کلاستر استفاده می‌شود و با استفاده از این تکنیک‌ها می‌توان ژنوتیپ‌هایی که دارای صفات مفید و برتر هستند را شناسایی کرد (Aliu et al., 2016). در پژوهشی، ۷۱ ژنوتیپ نخود از نظر خصوصیات عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین، خصوصیات مورفولوژیکی به با روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای به دو گروه اصلی و شش خوشه دسته‌بندی شدند. در آزمایش یاد شده، گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نشان داد که احتمالاً ژنوتیپ‌های گروه ۱ و ۶ بیشترین عملکرد دانه را داشتند و ژنوتیپ‌های ۲ و۳ دارای ارتفاع بیشتری بودند (Qulmamatova, 2023). حسن فرد و نباتی (Hasanfard & Nabati, 2023) در آزمایشی مشابه بر روی گیاه نخود، ژنوتیپ‌های مختلف نخود را به چهار دسته تقسیم کردند و نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌های گروه سوم پاسخ مناسب‌تری به شرایط محیطی در کشت پاییزه داشتند.

طبق جدول ۴ و شکل ۱۰، هشت ژنوتیپ نخود به سه خوشه طبقه‌بندی شدند. خوشه اول شامل ژنوتیپ‌های MCC۶۹۶ MCC۵۳۷، MCC۵۵۲، MCC۸۰ و رقم جم، خوشه دوم شامل ژنوتیپ MCC۳۵۲ و ژنوتیپ MCC۴۲۷، خوشه سوم شامل رقم ثمین بود (شکل ۱۰). به نظر می‌رسد که خوشه اول از نظر خصوصیات درصد سبز شدن و تعداد روز تا رسیدگی و خوشه دوم از نظر خصوصیات تعداد روز تا رسیدگی و درصد سبز شدن دارای بیشترین ضرایب بود (جدول ۴).

منحنی PCA

با توجه به ارتباط بین کمیت و کیفیت، ویژگی‌های مورد مطالعه با استفاده از PCA مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مجموع، در تاریخ کاشت اول (۱۴ اسفند)، (۴۳/۴ درصد) PC1 و(۲۵/۷ درصد) PC2 ، ۶۹/۱ درصد کل واریانس داده‌ها را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). به نظر می‌رسد که PC1 تحت تأثیر خصوصیات عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، درصد سبزشدن، بیولوژیک و ارتفاع تأثیر مثبت داشت، درحالی‌که، PC2 تحت تأثیر منفی خصوصیات بیولوژیک، عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی وشاخص برداشت قرار گرفت. براساس یافته‌ها،PC1 را می‌توان عوامل عملکرد و خصوصیات رشدی و PC2 را خصوصیات فنولوژیکی نامید (شکل ۱۱). در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، علاوه‌بر کاهش حجم داده‌ها، وجود یا عدم وجود تنوع در ژرم‌پلاسم مورد نظر نیز ارزیابی می‌شود (Malik et al., 2014). در تحقیقی بر روی ۱۵ ژنوتیپ نخود زراعی تیپ کابلی، چهار مؤلفه به‌دست آمد که در آن ۸۰ درصد از تغییرات کل داده‌ها توسط این مؤلفه‌ها بیان شد. در این تحقیق، مؤلفه اول با بیشترین واریانس، به‌عنوان مؤلفه اجزای عملکرد شناسایی شد که افزایش صفات مرتبط با این مؤلفه به‌عنوان نتیجه نهایی جهت بهبود عملکرد دانه پیشنهاد شد (Pezeshkpour et al., 2021).

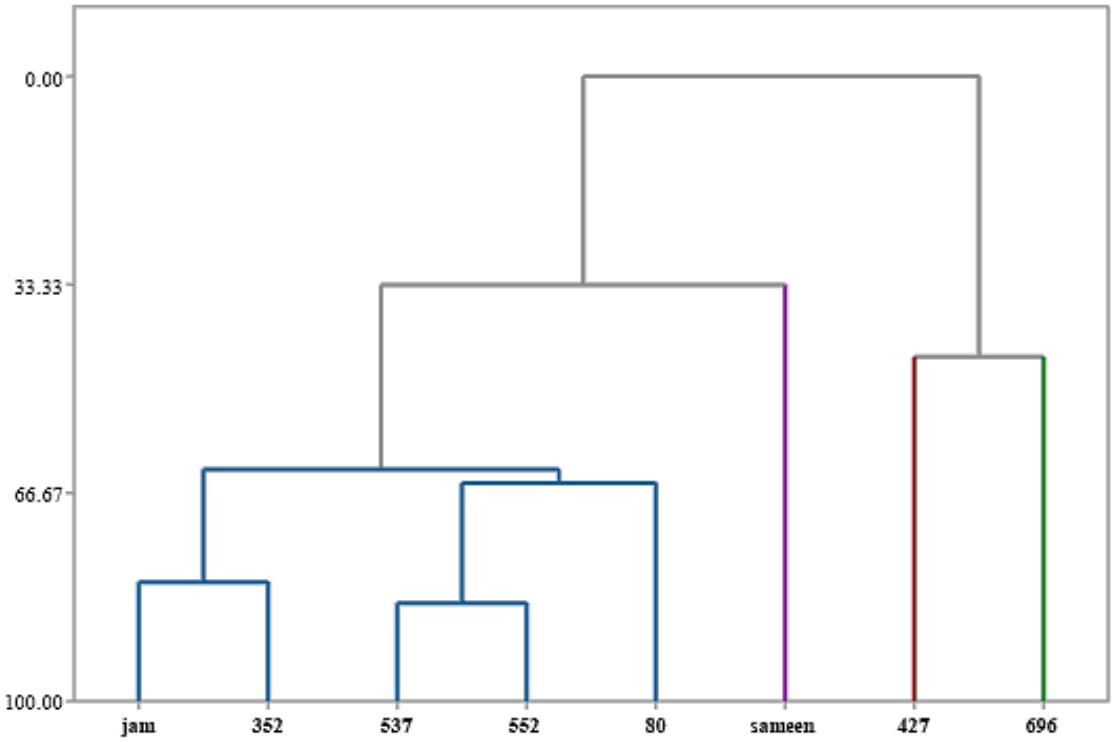
تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مورد مطالعه در تاریخ کاشت دوم (۲۴ فروردین) با استفاده از PCA نشان داد که در مجموع،PC1 (۳۶/۸ درصد) و (۲۷ درصد) PC2، ۶۳/۳ درصد کل واریانس داده‌ها را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). براساس نتایج، می‌توان گفت که PC1 تحت تأثیر منفی خصوصیات درصد سبز شدن، عملکرد دانه، بیولوژیک و همچنین، تحت تأثیر مثبت خصوصیات تعداد غلاف در بوته، ارتفاع، تعداد روز تا گل‌دهی و تعداد روز تا رسیدگی است. PC2 تحت تأثیر منفی خصوصیات عملکرد دانه، بیولوژیک، تعداد روز تا گل‌دهی وتعداد روز تا رسیدگی قرارداشت. همچنین، می‌توان PC1 را خصوصیات رشدی وPC2 را خصوصیات فنولوژیکی نامید (شکل ۱۲).

بنابراین، از نتایج تجزیه خوشه‌ایی می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ MCC۴۲۷ در تاریخ کاشت اول و ژنوتیپ MCC۴۲۷ و رقم ثمین در تاریخ کاشت دوم، بالاترین مقدار صفات عملکردی را داشتند. همچنین، براساس نتایج PCA می‌توان گفت که در تاریخ کاشت اول، ژنوتیپ‌های MCC۵۳۷ و MCC۳۵۲ و در تاریخ کاشت دوم، MCC۴۲۷ دارای برتری در میزان صفات اندازه‌گیری شده بودند و نتایج آنالیز خوشه‌ای و PCA با هم رابطه نزدیکی دارند و در این بین، بهترین ژنوتیپ‌ها برای هر دو تاریخ کاشت براساس نتایج آنالیزها و مقایسه میانگین‌ها، ژنوتیپ‌های MCC ۵۳۷ و MCC۶۹۶ می‌باشد.

جدول ۳- خوشه مرکزی صفات نخود در ژنوتیپ‌های مختلف در تاریخ کاشت ۱۴ اسفند

Table 3- The central cluster of chickpea traits in different genotypes on March 5 planting date

متغیر Variable	خوشه ۱ Cluster1	خوشه ۲ Cluster2	خوشه ۳ Cluster3	خوشه ۴ Cluster4	نقطه مرکزی بزرگ Grand centroid
درصد سبز شدن Emergence percentage	76.3	66.3	73.8	82.5	75.5
روز تا رسیدگی Days to maturity	91.2	101	101	101	94.9
ارتفاع گیاه Plant Height	25.2	19.9	23.3	28.0	24.7
عملکرد بیولوژیک Biological yield	2.26	1.70	2.58	1.79	2.17
تعداد روز تا گلدهی Anthesis	57.5	76.3	63.8	67.0	61.8
تعداد غلاف Number of pods	26.8	18.8	16.8	29.5	24.8
عملکرد Yield	0.897	0.713	1.06	0.704	0.871
شاخص برداشت HI	40.3	42.1	41.5	39.1	40.6



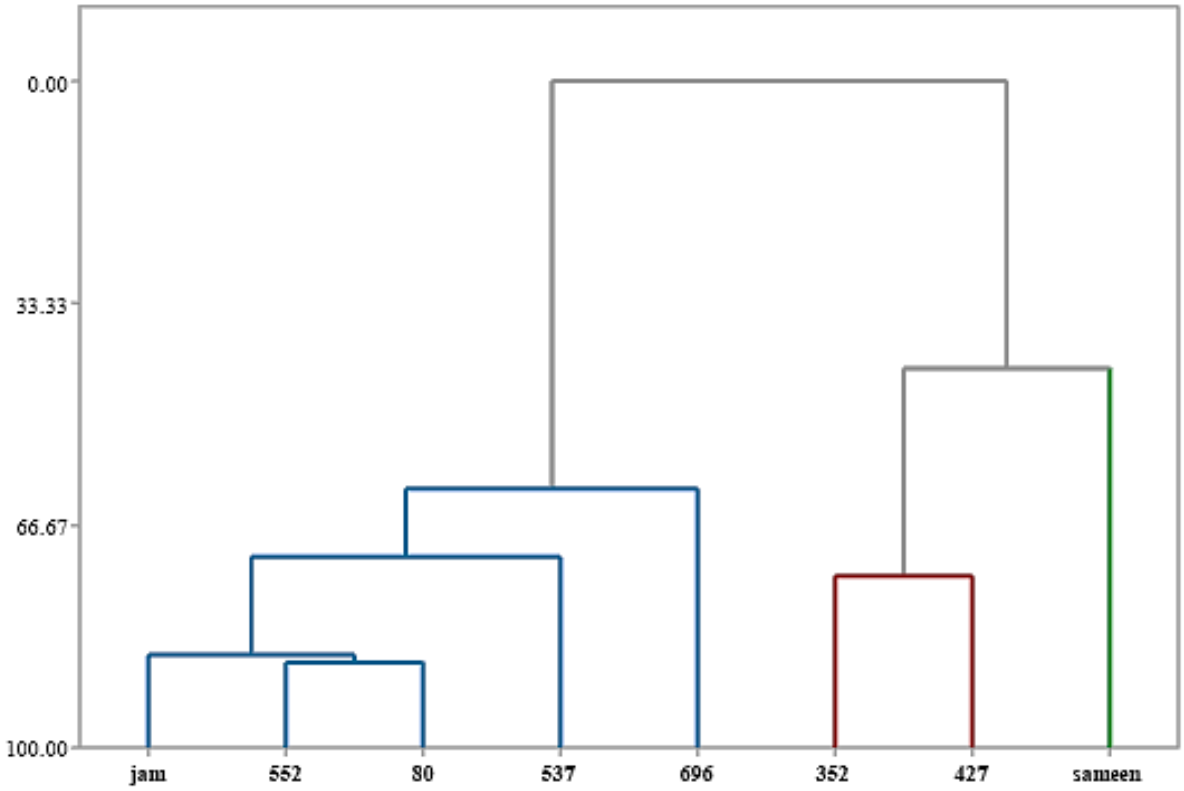
شکل ۹-گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود تحت تأثیر صفات مختلف در تاریخ کاشت ۱۴ اسفند

Fig. 9- Cluster grouping of chickpea genotypes under the influence of different traits on the planting date of March 5

جدول ۴- خوشه مرکزی صفات نخود در ژنوتیپ‌های مختلف در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین

Table 4- The central cluster of chickpea traits in different genotypes on the planting date of April 13

متغیر Variable	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	نقطه مرکزی بزرگ Grand centroid
درصد سبز شدن Emergence percentage	73.0	55.8	35.3	63.9
روز تا رسیدگی Days to maturity	67.0	67.5	72.5	67.8
ارتفاع گیاه Plant height	21.7	20.6	21.9	21.4
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.893	0.676	0.580	0.800
تعداد روز تا گل‌دهی Anthesis	46.4	47.3	50.0	47.0
تعداد غلاف Number of pods	16.3	15.0	21.3	16.6
عملکرد Yield	0.369	0.262	0.235	0.325
شاخص برداشت HI	41.5	39.3	39.7	40.7



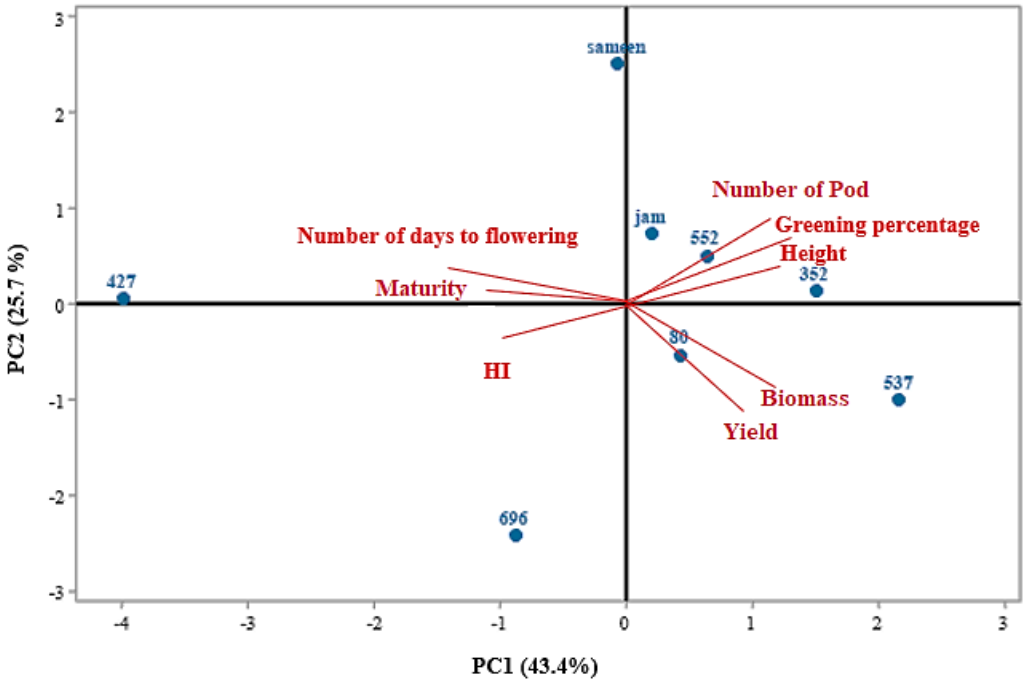
شکل ۱۰- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود تحت تأثیر صفات مختلف در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین

Fig. 10- Cluster grouping of chickpea genotypes affected by different traits on planting date of April 13

جدول ۵- ارزش ویژه، درصد تغییرات، واریانس تجمعی و همبستگی بین متغیرهای اصلی و چهار عامل حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی (PC) ژنوتیپ‌های نخود در تاریخ کاشت ۱۴ اسفند

Table 5- Eigenvalue, percentage of changes, cumulative variance and correlation between the main variables and four factors resulting from the analysis of the principal component (PC) of chickpea genotypes on the planting date of March 5

Characteristics شاخص‌ها	مؤلفه اصلی ۱ PC1	مؤلفه اصلی ۲ PC2	مؤلفه اصلی ۳ PC3	مؤلفه اصلی ۴ PC4
درصد سبز شدن Emergence percentage	0.336	0.260	-0.470	-0.301
روز تا رسیدگی Days to maturity	-0.376	0.015	-0.537	0.381
ارتفاع گیاه Plant height	0.362	0.159	-0.577	-0.019
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.330	-0.519	-0.084	0.252
تعداد روز تا گل‌دهی Anthesis	-0.475	0.103	-0.262	0.281
تعداد غلاف Number of pods	0.362	0.477	0.155	0.155
عملکرد Yield	0.269	-0.586	-0.149	0.131
شاخص برداشت HI	-0.276	-0.237	-0.187	-0.762
مقدار ویژه Eigenvalue	3.48	2.05	1.16	0.955
تناسب Proportion	43.4	25.7	14.5	11.9
تجمعی Cumulative	43.4	69.1	83.7	95.6



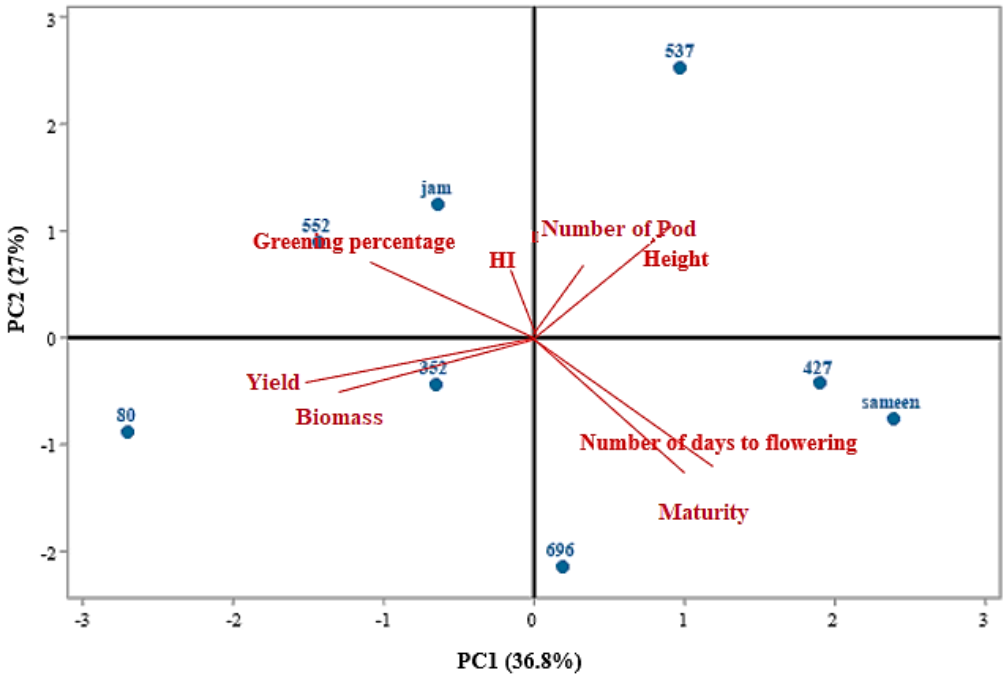
شکل ۱۱- نمودار بارگذاری کلیه متغیرهای اندازه‌گیری شده در تجزیه مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های نخود در تاریخ کاشت ۱۴ اسفند

Fig. 11- The loading diagram of all measured variables in the analysis of main components for chickpea genotypes on planting date of March 5

جدول ۶- ارزش ویژه، درصد تغییرات، واریانس تجمعی و همبستگی بین متغیرهای اصلی و چهار عامل حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی (PC)ژنوتیپ‌های نخود در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین

Table 6- Eigenvalue, percentage of changes, cumulative variance and correlation between main variables and four factors resulting from principal component analysis (PC) of chickpea genotypes on April 13 planting date

Characteristics شاخص‌ها	مؤلفه اصلی ۱ PC1	مؤلفه اصلی ۲ PC2	مؤلفه اصلی ۳ PC3	مؤلفه اصلی ۴ PC4
درصد سبز شدن Emergence percentage	-0.338	0.260	0.446	0.497
رسیدگی Maturity	0.333	-0.461	0.278	0.271
ارتفاع Plant	0.258	0.532	0.077	0.515
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.517	-0.274	-0.060	0.244
تعداد روز تا گل‌دهی Anthesis	0.395	-0.428	0.176	0.333
تعداد غلاف Number of pods	0.072	0.205	-0.614	0.325
عملکرد Yield	-0.527	-0.245	-0.013	0.188
شاخص برداشت HI	-0.045	0.277	0.553	-0.322
مقدار ویژه Eigenvalue	2.95	2.16	1.69	0.575
تناسب Proportion	36.8	27	21.2	7.2
تجمعی Cumulative	36.8	63.8	85	92.1



شکل ۱۲- نمودار بارگذاری کلیه متغیرهای اندازه‌گیری شده در تجزیه مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های نخود در تاریخ کاشت ۲۴ فروردین

Fig. 12- The loading diagram of all measured variables in the analysis of the main components for chickpea genotypes on the planting date of April 13

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، چنین استنباط می‌شود که به‌لحاظ تمامی صفات تاریخ کاشت اول (۱۴ اسفند) نسبت به تاریخ کاشت دوم (۲۴ فروردین) برتری چشمگیری داشته و به‌عنوان تاریخ کاشت مناسب‌تر می‌توان در نظر گرفت. از سوی دیگر، ژنوتیپ‌ها در صفات مختلف، واکنش متفاوتی داشته‌اند که از دلایل آن می‌توان به تفاوت ژنتیکی در ژنوتیپ‌های مختلف اشاره کرد. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های MCC ۵۳۷ و MCC۶۹۶ پاسخ‌های بهتری نسبت به شرایط محیطی داشتند که می‌توان از آن‌ها جهت برنامه‌های اصلاحی و به‌گزینی استفاده کرد. بنابراین، در صورت اثبات کارایی آن‌ها در آزمایشات پایداری عملکرد و اجزای عملکرد در آزمایشات بعدی، بتوان آن‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش معرفی کرد.

References

Ahluwalia, O., Singh, P. C., & Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, *5*, 100032. https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100032

Aliu, S., Kaul, H. P., Rusinovich, I., ShalaMayrhofer, V., Fetahu, S., & Zeka, D. (2016). Genetic diversity for some nutritive traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) from different regions in Kosova. *Turkish Journal of Field, Crops*, *21*(1), 156161.

Amraei, B. (2022). Effects of planting date and plant density on yield and some physiological characteristics of single cross 550 hybrid maize as a second crop. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *20*(4), 683-691. http://doi.org/10.22124/cjes.2022.5720

Anbessa, Y., Warkentin, T., Vandenberg, A., & Ball, R. (2006). Inheritance of time to flowering in chickpea in a short-season temperate environment. *Journal of Heredity*, *97*(1), 55-61.

Benali, A., El Haddad, N., Patil, S. B., Goyal, A., Hejjaoui, K., El Baouchi, A., Gaboun, F., Taghouti, M., Ouhssine, M., & Kumar, S. (2023). Impact of terminal heat and combined heat-drought stress on plant growth, yield, grain size, and nutritional quality in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plants*, *12*, 3726. https://doi.org/10.3390/plants12213726

Devasirvatham, V., & Tan, D. K. Y. (2018). Impact of high temperature and drought stresses on chickpea production. *Agronomy*, *8*, 145. https://doi.org/10.3390/agronomy8080145

Devasirvatham, V., Tan, D. K. Y., Gaur, P. M., & Trethowan, R. M. (2015) Chickpea and temperature stress. In: Legumes under Environmental Stress: Yield, Improvement and Adaptations. John Wiley and Sons, Oxford, pp. 81-90. ISBN 978-1-118-91708-4

Edziri, H., Chehab, H., Aissaoui, F., Boujnah, D., & Mastouri, M. (2021). Photosynthetic, anatomical and biochemical responses of olive tree (*Olea europaea*) cultivars under water stress. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *155*(4), 740-6.

FAOSTAT Rome. [(accessed on 17 December 2021)]. Available online: https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(1), 185-212. ffhal-00886451f.

Fernández-García, P., López-Bellido, L., Munoz-Romero, V., & López-Bellido, R. J. (2013). Chickpea water use efficiency as affected by tillage in rainfed Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, *129*, 194-199.

Hajarpoor, A., Meghdadi, N., Soltani, A., & Kamkar, B. (2016). Assessment of the adaptation strategiesin rainfed chickpea in response to future climate change in Zanjan province. *Journal of Agroecology*, *8*(2), 169-181. https://doi.org/10.22067/jag.v8i2.34886

Hassanfard, A., & Nabati, J. (2023). Selection of cold tolerant chickpea genotypes based on cluster analysis. The First National Chickpea Festival and Conference. Kermanshah, Iran.

Hu, J., Zhao, X., Gu, L., Liu, P., Zhao, B., Zhang, J., & Ren, B. (2023). The effects of high temperature, drought, and their combined stresses on the photosynthesis and senescence of summer maize. *Agricultural Water Management*, *289*, 108525.

Iravani Panah, H., Parsa Motlagh, B., Soleimani, A., & Mazaheri Tirani, M. (2022). Effect of different sowing dates on yield and some physiological traits of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *53*(2), 1-16. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2021.321358.654817

Islam, M. R., Sarker, B. C., Alam, M. A., Javed, T., Alam, M. J., Zaman, M. S. U., Azam, M. G., Shabbir, R., Raza, A., & Habib-ur-Rahman, M. (2021). Yield stability and genotype environment interaction of

water deficit stress tolerant mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczak) genotypes of Bangladesh. *Agronomy*, *11*, 2136. https://doi.org/10.3390/agronomy11112136

Jicheng, Y., & López J. M. (2020). Understanding MAPK signaling pathways in apoptosis. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(7), 2346. https://doi.org/10.3390/ijms21072346

Liu, B., Kanazawa, A., Matsumura, H., Takahashi, R., Harad0a, K., & Jun, A. (2008). Genetic redundancy in soybean photo responses associated with duplication of the phytochrome A gene. *Genetics*, *180*, 995–1007. http://doi.org/10.1534/ genetics.108.092742

Malik, S. R., Shabbir, G., Zubir, M., Iqbal, S. M., & Asghar, A. (2014). Genetic diversity analysis of morpho-genetic traits in Desi chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, *16*, 1560-8530.

Muehlbauer, F. J., & Tulle, A. (1997). Purdue University *Cicer arietinum* L. NewCrop FactSHEET. Center for New Crops and Plant Products.

Oguz, M. C., Aycan, M., Oguz, E., Poyraz, I., & Yildiz, M. (2022). Drought stress tolerance in plants: Interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Physiologia*, *2*, 180-197. https://doi.org/10.3390/physiologia2040015

Pang, J., Turner, N. C., Khan, T., Du, Y. L., Xiong, J. L., Colmer, T. D., Devilla, R., Stefanova, K., & Siddique, K. H. M. (2017). Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: Leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany*, *68*(8), 1973–1985. https://doi.org/10.1093/jxb/erw153

Pezeshkpour, P., Minapour, A., & Raeisvand, M. (2021). Seed yield stability of autumn sowing chickpea genotypes using nonparametric methods. *Journal of Crop Production*, *14*(4), 1-20. http://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18882.2408

Qulmamatova, D. E. (2023). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes evaluation for high yield through multivariate analysis. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, *55*(1), 107-114. http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.1.10

Rozan, P., Kuo, Y. H., & Lambein, F. (2001). Amino acids in seeds and seedlings of the genus *Lens*. *Phytochemistry*, 58(2), 281-9. http://doi.org/10.1016/s0031-9422(01)00200-x

Sajid, S. S., & Hu, G. (2022) Optimizing crop planting schedule considering planting window and storage capacity. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 762446. http://doi.org/10.3389/fpls.2022.762446

Seyedi, M., Azadbakht, A., Fesahat, A. (2018). Evaluation of growing properties, yield and component yield of three chickpea cultivar in waiting and spring sowing. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *14*(1), 73-86. (In Persian with English Abstract)

Seyedi, S. M., & Hamzei, J. (2020). Study of the effect of planting dates on the quantitative and qualitative performance of chickpea cultivars under dry conditions. *Plant Production Research*, *28*(4), 65-83. http://doi.org/10.22069/jopp.17459.2608

Sherin, G., Aswathi, K. P. R., & Puthur, J. T. (2022) Photosynthetic functions in plants subjected to stresses are positively influenced by priming. *Plant Stress*, *4*, 100079.

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, *12*(5), 440. http://doi.org/10.3390/insects12050440.

Tiwari, P. N., Tiwari, S., Sapre, S., Babbar, A., Tripathi, N., Tiwari, S., & Tripathi, M. K. (2023). Screening and selection of drought-tolerant high-yielding chickpea genotypes based on physio-biochemical selection indices and yield trials. *Life*, *13*, 1405. https://doi.org/10.3390/life13061405

Trabelsi, L., Gargouri, K., Hassena, A. B., Mbadra, C., Ghrab, M., Ncube, B., & Gargouri, R. (2019). Impact of drought and salinity on olive water status and physiological performance in an arid climate. *Agricultural Water Management*, *213*, 749-759.

Yano, T., Aydin, M., & Haraguchi, T. (2007). Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. *Sensors (Basel)*, *7*, 2297-2315.

Zaferanieh, M., Nezami, A., Parsa, M., Porsa, H., & Bagheri, A. (2009). Evaluation of fall sowing of cold tolerant chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms under complementary irrigation in Mashhad condition: 2- Yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *7*, 483-492. (In Persian with English Abstract)

Zali, A. G., Ehsanzadeh, P., & Razmjoo, J. (2015). Effects of irrigation regimes on seed yield and yield components of chickpea cultivars at two autumn and spring planting seasons in Lorestan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*(1), 123-135. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.54052. (In Persian with English Abstract)

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 159-177
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۷۷-۱۵۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84287.1065

The yield and Physiological Traits of Two Red Bean Cultivars (*Phaseolus vulgaris*) under the Influence of Management and Genotypic Factors

Tahere Rahmani[1], Mashaalla Daneshvar[2]*, Omidali Akbarpour[2], Majid Sharifipour[3]

Received: 12-10-2023
Revised: 10-12-2023
Accepted: 28-01-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Rahmani, T., Daneshvar, M., Akbarpour, O., & Sharifipour, M. (2024). The yield and physiological traits of two red bean cultivars *(Phaseolus vulgaris)* under the influence of management and genotypic factor. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 159-177. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84287.1065

Introduction
Pulses, including red beans, constitute a significant protein source in human nutrition. Beans exhibit symbiosis with nitrogen-fixing bacteria. In recent years, the growing concern for the nutritional quality of products derived from diverse agricultural systems, particularly in relation to chemical fertilizers and their impact on human health and the environment, has prompted the adoption of sustainable agriculture practices. Beans, being water-intensive plants, are susceptible to dehydration. Consequently, this research, driven by persistent drought occurrences, diminishing groundwater levels, the deleterious effects of chemical fertilizers on agricultural lands, and escalating fertilizer costs, as well as the availability of various cultivars of red beans, has advocated for the implementation of drip irrigation, biological fertilizers, and the cultivation of new bean varieties with enhanced seed yields.

Materials and Methods
This experiment was conducted in the years 2018-2019 and 2019-2020 under farm conditions in Aligudarz city, using a 3-replicate split-plot factorial RCBD. The primary factors examined were irrigation methods (furrow and drip), while cultivars (Akhtar and Yaghout) and fertilizers (NPK applied according to the bean fertilizer table, application of biochemical fertilizer, and pure nitrogen application at 30 kg during the three-leaf and five-leaf stages) served as secondary factors. The dimensions of each plot were 6 meters in length and 2.5 meters in width and included 5 rows of planting. weed and pest and disease control were carried out. The traits of the efficiency of remobilization of dry matter to the seed, the share of seed yield from remobilization of plant dry matter and the share of seed yield from plant current photosynthesis, the capacity to accumulate photosynthetic materials and seed yield evaluated and measured. Analysis of variance (ANOVA) was performed using the GLM procedure in SAS. The least significant difference test (LSD) was used to assess the significance of differences in treatment means at the 5 percent probability level.

Results and Discussion
The highest efficiency of remobilization dry matter to seeds in this experiment was of Yaghout cultivar using NPK fertilizer in 2019, which due to the longer vegetative growth and more leaves, led to more photosynthesis and the conditions for producing more reproductive organs. As a result, The highest efficiency of remobilization of dry matter (22%) during the growth period, compared to Akhtar variety (9%) had the highest efficiency of remobilization of dry matter to the seeds. In this experiment the highest and lowest efficiency of remobilization of dry matter to seed was with the use of furrow irrigation in 2019 and the use of drip irrigation in 2020. Also, in each of the irrigation methods, the efficiency of remobilization of dry matter to the seed in 2019 was significantly higher than in 2020. The difference in years from the point of view of this attribute should be considered due to the difference in atmospheric parameters in these two years. Remobilization of dry matter to seed and current photosynthesis of the plant are two important

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorram Abad, Iran, respectively.
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
* Corresponding Author: daneshvar.m@lu.ac.ir

components of the final yield of the plant, and investigating their role as components of seed yield is one of the goals of this experiment. The highest share of seed yield was obtained from remobilization of plant dry matter from the Yaghout cultivar and with the application of NPK fertilizer in 2019 (39.69%) and in 2020 (34.3%). However, the highest share of seed yield from current photosynthesis was assigned to the Yaghout cultivar with the use of NPK fertilizer in both years of the experiment. The share of seed yield from current photosynthesis of the plant is the result of the remobilization of dry matter to the seed as well as the current photosynthesis of the plant. The highest capacity to accumulate photosynthetic materials was obtained in Yaghout cultivar under drip irrigation. while the lowest amount was observed in the Akhtar cultivar with furrow irrigation. Akhtar and Yaghout cultivars in drip irrigation showed capacity to accumulate photosynthetic materials more than furrow irrigation. Therefore, it can be concluded that the physiological parameter of capacity to accumulate photosynthetic materials had the most significant correlation with seed yield in this experiment. The highest seed yield was obtained from the Yaghout cultivar with the application of bio-chemical fertilizers, and the lowest seed yield was of Akhtar cultivar with the application NPK fertilizer. Moreover, the correlation between the variables suggests that the high capacity for assimilating substances in the storage of seeds is the most critical factor influencing the increase in seed yield per unit area.

Conclusions

Correlation coefficients between traits showed that seed yield had the most positive and significant correlation with the share of seed yield from current photosynthesis of the plant and the accumulation capacity of photosynthetic materials. In other words, the two-year results of this experiment showed that the seed yield is mainly the final result of the current photosynthesis of the plant and the capacity for material accumulation in the seeds. Considering the persistent challenges of drought, significant depletion of groundwater, and the escalating costs of chemical fertilizers in recent years, coupled with their adverse impacts on agricultural soils, alongside the genotypic diversity of red beans, there exists a potential to markedly enhance seed yield. This can be achieved by reducing reliance on chemical fertilizers and adopting a combination of biochemical fertilizers and the drip irrigation method in conjunction with the use of genetically modified cultivars of red beans. Strengthening these physiological components emerges as a key pathway to realizing this improvement.

Keywords: Beans, Fertilizer, Irrigation, Physiological traits, Source-sink relationship

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 159-177
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۷۷-۱۵۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84287.1065

بررسی عملکرد و صفات فیزیولوژیکی دو رقم لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris*) تحت تأثیر عامل‌های مدیریتی و ژنوتیپی

طاهره رحمانی[۱]، ماشااله دانشور[۲*]، امیدعلی اکبرپور[۲]، مجید شریفی‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

چکیده

آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در الیگودرز اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری (جوی و پشته‌ای و قطره‌ای) در کرت‌های اصلی و تلفیق رقم (اختر و یاقوت) و کود (۱- NPK بر اساس نتایج آزمون خاک ۲- ترکیب کودهای زیستی- شیمیایی ۳- نیتروژن خالص به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در هر یک از مراحل سه و پنج برگچه‌ای رشد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج تجزیه و تحلیل صفات نشان داد، بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی انتقال مجدد ماده خشک (به‌ترتیب ۲۲ و ۹ درصد) از رقم یاقوت با کاربرد NPK سال ۱۳۹۸ و از رقم اختر با کاربرد کودهای زیستی- شیمیایی سال ۱۳۹۹ حاصل گردید. رقم یاقوت با کاربرد NPK بیش‌ترین سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک را در هر یک از دو سال آزمایش (۳۹/۶۹ و ۳۴/۳ درصد به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹) به خود اختصاص داد. بالاترین سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری به رقم یاقوت با کاربرد کودهای زیستی- شیمیایی در هر دو سال آزمایش (۷۶/۶ درصد) تعلق گرفت. بیش‌ترین میزان ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در رقم یاقوت تحت آبیاری قطره‌ای (۳۳۰/۵۸۴ میلی‌گرم) حاصل شد. دو پارامتر سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری و ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی به‌دلیل همبستگی بسیار بالا (به‌ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۹۹ درصد) بیش‌ترین نقش را در افزایش عملکرد دانه داشتند. در نهایت، نتایج نشان داد که تلفیق سه جانبه رقم یاقوت، ترکیب کودهای زیستی- شیمیایی و آبیاری قطره‌ای به‌دلیل حصول بیش‌ترین عملکرد دانه در لوبیا برترین تیمار بودند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، رابطه منبع- مخزن، صفات فیزیولوژیکی، کود، لوبیا

مقدمه

لوبیا یک منبع مهم پروتئین، فیبر و مواد مغذی است و قرن‌ها است که نقش مهمی در رژیم غذایی انسان دارد (Yonts et al., 2018). این گیاه یکی از منابع اصلی تأمین پروتئین گیاهی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (Dursun, 2007). مقدار پروتئین لوبیا دو تا چهار برابر غلات و ۱۰ تا ۲۰ برابر گیاهان غده‌ای است (Soheili Movahed et al., 2016). لوبیا گیاهی است که بیش از ۵۰ درصد تولید حبوبات دانه‌ای را به خود اختصاص داده است (Farid et al., 2016). لوبیا با دارا بودن ۱۸-۳۲ درصد پروتئین نقش مهمی را در تأمین مواد پروتئینی مورد نیاز انسان دارد. علاوه‌براین، به‌دلیل هم‌زیستی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفری در ریشه آن‌ها در حاصلخیزی خاک مؤثرند و هر ساله مقادیر زیادی نیتروژن بعد از برداشت این محصولات به خاک اضافه می‌شود (Rendon- Anaya et al., 2017). لوبیا در کشورهای در حال توسعه معمولاً در زمین‌هایی با قدرت باروری کم که خاک آن‌ها از لحاظ ماده معدنی و آلی فقیر است، کشت می‌شود. از این رو، زارعین مجبور به استفاده مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن و فسفر می‌شوند. در سال‌های اخیر، لزوم سلامت محصولات تولید شده در نظام‌های مختلف کشاورزی از نظر وجود بقایای سموم، کودهای شیمیایی و اثر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست باعث شده است تا روش‌های تولید و نهاده‌های به‌کار رفته در تولید آن‌ها مورد توجه خاص قرار گیرند. پژوهش‌های انجام یافته نشان داده است که مهم‌ترین دلیل کاهش عملکرد محصولات به‌طور عمده ناشی از عدم توازن تغذیه‌ای و استفاده از کودهای شیمیایی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: daneshvar.m@lu.ac.ir)

بوده است (Zaidi et al., 2017). هدف از کشاورزی پایدار، به حداقل رساندن اثرات مضر در نهاده‌های سنتزی مانند کودهای شیمیایی بر محیط زیست و در کنار آن استفاده از نهاده‌های آلی برای تأمین عناصر غذایی می‌شود. به همین خاطر، کشاورزی پایدار از طریق مکمل بودن کودهای زیستی با کودهای شیمیایی و در برخی موارد، از طریق جایگزینی مواد شیمیایی با کودهای زیستی و آلی سبب افزایش حاصلخیزی و سلامت خاک، حفظ محیط زیست و افزایش کیفیت محصولات می‌شود (Rose et al., 2019).

کاویان اطهر و ابوطالبیان (Kavian Athar & Abutalibian, 2020) بیان کردند که در لوبیا، کاربرد ۳۰ کیلوگرم نیتروژن به همراه کودهای زیستی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته لوبیا و عملکرد دانه می‌گردد. پاسبان و همکاران (Pasban et al., 2015) گزارش دادند که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش بیشتر عملکرد دانه لوبیا روغنی گردید. تحقیقات صابری و همکاران (Saberi et al., 2015) روی لوبیا نشان داد که کودهای زیستی با بهبود شرایط جذب عناصر غذایی نیاز به مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داده است و با جذب نیتروژن و فسفر، موجب ایجاد شاخ و برگ بیش‌تر و در نتیجه، افزایش فتوسنتز گیاه و تولید ماده خشک بیش‌تر و در نتیجه، عملکرد بالاتر شدند که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت. در آزمایش حاضر، باکتری‌های موجود در کودهای زیستی به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد بوده و با افزایش جذب عناصر نیتروژن و فسفر در گیاه باعث افزایش عملکرد دانه شدند. پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2014) در گزارش خود اظهار داشتند که سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه لوبیا قرمز تحت تأثیر تیمار کود زیستی- شیمیایی افزایش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مغایرت داشت. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که تأمین به‌موقع نیتروژن موجب می‌شود که گیاه برای پر کردن دانه به‌دلیل شاخص سطح بالاتر به‌طور عمده از فتوسنتز جاری استفاده کند، در نتیجه، سهم فرایند انتقال مجدد در عملکرد دانه کاهش می‌یابد و به نظر می‌رسد که تحت چنین شرایطی، به‌دلیل افزایش فتوسنتز جاری در عملکرد دانه موجب می‌شود که میزان انتقال ماده خشک از کل بوته به ساقه و دانه کاهش یابد. نتایج آزمایش حاضر با نتایج سید شریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2015) و مجدم و همکاران (Majdam et al., 2009) مطابقت داشت. منصور قناعی پاشاکی و همکاران (Mansour Ghanaei Pashaki et al., 2017) در آزمایش‌های خود گزارش دادند که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی قادر به تأمین بخشی از نیازهای غذایی گیاه می‌باشد. طباطبایی و همکاران (Tabatabaei et al., 2020) در گزارش خود بر روی لوبیا اظهار داشتند که بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی و با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد.

لوبیا، گیاهی آب‌دوست است که نیاز خالص آبی آن در حدود ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد (Sarikhani et al., 2018)، به همین دلیل، علی‌رغم ارزش غذایی، قیمت بالای محصول و بازار مناسب آن، محدودیت منابع آب، مانع گسترش تولید لوبیا است. خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است، به همین سبب لازم است که از روش‌های امکان‌پذیر برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی استفاده شود (Maleki et al., 2021). هر گونه روشی که بتواند آب مصرفی گیاه را بهتر در اختیار آن قرار دهد، به نحوی که منجر به عملکرد بهتر گیاه شود، می‌تواند یک راهکار مؤثر برای افزایش بهره‌وری مصرف آب باشد. در این راستا، توزیع متفاوت رطوبت در خاک تحت آبیاری قطره‌ای، ممکن است بخشی از راه حل جهت استفاده بهینه از منابع آبی باشد (Abalos et al., 2014). در برخی پژوهش‌ها، مانند تحقیقات مهرپویان و همکاران (Mehrpouyan et al., 2013) استفاده از آبیاری قطره‌ای به عملکرد بهتر لوبیا منجر شد، آن‌ها گزارش دادند که استفاده از آبیاری قطره‌ای، میانگین عملکرد دانه را ۲۸ درصد نسبت به روش آبیاری سطحی افزایش داد. ولی در برخی دیگر، مانند پژوهش دارابی و همکاران (Darabi et al., 2022)، استفاده از آبیاری قطره‌ای منجر به کاهش عملکرد نسبت به روش جوی و پشته‌ای شده است. به عبارت دیگر، استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و یا جوی و پشته‌ای، مزیت مطلق نسبت به یکدیگر ندارند و بسته به شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک می‌توانند منجر به نتایج متفاوتی شوند. با این حال، آبیاری تحت فشار به‌خصوص آبیاری قطره‌ای می‌تواند راهکاری مناسب برای عرضه آب و مواد غذایی مستقیماً در منطقه ریشه محصولات باشد و به همین سبب، پتانسیل راندمان کاربرد آب و مواد شیمیایی را افزایش دهد (Abalos et al., 2014). برنامه‌های کود آبیاری نیز که برای افزایش کیفیت و کمیت بسیاری از محصولات در حال گسترش هستند، با روش‌های آبیاری قطره‌ای انطباق بیش‌تری دارند و این رویکرد با افزایش کمبود آب و هزینه کود در دهه‌های اخیر در حال گسترش است (Gardenas et al, 2005).

از سوی دیگر، ژنوتیپ‌های متفاوت، واکنش‌های متفاوتی نسبت به شرایط محیطی و سیستمی نشان می‌دهند. دشتکی و همکاران (Dashtaki et al., 2015) در بررسی اثر تنش آبی بر ژنوتیپ‌های لوبیا گزارش دادند که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از

نظر عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه، تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، روز تا مرحله رسیدگی، اندازه بذر در شرایط تنش و بدون تنش تفاوت معنی‌داری با هم داشتند.

با توجه به موارد پیش‌گفته؛ کمبود شدید منابع آبی و هم‌چنین اثرات مخرب کودهای شیمیایی بر کیفیت اراضی کشاورزی و نیز وجود ارقام متنوع لوبیا قرمز، در جهت آگاهی از تأثیر آبیاری قطره‌ای و کودهای زیستی و استفاده از ارقام جدید لوبیا برای حصول عملکرد دانه بالاتر، این پژوهش طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش در طی دو سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ و ۹۹- ۱۳۹۸ به‌صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اراضی شاپورآباد شهرستان الیگودرز به مختصات عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۲۱۱۹ متر اجرا گردید. قبل از شروع آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه جهت تعیین برخی از ویژگی‌های خاک نمونه‌برداری به عمل آمد که نتایج آن در جدول ۱ بیان شده است (جدول ۱). هم‌چنین، داده‌های هواشناسی (حداقل، حداکثر و متوسط دمای هوا در طول فصول رشد در دو سال آزمایش) در جدول ۲ درج شده است. میزان کل بارندگی منطقه در طی سال‌های زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ و ۹۹- ۱۳۹۸به‌ترتیب ۶۸۴ و ۴۰۷ میلی‌متر بوده است.

عامل‌های آزمایش شامل آبیاری در دو سطح (I_1: آبیاری جوی و پشته‌ای (شاهد) و I_2: آبیاری قطره‌ای (تیپ) در کرت‌های اصلی و تلفیق عامل‌های رقم در دو سطح (C_1: اختر و C_2:یاقوت) و کود در سه سطح (F_1: کودهای شیمیایی NPK به‌مقدار نیاز گیاه بر اساس نتایج آزمون خاک (۱۰۰ کیلوگرم کود اوره، ۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم) به زمین داده شد. F_2: تلفیق کودهای زیستی- شیمیایی (کاربرد نیتروژن خالص از منبع اوره به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای زیستی (فسفوزیست و نیتروزیست) در هر دو مرحله سه برگچه‌ای و پنج برگچه‌ای و F_3: کاربرد نیتروژن خالص به‌میزان ۳۰ کیلوگرم در مرحله سه برگچه‌ای و ۳۰ کیلوگرم در مرحله پنج برگچه‌ای) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. کودهای زیستی (فسفوزیست و نیتروزیست) نیز از شرکت کشت کار گستر نوژان خراسان شمالی تهیه شده و مورد استفاده قرار گرفته و ارقام لوبیا قرمز اصلاح شده اختر و یاقوت از ایستگاه تحقیقات لوبیا واقع در شهر خمین تهیه شدند. رقم لوبیا قرمز اختر فرم ایستاده و رشد محدود (تیپ ۱) دارد. این رقم مناسب کشت در مناطق سرد و معتدل کشور می‌باشد. دوره رشد و نمو ۹۵ تا ۱۰۰ روز می‌باشد. وزن ۱۰۰ دانه آن، ۴۵ تا ۴۷ گرم و عملکرد آن ۱۹۸۰کیلوگرم می‌باشد. درصورتی‌که رقم لوبیا یاقوت فرم ایستاده و رشد نامحدود (تیپ ۲) دارد و مناسب کشت در مناطق سرد و معتدل کشور می‌باشد. متوسط دوره رشد و نمو ۸۷ روز، مقاوم به آفت کنه دو نقطه‌ای، مقاوم به بیماری ویروسی موزاییک معمولی لوبیا و عملکرد آن ۲۲۰۶ کیلوگرم می‌باشد. رقم یاقوت دارای تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب در تمامی مناطق رایج تولید لوبیا در کشور می‌باشد (Khavari et al., 2023).

در تحقیق حاضر، تنش آبی به‌عنوان تیمار اعمال نشده و آبیاری به‌صورت کامل انجام شده است. ولی با تغییر روش آبیاری، از جوی و پشته‌ای به قطره‌ای، توزیع متفاوتی از رطوبت در خاک شکل می‌گیرد. بدین ترتیب که در روش قطره‌ای، رطوبت کمتری در سطح و بیشتر در نواحی پایین ناحیه ریشه توزیع می‌شود. این فرم توزیع رطوبت، می‌تواند آب و مواد غذایی را مدت بیش‌تری با سهولت در اختیار گیاه قرار دهد و آب را از دسترس تبخیر دور نگه دارد.

ابعاد هر کرت به‌طول شش متر و عرض ۲/۵ متر و نیز شامل پنج ردیف کاشت بود. بذرها روی خط داغاب به‌فاصله ۱۰ سانتی متر از هم در عمق پنج سانتی متر و با فاصله خطوط کشت ۵۰ سانتی متر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع در ۱۷ خرداد ماه کشت شد. بذرها با قارچ‌کش رورال تی اس سترون شدند و در هر نقطه دو بذر کشت شد و بعد از استقرار گیاه عملیات تنک‌کردن انجام گرفت. عملیات داشت شامل کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و مهار آفات و بیماری‌ها صورت گرفت.

صفات کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها، سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه، سهم عملکرد دانه در انتقال مجدد ماده خشک گیاه، ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها از زمان شروع گل‌دهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها اندازه‌گیری شد. برای این منظور، سه بوته در هر کرت در دو مرحله رشد شروع گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی دانه‌ها برداشت شد و در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک گردید و سپس اندازه‌گیری و توزین شدند و از طریق معادله‌های زیر میزان انتقال ماده خشک و سایر صفات اشاره شده در بالا مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار گرفتند. جهت تعیین عملکرد دانه، بوته‌های دو خط وسط هر کرت به‌مساحت ۱/۵ مترمربع برداشت و عملیات خرمن‌کوبی و بوجاری انجام و دانه‌ها جدا گردیدند. وزن دانه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌صدم گرم تعیین شد.

جدول ۱- نتایج آنالیز خاک زمین مورد آزمایش

Table 1- Soil analysis results of the tested land

ویژگی Trait	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Trait	واحد Unit	مقدار Amount
اسیدیته PH	–	8.03	کربن آلی OC	درصد %	0.24
هدایت الکتریکی EC	دسی زیمنس بر متر $dS.m^{-1}$	0.35	نیتروژن N	درصد %	0.02
مواد جامد محلول TDS	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	175.6	فسفر P	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	14.8
آهک TNV	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	19.5	پتاسیم K	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	264.5
بافت خاک Texture	–	لومی Loam	آهن Fe	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	5.07
رس Clay	درصد %	20.8	روی Zn	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	1.22
سیلت Silt	درصد %	44.4	مس Cu	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	2.65
شن Sand	درصد %	34.8	منگنز Mn	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	12.56

جدول ۲- میانگین حداقل و حداکثر درجه حرارت ماهانه (کاشت تا برداشت) و درجه روز رشد طی فصل رشد در دو سال کاشت ۱۳۹۹-۱۳۹۸

Table 2- Average minimum and maximum monthly temperature (planting to harvest) and growing day degree during growth season in 2019-2020

ماه Month	۱۳۹۸ 2019			۱۳۹۹ 2020		
	میانگین حداقل دما (سلسیوس) minimum average temperature (°C)	میانگین حداکثر دما (سلسیوس) maximum average temperature (°C)	میانگین درجه روز رشد (GDD) Average growing degree day	میانگین حداقل دما (سلسیوس) minimum average temperature (°C)	میانگین حداکثر دما (سلسیوس) maximum average temperature (°C)	میانگین درجه روز رشد (GDD) Average growing degree day
خرداد June	12.96	30.75	11.85	12.46	30.46	11.46
تیر July	16.98	34.30	15.72	16.9	31.72	14.37
مرداد August	17.81	34.46	15.95	16.81	34.32	15.92
شهریور September	13.52	31.13	12.32	13.10	30.21	12.22
میانگین Average	15.32	32.66	13.96	14.82	31.68	13.49

کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها از طریق معادله ۱ و ۲ محاسبه گردید (Barlog & Grzebisz, 2004).

برای برآورد کارایی انتقال مجدد ماده خشک بـه دانـه‌ها از طریق معادله ۱ و ۲ محاسبه گردید.

معادله (۱) $AM\ (\%) = [DM\ (g.m^{-2}) / DM_{max}] \times 100$

معادله (۲) $DM\ (g.m^{-2}) = (DM_{max} - DM_{mat})$

که در آن‌ها، DM_{max}: مقدار ماده خشک اندام‌های هـوایی گیاه در زمان شروع گل‌دهی (گرم بر مترمربع)، DM_{mat}: مقـدار ماده خشک اندام‌های هـوایی بـه‌جز دانـه در مرحلـه رسـیدگی فیزیولـوژیکی گیـاه (گـرم بـر مترمربـع)، $DM\ (g.m^{-2})$: میـزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها (گـرم بـر مترمربـع) و AM: کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه (درصد) است.

سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه از معادله ۳ محاسبه شد.

معادله (۳)

The share of seed yield of Plant current photosynthesis = (GY – DM) / GY × 100

که در آن، The share of seed yield of Plant current photosynthesis: سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه (درصد)، GY: عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) و DM: میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها (گرم بر مترمربع) است.

سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه از معادله ۴ محاسبه شد.

معادله (۴)

The share of seed yield from remobilization of plant dry matter = (DM/GY) × 100

که در آن، The share of seed yield from remobilization of plant dry matter: سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه (درصد)، GY: عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) و DM: میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه‌ها (گرم بر مترمربع) است.

معادله (۵)

The capacity to accumulate photosynthetic materials = (Seed weight/Seed number per m^2)

که در آن، The capacity to accumulate photosynthetic materials: ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (میلی‌گرم)، Seed weight: وزن دانه (گرم) و Seed Number per (m^2): تعداد دانه در مترمربع است.

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطمینان از نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون نرمالیته، همگنی واریانس خطاهای آزمایشی دو سال با آزمون بارتلت انجام گرفت و پس از تأیید همگنی واریانس خطای دو سال، صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه واریانس (مرکب) شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD انجام شد. در رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

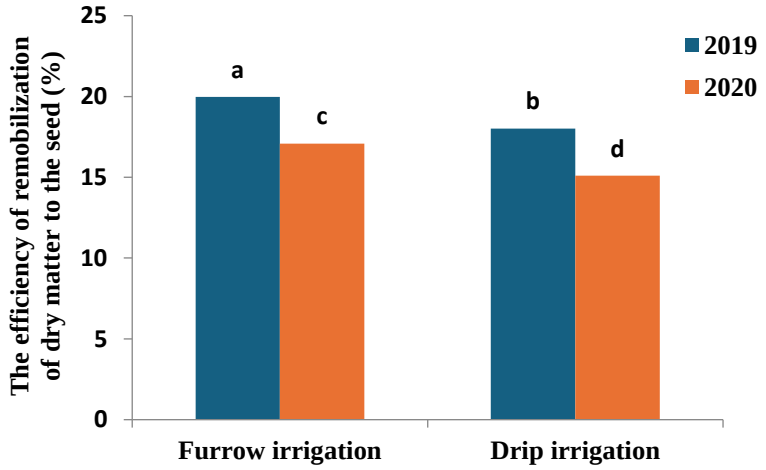
نتایج و بحث

کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه

پس از تأیید آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال (جدول ۳)، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده سال، کود و رقم و اثر متقابل دوگانه (کود × رقم) و اثر متقابل سه‌گانه (کود × سال × رقم) به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل دوگانه (سال × آبیاری) و (سال × کود) در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه معنی‌دار بودند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (کود × سال × رقم) بر کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه نشان داد که بیش‌ترین میزان کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه در هر دو سال این آزمایش از رقم یاقوت با استفاده از کود NPK (به‌ترتیب ۲۲ و ۱۷ درصد) بود (جدول ۶). می‌توان علت آن را این‌گونه بیان کرد که رقم یاقوت نسبت به رقم اختر دارای رشد رویشی طولانی‌تر و تعداد برگ بیشتر بوده است، بنابراین، از فتوسنتز بالاتر و تجمع بیشتر آسیمیلات قبل از گل‌دهی برخوردار بوده و در نتیجه، سبب انتقال مجدد مواد خشک بیش‌تری به دانه‌ها گردیده است (جدول ۶). نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2022) مطابقت داشت. پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2022) اظهار داشتند که ارقام صیاد و ناز که دارای رشد نامحدود می‌باشند، نسبت به رقم درخشان با رشد محدود، به‌علت تعداد شاخه‌های فرعی بیشتر و تعداد برگ و شاخص سطح برگ بیشتر، فتوسنتز بیش‌تری انجام داده و با تجمع بیشتر آسیمیلات قبل از گل‌دهی باعث انتقال مجدد مواد خشک به دانه‌ها شده اند. هم‌چنین، پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2014) گزارش کردند که ارقام لوبیا قرمز از نظر فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها با هم تفاوت دارند و این موضوع موجب تفاوت در مقدار صفات زایشی ارقام می‌گردد. هم‌چنین، در تحقیقات گوناگون مشخص شده است که اختلاف بین ارقام در گیاهان مختلف بیشتر ناشی از خصوصیات ژنتیکی می‌باشد، امّا شرایط محیط نیز در ظهور و بروز آن‌ها نقش ویژه‌ای دارد (Pourhadian et al., 2014; Mondani & Jalilian, 2019).

در آزمایش حاضر، تأمین به‌موقع کودهای شیمیایی باعث افزایش میزان وکارایی انتقال ماده خشک از ساقه و برگ‌ها به دانه‌ها گردید که با نتایج سایر محققین مطابقت داشت (Bahrani et al., 2009; Hokm Alipour & Seyed Sharifi, 2015). نتایج تحقیقات پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2022) با نتیجه این آزمایش مغایرت داشت که اظهار داشتند، اثرات مصرف کودهای زیستی بر انتقال مجدد از ساقه و برگ‌ها و کارایی انتقال مجدد ماده خشک تأثیر داشته و منجر به افزایش کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه گردیده است (Pourhadian et al., 2022). با توجه به نتایج همبستگی داده‌ها، کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه با عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری (۰/۲۷) داشت (جدول ۵). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه در این آزمایش به‌ترتیب با کاربرد آبیاری جوی و پشته‌ای در سال ۱۳۹۸ (۱۹/۸۸ درصد) و با کاربرد آبیاری قطره‌ای در سال

۱۳۹۹ (۱۵/۱۰ درصد) با اختلاف معنی‌دار ۴/۷۸ درصد به‌دست آمد. روند کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه در روش جوی و پشته‌ای نسبت به روش قطره‌ای در هر دو سال به‌صورت افزایشی بوده است. هم‌چنین، در سال اول روند این صفت نسبت به سال دوم افزایش یافته است (شکل ۱). بهرانی و همکاران (Bahrani et al., 2009) در تحقیق خود روی گندم بیان کردند که میزان کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه با کاربرد آبیاری مطلوب و کامل نسبت به تنش کم‌آبی کاهش یافت. هم‌چنین، در هر یک از روش‌های آبیاری و در بین دو سال آزمایش، تفاوت معنی‌دار از نظر کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه وجود داشت؛ به نحوی که در سال ۱۳۹۸ به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال ۱۳۹۹ بود (شکل ۱). تفاوت سال‌ها برای این صفت را باید به‌دلیل اختلاف پارامترهای جوی در این دو سال دانست (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (سال × کود × رقم) بر صفت فوق نشان داد که بیش‌ترین میزان کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه در این آزمایش در سال اول در رقم یاقوت و با کاربرد کود NPK (۲۲ درصد) به‌دست آمد. کم‌ترین میزان این صفت در سال دوم و در رقم اختر و با کاربرد کود زیستی- شیمیایی (نه درصد) حاصل شد (جدول ۶). روند کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه در سال اول با کاربرد کود NPK نسبت به سایر تیمارهای کودی در هر دو رقم یکسان و افزایشی بود (جدول ۶). هم‌چنین، در سال اول روند این صفت در کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن نسبت به کود زیستی- شیمیایی افزایشی بوده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که روند این صفت در سال اول نسبت به سال دوم افزایش یافته است (جدول ۶).



شکل ۱- اثر متقابل دوگانه (سال × آبیاری) بر روی کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه لوبیا

Fig. 1- Two-way interaction effect (year × irrigation) on the efficiency of remobilization of dry matter to the bean seed

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

جدول ۳- نتایج تجزیه همگنی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت (کای دو) در صفات کمّی و کیفی لوبیا

Table 3- The results of homogeneity analysis of variance of experimental errors using Bartlett's test (Chi-square) in quantitative and qualitative traits of bean

Chi-square	کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه The efficiency of remobilization of dry matter to the seed	سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه The share of seed yield from remobilization of plant dry matter	سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه The share of seed yield from plant current photosynthes	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی The capacity to accumulate photosynthetic materials	عملکرد دانه Seed yield
آزمون کای دو Chi-square test	0.17^{ns}	3.73^{ns}	0.26^{ns}	3.76^{ns}	0.075^{ns}

نتایج آزمون همگنی بارتلت که به‌صورت کای دو نشان داده شد. درجه آزادی محیط‌ها برای آزمون بارتلت برابر با یک بود که مقدار کای دو جدول در این درجه آزادی ۳/۸۴ می‌باشد.

The results of Bartlett's homogeneity test, which were shown as chi-square. The degree of freedom of environments for Bartlett's test was equal to one, and the chi-square value of table in this degree of freedom is 3.84.

جدول ۴- تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر صفات کمّی و کیفی لوبیا

Table4- Analysis of variance of experimental treatments on quantitative and qualitative traits of bean

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه The efficiency of remobilization of dry matter to the seed	سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه The share of seed yield from remobilization of plant dry matter
سال Year	1	12830.02**	3021.37**
تکرار (سال) Replication (year)	4	405.136	32.45
آبیاری Irrigation	1	5058.001*	656.85**
سال × آبیاری Year × irrigation	4	2670.709*	1.58ns
تکرار (سال × آبیاری) Replication (year × irrigation)	2	322.36	20.73
کود Fertilizer	1	92734.52**	2045.30**
رقم Cultivar	2	52340.68**	7355.03**
کود × رقم Fertilizer × cultivar	2	11121.76**	182.31**
آبیاری ×کود Irrigation × fertilizer	2	38.142ns	69.7ns
آبیاری × رقم Irrigation × cultivar	1	561.739ns	1.96ns
آبیاری ×کود ×رقم Irrigation × fertilizer × cultivar	2	293.405ns	8.52ns
سال ×کود Year × fertilizer	2	1527.052*	152.15**
سال × رقم Year × cultivar	1	53009.31**	3.53ns
سال × آبیاری × کود Year × irrigation × fertilizer	2	165.069 ns	11.79ns
سال × آبیاری × رقم Year × irrigation × cultivar	1	1.611ns	106.02*
سال × کود × رقم Year × fertilizer × cultivar	2	11020.85**	340.39**
سال × آبیاری × کود × رقم Year × irrigation × fertilizer × cultivar	2	335.313ns	25.37ns
خطای آزمایشی Error	40	242.718	23.18
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		4.97	3.61

ns و ** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار بودن و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and *: are respectively non-significant and significant at the probability level of 1% and %5

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس تیمارهای آزمایشی بر صفات کمّی و کیفی لوبیا

Table 4- Analysis of variance of experimental treatments on quantitative and qualitative traits of bean, Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه The share of seed yield from plant current photosynthes	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی The capacity to accumulate photosynthetic materials	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	878.238*	57496**	580.84**
تکرار (سال) Replication (year)	4	77.676	178	176.76
آبیاری Irrigation	1	7849.251**	24482**	248.57**
سال × آبیاری Year × irrigation	4	292.731ns	65ns	75.77ns
تکرار (سال × آبیاری) Replication (year × irrigation)	2	224.231	174	158.95
کود Fertilizer	1	20729.219**	118334**	1204.88**
رقم Cultivar	2	3660.228**	68743**	629.90**
کود × رقم Fertilizer × cultivar	2	24.168ns	6103**	525.62**
آبیاری × کود Irrigation × fertilizer	2	997.488**	857*	112.39**
آبیاری × رقم Irrigation × cultivar	1	152.665ns	1498**	97.69*
آبیاری × کود × رقم Irrigation × fertilizer × cultivar	2	155.264ns	22ns	1.71ns
سال × کود Year × fertilizer	2	691.904*	3160**	271.31**
سال × رقم Year × cultivar	1	520.257*	1168ns	62.23ns
سال × آبیاری × کود Year × irrigation × fertilizer	2	28.593ns	339ns	79.89ns
سال × آبیاری × رقم Year × irrigation × cultivar	1	319.110ns	10ns	63.51ns
سال × کود × رقم Year × fertilizer × cultivar	2	709.665*	59ns	87.02ns
سال × آبیاری ×کود × رقم Year × irrigation × fertilizer × cultivar	2	212.903ns	24ns	84.11ns
خطای آزمایشی Error	40	114.93	203.05	129.44
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		16.2	5.15	4.11

ns و ** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار بودن و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and *: are respectively non-significant and significant at the probability level of 1% and 5 %

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی لوبیا

Table 5- Correlation coefficients between the examined traits of bean

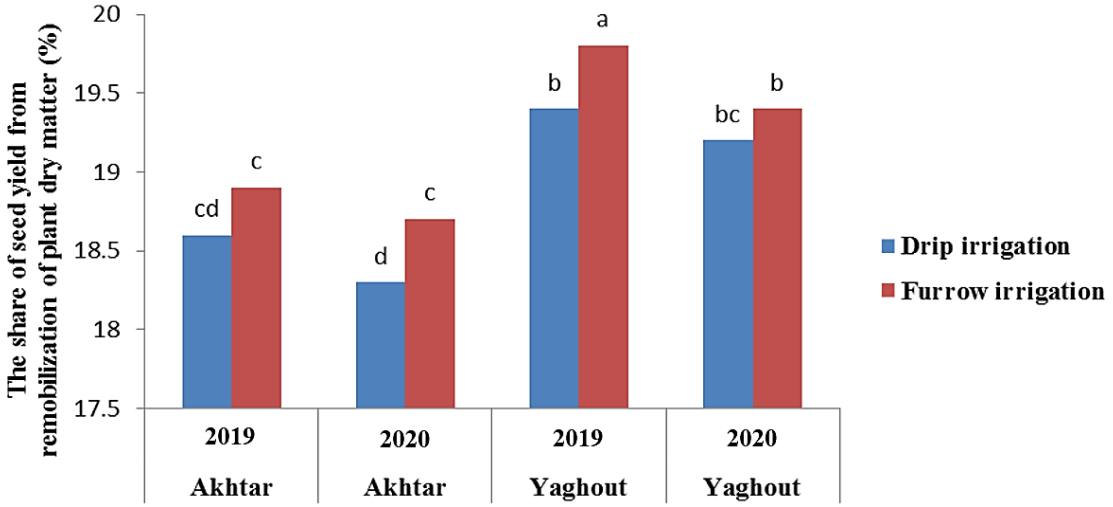
شماره Number	۱-کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه 1- The efficiency of remobilization of dry matter to the seed	۲- سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه 2- The share of seed yield from remobilization of plant dry matter	۳- سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری 3- The share of seed yield from current photosynthes	۴- ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی 4- The capacity to accumulate photosynthetic materials	۵- عملکرد دانه 5- Seed yield
1	1				
2	0.37**	1			
3	0.31**	0.77**	1		
4	0. 03ns	0.01ns	0.60**	1	
5	0.27*	0.28*	0.60**	0.99**	1

ns و ** و*: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار بودن و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, ** and *: are respectively non-significant and significant at the probability level of 1% and 5 %

سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه

انتقال مجدد ماده خشک به دانه و فتوسنتز جاری گیاه، دو جزء مهم عملکرد نهایی گیاه می‌باشند و بررسی نقش آن‌ها به‌عنوان اجزاء عملکرد دانه از اهداف این آزمایش می‌باشد. پس از تأیید آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال (جدول۳)، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تیمارهای سال، آبیاری، کود و رقم و اثرات متقابل دوگانه (کود × رقم) و (سال × کود) در سطح احتمال یک درصد بر صفت سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه معنی‌دار شدند (جدول ۴). اثرات متقابل سه‌گانه (سال × آبیاری × رقم) و (سال × کود × رقم) بر سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه به‌ترتیب در سطح احتمال پنج درصد و یک‌درصد معنی‌دار شدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (سال × آبیاری × رقم) بر صفت فوق نشان داد که بیش‌ترین سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه از رقم یاقوت و تحت آبیاری جوی و پشته‌ای در سال ۱۳۹۸ (۱۹/۸ درصد) بدست آمد. علاوه‌براین، در هر یک از دو روش آبیاری و در هر یک از دو سال آزمایش، رقم یاقوت برتری معنی‌داری از نظر این صفت در قیاس با رقم اختر داشت (شکل ۲). در سال اول، روند سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه در روش قطره‌ای نسبت به روش جوی و پشته‌ای در هر دو رقم یکسان بود و روند متفاوتی نداشتند. بنابراین، در صورت تفاوت معنی‌دار اثر ساده رقم، می‌توان یک رقم را برای هر دو سطح آبیاری انتخاب کرد. هم‌چنین، در سال دوم نیز روند مشابه بوده است. از آن جایی که رقم یاقوت در هر دو سال در دو شرایط آبیاری سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک به گیاه بالاتری داشت، رقم یاقوت انتخاب گردید (شکل ۲). هم‌چنین، بیش‌ترین سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه از رقم یاقوت و با کاربرد کود NPK در سال ۱۳۹۸ (۳۹/۶۹ درصد) و در سال ۱۳۹۹ (۳۴/۳ درصد) با اختلاف (۵/۳۹ درصد) به‌دست آمد (جدول ۶). در سال اول، روند سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه در رقم یاقوت نسبت به رقم اختر با کاربرد کود NPK نسبت به سایر تیمارهای کودی روند افزایشی داشته است. این صفت، در سال اول نسبت به سال دوم در هر دو رقم و با کاربرد کود NPK نسبت به سایر تیمارهای کودی روندی یکسان و افزایشی داشت (جدول ۶). حکم علیپور و سید شریفی (Hokmalipour & Seyed Sharifi, 2015) در تحقیق خود روی گندم بیان داشتند که سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک با کاربرد کودهای زیستی– شیمیایی کاهش یافت. هم‌چنین مجدم و همکاران (Majdam et al., 2009) دریافتند که با افزایش مصرف کود نیتروژن، سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک کاهش می‌یابد که با نتیجه آزمایش مطابقت داشتند. اما پورهادیان و همکاران (Pourhadian et al., 2022) در گزارش خود در مورد لوبیا قرمز اظهار داشتند که سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه تحت اثر تیمار کود زیستی- شیمیایی افزایش یافت. با توجه به نتایج همبستگی داده‌ها، سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار (۰/۲۸) داشت (جدول ۵).



شکل ۲- اثر متقابل سه‌گانه (سال × آبیاری × رقم) بر روی سهم عملکرد دانه لوبیا از انتقال مجدد ماده خشک گیاه

Fig. 2- Three-way interaction effect (year × irrigation × cultivar) on the share of bean seed yield from remobilization of plant dry matter

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using LSD test.

سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه

سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه نتیجه میزان انتقال مجدد ماده خشک به دانه و هم‌چنین، فتوسنتز جاری گیاه می‌باشد. پس از تأیید آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال (جدول۳)، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه تحت اثرات اصلی تیمارهای آبیاری، کود، رقم و سال و اثرات متقابل دوگانه (آبیاری × کود) و (رقم × سال) و اثر متقابل سه‌گانه (سال × کود × رقم) در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه (کود × سال) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (آبیاری × کود) بر سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه نشان داد که بیش‌ترین سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه در روش آبیاری قطره‌ای و با کاربرد تلفیق کود زیستی- شیمیایی به‌میزان (۶۸/۴ درصد) به‌دست آمد و کم‌ترین سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه در روش آبیاری جوی و پشته‌ای و با کاربرد کود NPK به‌میزان (۶۱/۲ درصد) و با اختلاف (۷/۲ درصد) به‌دست آمد. روند سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جوی و پشته‌ای در تیمارهای کودی به‌کار رفته یکسان و افزایشی بوده است. هم‌چنین روند این صفت با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن و کودهای NPK افزایشی بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه درهر دو روش آبیاری کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن نسبت به کاربرد کود NPK روند یکسان و افزایشی داشت (جدول ۷). می‌توان علت آن را احتمالاً افزایش کارایی مصرف آب در زمان کاربرد آبیاری قطره‌ای و بهره‌مندی گیاه از باکتری‌های محرک رشد موجود در کودهای زیستی به‌کار رفته فسفوزیست و نیتروزیست و هورمون‌های رشد مترشحه از آن‌ها نسبت به سایر تیمارهای کودی دانست که باعث بهبود رشد و فتوسنتز بیشتر گیاه و ایجاد تعادل در منبع و مخزن و در نتیجه، افزایش سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه گردیده است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه (سال × کود × رقم) بر سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه نشان داد که بیش‌ترین مقدار این صفت (۷۶/۶ درصد) در هر یک از دو سال آزمایش از رقم یاقوت و با استفاده از تلفیق کودهای زیستی- شیمیایی به‌دست آمد؛ به عبارتی، این رقم در هر دو سال آزمایش و در یک سطح کودی مشخص (تلفیق کودهای زیستی- شیمیایی) نسبت به سایر ترکیبات تیماری، از سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه بیش‌تری برخوردار بود و از نظر آماری، اختلافی در هر دو سال با هم نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۶) که می‌تواند به‌دلیل بالا بودن سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه در این رقم به‌جهت تخصیص بیشتر ماده خشک اندام‌های رویشی به مخزن اصلی زایشی (دانه) باشد که با نتایج انجام گرفته توسط لیموچی و همکاران (Limuchi et al., 2019) مطابقت داشت. طبق جدول ۵، هم‌چنین همبستگی این صفت

با کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه ۰/۳۱ بود که در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود و نشان داد که با افزایش کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه، سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه هم بیشتر شده بود. نتایج نشان داد که در هر دو سال سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه در رقم اختر نسبت به رقم یاقوت و با کاربرد کود NPK روند افزایشی داشت (جدول ۶). پورهادیان و همکاران (Pouradian et al., 2014) گزارش کردند که ارقام لوبیا قرمز از نظر فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی با هم تفاوت دارند و این موضوع موجب تفاوت در مقدار صفات زایشی ارقام می‌گردد. به نظر می‌رسد که هر چند انتقال مجدد مواد فتوسنتزی یک جزء مهم در عملکرد دانه می‌باشد، ولی میزان فتوسنتزی که در طول پر شدن دانه‌ها انجام می‌شود؛ معمولاً مهم‌ترین منبع تشکیل‌دهنده وزن دانه و عملکرد دانه می‌باشد. علت این امر آن است که اغلب مواد فتوسنتزی قبل از پر شدن دانه در رشد رویشی یا گل‌دهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، درحالی‌که در طول پر شدن دانه اغلب مواد فتوسنتزی به فرایند پر شدن دانه اختصاص می‌یابد (Sajedi et al., 2012). عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و بالایی با سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه (۰/۶۰**) بود (جدول ۵).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک لوبیا تحت تأثیر متقابل سه‌گانه (سال × کود × رقم)

Table 6- Comparing the means of the physiological traits of bean under Three-way interaction effect (year × fertilizer × cultivar)

سال Year	کود Fertilizer	رقم Cultivar	کارایی انتقال مجدد ماده خشک به دانه (درصد) The efficiency of remobilization of dry matter to the seed (%)	سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه (درصد) The share of seed yield from remobilization of plant dry matter (%)	سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه (درصد) The share of seed yield from current photosynthes of the plant (%)
2019	نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	اختر Akhtar	19[b*]	34.2[b]	65.8[d]
	نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	یاقوت Yaghout	22[a]	39.6[a]	60.4[e]
	کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	اختر Akhtar	10[f]	26.6[cd]	73.4[b]
	کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	یاقوت Yaghout	12[e]	23.4[d]	76.6[a]
	نیتروژن- نیتروژن N-N	اختر Akhtar	17[c]	26.7[cd]	73.7[b]
	نیتروژن- نیتروژن N-N	یاقوت Yaghout	14[d]	26.5[cd]	73.5[b]
2020	نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	اختر Akhtar	14[d]	29.3[C]	65.7[d]
	ا نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	یاقوت Yaghout	17[c]	34.3[b]	60.4[e]
	کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	اختر Akhtar	9[fg]	26.9[cd]	73.1[b]
	کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	یاقوت Yaghout	10[f]	23.4[d]	76.6[a]
	نیتروژن- نیتروژن N-N	اختر Akhtar	11[ef]	26.3[cd]	73.7[b]
	نیتروژن- نیتروژن N-N	یاقوت Yaghout	12[e]	26.9[cd]	73.1[b]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی

پس از تأیید آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال (جدول ۳)، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی تحت اثرات اصلی تیمارهای سال، رقم، آبیاری و کود و اثرات متقابل دوگانه (رقم × آبیاری)، (کود × رقم) و (سال ×کود) در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه (کود × آبیاری) و (سال × رقم) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه (کود × آبیاری) بر ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در زمان کاربرد آبیاری قطره‌ای و استفاده از تلفیق کود زیستی- شیمیایی به‌میزان (۳۲۸/۴ میلی‌گرم) و کم‌ترین ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در زمان کاربرد آبیاری جوی و پشته‌ای و استفاده از کود NPK (۲۲۵/۱ میلی‌گرم) و با اختلاف (۱۰۳ /۳ میلی‌گرم) به‌دست آمد. روند ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در روش آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جوی و پشته‌ای در تیمارهای کودی به‌کار رفته یکسان و افزایشی بوده است. هم‌چنین، روند این صفت با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن و کودهای NPK در هر دو روش آبیاری افزایشی بوده است. نتایج نشان داد که ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی با کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن نسبت به کاربرد کود NPK در هر دو روش آبیاری روند یکسان و افزایشی داشت (جدول ۷). دلیل آن را می‌توان این گونه بیان کرد که استفاده از کودهای زیستی- شیمیایی و آبیاری قطره‌ای باعث افزایش طول دوره رشد رویشی گیاه و در نتیجه، اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه‌ها و افزایش ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی بالاتری گردیده است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (رقم × آبیاری) بر ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی نشان داد که بیش‌ترین میزان آن در رقم یاقوت و با آبیاری قطره‌ای (۳۳۰/۵۸۴ میلی‌گرم) بوده و کم‌ترین میزان آن در رقم اختر و با آبیاری جوی و پشته‌ای (۲۳۱/۹۰۷ میلی‌گرم) و با اختلاف (۹۸/۶۷۷ میلی‌گرم) به‌دست آمد. رقم اختر و رقم یاقوت در شیوه آبیاری تحت فشار قطره‌ای، ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی بیش‌تری نسبت به آبیاری جوی و پشته‌ای از خود نشان دادند. هم‌چنین، ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در رقم یاقوت نسبت به رقم اختر روند یکسان و افزایشی داشت (جدول ۸). بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با توجه به اینکه پارامتر فیزیولوژیکی ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی با عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۹۹**) را در این آزمایش داشت (جدول ۵)، با افزایش ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در اثر کاربرد آبیاری نوین قطره‌ای، عملکرد دانه نیز افزایش معنی‌داری پیدا خواهد کرد. لیموچی و همکاران (Limuchi et al., 2020) در آزمایش‌های خود بیان کردند که در گیاه برنج تمام ژنوتیپ‌ها در دور آبیاری سه روزه نسبت به هفت روزه دارای توانایی فتوسنتزی بیشتر و استفاده بهینه با راندمان مصرف آب بالا گردیده و به‌دلیل افزایش طول دوره رشد و هم‌چنین تخصیص بیشتر کربوهیدرات‌ها و مواد معدنی انتقال یافته به مخزن اصلی و در نهایت، افزایش فعالیت مخزن و ظرفیت تجمع ماده خشک دانه باعث افزایش عملکرد شدند که این نتایج با آزمایش انجام شده و دیگر بررسی‌های دوراند و همکاران (Durand et al., 2016) و موحد زین و رازی اسماعیلی (Mohd-Zain & Razi-Ismail, 2016) مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (کود × رقم) بر ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی نشان داد که از رقم یاقوت و با کاربرد کود زیستی- شیمیایی بیش‌ترین میزان ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (۳۳۵۶/۷ میلی‌گرم) به‌دست آمد و کم‌ترین ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی از رقم اختر و با کاربرد کود NPK (۱۸۷۰/۲میلی‌گرم) حاصل شد. ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در رقم یاقوت نسبت به رقم اختر روند افزایشی داشته است و هم‌چنین، روند ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در هر دو رقم با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن و کود NPK روند افزایشی داشت. هم‌چنین، روند این صفت در هر دو رقم با کاربرد کود نیتروژن- نیتروژن نسبت به کود NPK یکسان و افزایشی بود (جدول ۹). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (سال × کود) بر ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی با کاربرد کود زیستی- شیمیایی و در سال ۱۳۹۸ (۲۰۷/۶ میلی‌گرم) بود و کم‌ترین ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی با کاربرد کود NPK و در سال ۱۳۹۹ (۱۹۸/۷میلی‌گرم) به‌دست آمد. در سال اول، ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به سایر تیمارهای کودی روند یکسان و افزایشی داشته است و کودهای نیتروژن- نیتروژن نسبت به کودهای NPK نیز روند افزایشی داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سال اول نسبت به سال دوم، روند در این صفت افزایشی بود (جدول ۱۰). دلیل افزایش ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی در سال ۱۳۹۸ را می‌توان شرایط دمایی و درجه روز رشد متفاوت در طی دو سال زراعی مورد آزمایش دانست (جدول ۲).

عملکرد دانه

پس از تأیید آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در دو سال (جدول۳)، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اثرات اصلی تیمارهای آبیاری، کود، سال و رقم هر یک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه لوبیا معنی‌دار شدند (جدول ۴). اثرات متقابل دوگانه (کود × رقم)، (سال × کود) و (آبیاری × کود) در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل دوگانه (آبیاری × رقم) بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شدند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (کود × رقم) بر عملکرد دانه نشان داد که از رقم یاقوت و با کاربرد کود زیستی- شیمیایی بیش‌ترین میزان عملکرد دانه (۳۷۷/۷۶ گرم بر مترمربع) به‌دست آمد و کم‌ترین عملکرد دانه از رقم اختر و با کاربرد کود NPK (۱۸۷/۴۴گرم بر مترمربع) و با اختلاف (۱۹۰/۳۲گرم بر مترمربع) حاصل شد. روند عملکرد دانه در رقم یاقوت نسبت به رقم اختر یکسان و افزایشی بود. هم‌چنین این صفت با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به سایر تیمارهای کودی روند افزایشی داشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که روند این صفت در کاربرد تیمار کودی نیتروژن- نیتروژن نسبت به کود NPK افزایشی بود (جدول ۹). دلیل این اختلاف (۱۹۰/۳۲ گرم بر مترمربع) را این گونه می‌توان توجیه کرد که با کاربرد NPK میزان تلفات این کودهای شیمیایی (به ویژه نیتروژن) و (مخصوصاً در شرایط آبیاری سنتی جوی و پشته) در مقایسه با کاربرد کودهای زیستی- شیمیایی، بیشتر بوده و احتمالاً کارایی مصرف کود هم کمتر شده که در نهایت، منجر به کاهش عملکرد دانه شده است. در ضمن، دلیل دیگر را می‌توان در این دانست که در مقایسه دو تیمار کودی (NPK و ترکیب زیستی- شیمیایی) مقدار مصرف نیتروژن در تیمار زیستی- شیمیایی بیشتر بوده و نیز از طرفی، اثر تکمیلی شیمیایی‌ها با زیستی- ها، منجر به عملکرد بیشتر گردیده است. هم‌چنین نامحدود بودن رشد رقم یاقوت و دارا بودن پتانسیل ژنتیکی بالاتر جهت تولید غلاف که در حقیقت مخازن مهمی برای مواد فتوسنتزی می‌باشد، نسبت به رقم اختر باعث افزایش عملکرد دانه بالاتر گردیده است که با نتایج خاوری و شاکرمی (Khavari & Shakarami, 2019) مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (سال × کود) بر عملکرد دانه نشان داد که بیش- ترین عملکرد دانه با کاربرد کود زیستی- شیمیایی و در سال ۱۳۹۸ (۳۶۸/۴۲ گرم بر مترمربع) بود و کم‌ترین عملکرد دانه با کاربرد کود NPK و در سال ۱۳۹۹ (۱۸۲/۳۳ گرم بر مترمربع) با اختلاف (۱۸۶/۰۹ گرم بر مترمربع) به‌دست آمد. روند عملکرد دانه با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به سایر تیمارهای کودی در هر دو سال افزایشی بوده است. نتایج نشان داد که روند این صفت در سال اول نسبت به سال دوم نیز افزایشی بوده است (جدول۱۰). می‌توان علت آن را شرایط محیطی متفاوت در طی دو سال مورد آزمایش دانست. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (آبیاری × کود) بر عملکرد دانه نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد کود زیستی- شیمیایی و با آبیاری قطره‌ای (۳۶۴/۱۷ گرم بر مترمربع) بود و کم‌ترین عملکرد دانه با کاربرد کود NPK و با آبیاری جوی و پشته‌ای (۱۸۸/۳۵گرم بر مترمربع) و با اختلاف (۱۷۵/۸۲گرم بر مترمربع) به‌دست آمد. روند عملکرد دانه در آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جوی و پشته‌ای افزایشی بوده است. روند این صفت با کاربرد کود زیستی- شیمیایی نسبت به سایر تیمارهای کودی نیز افزایشی بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که روند عملکرد دانه با کاربرد کود زیستی- شیمیایی در هر دو روش آبیاری افزایشی بود (جدول ۷). طی تحقیقات پاسبان و همکاران (Pasban et al., 2014) بر روی عملکرد کمّی و کیفی لوبیا روغنی گزارش دادند که کاربرد کودهای آلی موجب افزایش بیشتر عملکرد دانه لوبیا روغنی گردید که با آزمایش انجام‌گرفته مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دوگانه (آبیاری × رقم) بر عملکرد دانه نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه متعلق به رقم یاقوت و با آبیاری قطره‌ای (۳۲۸/۲۳ گرم بر مترمربع) و کم‌ترین عملکرد دانه از رقم اختر و با آبیاری جوی و پشته‌ای (۲۳۱/۹۲ گرم بر مترمربع) و با اختلاف (۹۶/۳۱ گرم بر مترمربع) به‌دست آمد. روند عملکرد دانه در آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جوی و پشته‌ای در دو رقم یکسان بود و روند متفاوتی نداشتند. هم‌چنین، در هر دو روش آبیاری رقم یاقوت نسبت به رقم اختر روند افزایشی داشت (جدول ۸). می‌توان علت آن را کاهش میزان هدررفت آب مصرفی در زمان کاربرد آبیاری قطره‌ای و در نتیجه، نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت این صفت در ارقام مختلف به شیوه آبیاری دانست. طی تحقیقات قدمی فیروزآبادی و باغانی (Ghadami Firouzabadi & Baghani, 2019) در کشت گندم، گزارش دادند که عملکرد دانه در سیستم آبیاری قطره‌ای در کشت گندم بیشتر از سیستم آبیاری جوی و پشته‌ای بوده است؛ که با این آزمایش مطابقت داشت. عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را به‌ترتیب با ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی، سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری و کم‌ترین همبستگی را با سهم عملکرد دانه از انتقال مجدد ماده خشک گیاه و کارایی انتقال مجدد ماده خشک گیاه داشت (جدول ۵). این نتایج بیانگر این بود که از بین دو مؤلفه میزان انتقال مجدد ماده خشک گیاه و فتوسنتز جاری گیاه، مؤلفه

فتوسنتز جاری گیاه نقش بسیار قوی‌تری در پر شدن دانه‌ها و در نهایت، عملکرد نهایی (وزن دانه‌ها در واحد سطح مزرعه) داشته که با نتایج سایر محققین پیشین در این مورد کاملاً مطابقت داشت. هم‌چنین، همبستگی بین متغیرها نشان داد که ظرفیت بالای پذیرش مواد آسیمیلات در مخزن‌ها یا دانه‌ها مهم‌ترین عامل در افزایش عملکرد دانه در واحد سطح بوده است (جدول ۵).

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه لوبیا تحت تأثیر کود و شیوه آبیاری

Table 7- Comparing the means of the characteristics of physiologic and bean seed yield under the influence of fertilizer and irrigation method

کود Fertilizer	آبیاری Irrigation	سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه (درصد) The share of seed yield from current photosynthes of the plant (%)	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (میلی‌گرم) The capacity to accumulate photosynthetic materials (mg)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	قطره‌ای Drip	61.8^{e*}	226.05^{e}	211.5^{d}
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	جوی و پشته‌ای Furrow	61.2^{f}	225.1^{f}	188.35^{e}
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	قطره‌ای Drip	68.4^{a}	328.4^{a}	364.17^{a}
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	جوی و پشته‌ای Furrow	65.9^{c}	322.7^{b}	315.16^{b}
نیتروژن- نیتروژن N-N	قطره‌ای Drip	67.3^{b}	321.09^{c}	309.86^{b}
نیتروژن- نیتروژن N-N	جوی و پشته‌ای Furrow	64.6^{d}	320.5^{d}	270.54^{c}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه لوبیا تحت تأثیر رقم و شیوه آبیاری

Table 8- Comparing the means of the characteristics of the capacity to accumulate photosynthetic materials and bean seed yield the influence of cultivar and irrigation method

رقم Cultivar	آبیاری Irrigation	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (میلی‌گرم) The capacity to accumulate photosynthetic materials (mg)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)
اختر Akhtar	قطره‌ای Drip	259.663^{c*}	262.12^{c}
یاقوت Yaghout	قطره‌ای Drip	330.584^{a}	328.23^{a}
اختر Akhtar	جوی و پشته‌ای Furrow	231.907^{d}	231.92^{d}
یاقوت Yaghout	جوی و پشته‌ای Furrow	284.582^{b}	284.11^{b}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

جدول ۹- مقایسه میانگین صفات ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه لوبیا تحت تأثیر کود و رقم

Table 9- Comparing the means of the characteristics of the capacity photosynthetic materials and bean seed yield under the influence of fertilizer and cultivar

کود Fertilizer	رقم Cultivar	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (میلی‌گرم) The capacity to accumulate photosynthetic materials (mg)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	اختر Akhtar	1870.2[f*]	187.44[f]
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	یاقوت Yaghout	1901.02[e]	212.42[e]
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	اختر Akhtar	3320.6[b]	301.57[c]
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	یاقوت Yaghout	3356.7[a]	377.76[a]
نیتروژن- نیتروژن N-N	اختر Akhtar	3310.9[d]	252.05[d]
نیتروژن- نیتروژن N-N	یاقوت Yaghout	3314.2[c]	328.34[b]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

جدول ۱۰- مقایسه میانگین صفات ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی و عملکرد دانه لوبیا تحت تأثیر کود و سال

Table 10- Comparing the means of the characteristics of the capacity to accumulate photosynthetic materials and bean seed yield under the influence of fertilizer and year

کود Fertilizer	سال Year	ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی (میلی‌گرم) The capacity to accumulate photosynthetic materials (mg)	عملکرد دانه (گرم بر مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	2019	200/01[e*]	217.53[e]
نیتروژن- فسفر- پتاس NPK	2020	198/7[f]	182.33[f]
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	2019	207.6[a]	368.42[a]
کود زیستی– شیمیایی Bio-chemical fertilizer	2020	205.7[c]	310.91[c]
نیتروژن- نیتروژن N-N	2019	206.7[b]	329.05b
نیتروژن- نیتروژن N-N	2020	204.5[d]	251.34[d]

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different when using the LSD test.

نتیجه‌گیری

ضریب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه با سهم عملکرد دانه از فتوسنتز جاری گیاه و ظرفیت تجمع مواد فتوسنتزی بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را داشت. به عبارتی، نتایج دو ساله این آزمایش نشان داد که عملکرد دانه عمده نتیجه نهایی اجزای فیزیولوژیک خود یعنی فتوسنتز جاری گیاه و ظرفیت تجمع مواد در دانه‌ها (مخزن‌ها) می‌باشد. با توجه به مشکلات وقوع خشکسالی‌های مستمر و افت شدید آب‌های زیر زمینی و گران قیمت بودن کودهای شیمیایی در سال‌های اخیر و ایجاد اثرات مخرب آن‌ها بر خاک‌های کشاورزی و نیز وجود تنوع ژنوتیپی لوبیا قرمز، می‌توان با کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از ترکیب کودهای زیستی- شیمیایی و شیوه آبیاری قطره‌ای (جایگزین کردن آن با شیوه آبیاری سنتی جوی و پشته) و استفاده از ارقام اصلاح شده لوبیا قرمز، با تقویت این اجزای فیزیولوژیک، عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید.

References

Abalos, D., Sanchez-Martin, L., Garcia-Torres, L., Van Groenigen, J.W., & Vallejo, A. (2014). Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and No emissions from drip-fertigation crops. *The Science of the Total Environment, 490*, 880-888. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.065

Bahrani, A., Heideri Sharif Abad, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Moafporian, G., & Ayenehband, A. (2009). Wheat (*Triticum astivum* L.) response to nitrogen and post-anthesis water deficit. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 6*(2), 231-239.

Barlog, P., & Grzebisz, W. (2004). Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oil seed rape (*Brassica napus* L.) I. growth dynamics and seed yield. *Journal of Agronomy and Crop Science, 190*, 305-313. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00109.x

Darabi, F., Sharifipour, M., & Nasrolahi, A.H. (2022). Effect of deficit irrigation on yield components and water productivity of pinto beans using drip tape irrigation in Khorramabad climatic. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering, 44*(4), 1-14. https://doi.org/10.22055/jise.2020.31391.1885

Dashtaki, M., AliPour Yamchi, H.M., & Bihamta, M.R. (2015). Evaluation of the effects of late season water stress on genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Pulses Research, 6*(2), 109-122. (In Persian with English Abstract)

Durand, M., Porcheron, B., Hennion, N., Maurousset, L., Lemoine, R., & pourtau, N. (2016). Water deficit enhances C export to the roots in *Arabidopsis thaliana* plants with contribution of sucrose transporters in both shoot and roots. *Journal of Plant Physiology, 170*(1), 1460-1479. https://doi.org/10.1104/pp.15.01926

Dursun, A. (2007). Variability, heritability and correlation studies in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *World Journal of Agricultural Sciences, 3*(1), 12-16.

Farid, M., Hugh, J.E., & Navabi, A. (2016). Yield stability of dry bean genotypes across nitrogen-fixation-dependent and fertilizer-dependent management systems. *Journal of Crop Science, 56*(1), 173-182. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.06.0343

Gardenas, A.I., Hopmans, J.W., Hanson, B.R., & Simunek, J. (2005). Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Jornal of Agricultural Water Management, 74*(3), 219-242. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.011

Ghadami Firouzabadi, A., & Baghani, J. (2019). Effects of different wheat planting patterns in drip tape irrigation on yield and water productivity of bread wheat in Hamedan. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13*(2), 528-539. (In Persian)

Hokmalipour, S., & Seyed Sharifi, R. (2015). Effect of seed inoculation with plant growth promoting *Rhizobacteria* on dry matter remobilization of spring barley at different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Jornal of Soil Research, 29*(4), 126-407. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijsr.2015.105901.

Kavian Athar, N., & Aboutalebian, M.A. (2020). Quantitative and qualitative reaction of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to phosphorous and zinc sulfate application method under different rates of nitrogen starter fertilize. *Iranian Journal of Field Crop Science, 51*(3), 17-32. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22059/ijfcs.2019.249549.654430

Khavari, H., Khorgamy, A., Mir Drikvand, R., & Taleshi, K. (2023). The compression effect of nutrition and chemicals agricultural poisons management on grows and grain yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in farm conditions. *Iranian Journal of Pulses Research, 14*(1), 75-91. (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v14i1.2208-1044

Khavari, H., & Shakarami, G. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal and *Azotobacter chroococcum* on growth and yield of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientific Research Journal of Plant Ecophysiology, 38*(11), 119-131. (In Persian with English Abstract).

Limuchi, K., Yarnia, M., Siadat, A., Rashidi V., & Gyalani, A. (2019). Evaluation of the effect of current assimilation on aerobic rice grain yield under different irrigation intervals in the northern region of Khuzestan. *Journal of Water Research in Agriculture, 33*(1), 67-79. https://doi.org/10.22092/jwra.2019.119115

Majdam, M., Naderi, A., Nourmohammadi, K., Siadat, S.A., & Adineband, A. (2009). Effect of water deficit stress and nitrogen management on grain yield, dry matter remobilization and current photosynthesis of corn in climate conditions in Khuzestan (Ramin). *Journal Crop Physiology, 1*(1), 86-95. (In Persian).

Maleki, N., Shakeri Bostanabad, R., Salehi Komroudi, M., & Seyedabadi, S. (2021). Investigating the status of the combined water security index of Iranian provinces in the period of 2012-2017: Application of multi- criteria analysis methods. *Journal of Water and Sustainable Development, 8*(2), 21-32.

Mansour Ghanaei Pashaki, K., Mohsenabadi, G., Majidian, M., & Fallah Nosratabad, A.R. (2017). Effect of application of nitrogen, phosphorus and organic fertilizers on yield and yield components of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Lahijan, Northern Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(22), 47-60. (In Persian). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.22.47.

Mehrpouyan, M., Farboodi, M., Ajali, J., Davoodi, F., & Jafari, A. (2013). Effect of different irrigation and planting methods on water use efficiency and some seed yield characteristics in three pinto common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agroecology Journal*, *9*(3), 73-83. (In Persian)

Mohd Zain, N.A., & Razi-Ismail, M. (2016). Effects of potassium rates and types on growth, leaf gas exchange and biochemical changes in rice *(Oryza sativa)* planted under cyclic water stress. *Agricultural Water Management Journal*, *164*(1), 83-90. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.022

Mondani, F., & Jalilian, A. (2019). Evaluation of the interaction between sowing date and cultivar on different tTraits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Kermanshah climate conditions. *Plant Production Technology*, *19*(1), 37-51. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22084/ppt.2018.9470.1533

Pasban, F., Balochi, H., Yadavi, A., Salehi, A., & Attarzadeh, M. (2015). The role of organic and biological fertilizers in qualitative and quantitative yield of soybean (*Glycine max* L.) cv. Williams. *Journal of Science of Agriculture and Sustainable Production*, *25*(3), 137-149. (In Persian with English Abstract)

Pourhadian, H., Kazem Aslani, H., Hadavand, N., & Khalili, M. (2014). Comparison of different varieties of red beans in terms of vegetative, reproductive and physiological traits in spring cultivation of Azna city. Final Report of the Research Project. Payam Noor university. Lorestan Province, Iran. 56p. (In Persian)

Pouradian, H., Hadavand, N., Khalili, M., & Kazem Aslani, H. (2022). Evaluation of growth indices, yield, and yield components of red bean cultivars in cold climatic conditions. *Iranian Journal of Plant Production and Genetics*, *3*(1), 133-146. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.34785/J020.2022.120

Rendon-Anaya, M., Herrera-Estrella, A., Gepts, P., & Delgado-Salinas, A. (2017). A new species of *Phaseolus* (Leguminosae, Papilionoidea) sister to *Phaseolus vulgaris*, the common bean. *Journal of Phytotaxa*, *313*(3), 259-266. https://doi.org/10.11646/phytotaxa.313.3.3

Rose, D.C., Sutherland, W.J., Barnes, A.P., Borthwick, F., Foulkes, C., Hall, C., Moorby, J.M., Nicholas-Davies, P., Twining S., & Dicks. L.V. (2019). Integrated farm management for sustainable agriculture: Lessons for knowledge exchange and policy. *Jornal of Land Use Policy*, *81*, 834-842. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.001

Saberi, H., Mosenabadi, Gh., Majidian, M., & Ehteshami, S.M. (2015). Integrated application of biological and chemical fertilizers on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Rasht climate conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *6*(1), 21-31. (In Persian with English Abstract).

Sajedi, N.A., Madani, H., Habibi, D., & Pazoki, A. (2012). Investigating the effect of selenium and salicylic acid on remobilization, current photosynthesis and seed yield of wheat cultivars under dry conditions. *Journal of Crop Production under Environmental Stress Conditions*, *4*(1), 1-14. (In Persian with English Abstract).

Sarikhani, M.R., Oustan, S., Ebrahimi, M., & Asghar zadeh, N.A. (2018). Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. *European Journal of Soil Science*, *69*(6), 1078-1086. https://doi.org/10.1111/ejss.12708

Soheili Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., & Alizadeh, B. (2020). Evaluation of yield and yield components of some pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under late season water deficit conditions. *Journal of Agroecology*, *11*(4), 1275-1291. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.72028

Tabatabaei, S.S., Jahan, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2020). The Effect of biological and nitrogen chemical fertilizers on yield and yield component of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under water stress conditions. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(1), 145-154. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2019.1807.1434

Yonts, C.D., Haghverdi, A., Reichert, D.L., & Irmak, S. (2018). Deficit irrigation and surface residue cover effects on dry bean yield, in-season soil water content and irrigation water use efficiency in western Nebraska high plains. *Agricultural Water Management*, *199*, 138-147. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.024

Zaidi, A., Khan, M.S., Saif, S., Rizvi, A.B., & Shahid, M. (2017). Role of nitrogen-fixing plant growth-promoting *Rhizobacteria* in sustainable production of vegetables: Current perspective. In Microbial Strategies for Vegetable Production. Springer International Publishing. pp. 49-79. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54401-4_3.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 179-195
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۹۵-۱۷۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84854.1069

The Effect of Waterlogging at the Vegetative Stage on Shoot and Root Growth of Chickpea Cultivars (*Cicer arietinum* L.)

Leila Siahkamary[1], Mohammad Eghbal Ghobadi[2*], Mokhtar Ghobadi[2], Saeid Jalali Honarmand[2]

Received: 20-10-2023
Revised: 22-01-2024
Accepted: 22-07-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Siahkamary, L., Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., & Jalali Honarmand, S. (2024). The effect of waterlogging at the vegetative stage on shoot and root growth of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 179-195. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84854.1069

Introduction
Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a plant from the legume family, which is usually cultivated under rainfed conditions. This crop is mostly cultivated in late winter or early spring. In these conditions, there is a high probability of heavy rains (short or long term) and there is a possibility of waterlogging in early spring and during the early growing stages of chickpea. In waterlogged conditions, due to the lack or absence of oxygen in the plant roots occur anaerobic conditions and greatly reduced the amount of energy production in the roots. In this case, the root does not have the necessary energy to transport materials from the cell membrane, and plants face ionic stress, reduced hydraulic conductivity, and reduced water absorption. Reduced and disrupted root growth leads to diminished shoot growth, impaired water and nutrient absorption, and ultimately lower grain yield. In general, the extent of damage caused by oxygen deficiency depends on the plant species, variety, growth stage, soil type, and environmental conditions. Therefore, the purpose of this experiment was to investigate the effects of waterlogging on chickpea cultivars (Desi and Kabuli), physiological characteristics, root growth and yield.

Materials and Methods
This experiment was carried out as factorial based on completely randomized design (CRD) in three replications in the research farm via pot of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran in 2013-2014. Factors included chickpea cultivars ILC482 and Azad (from Kabuli type) and Kaka and Pirooz (from Desi type) and duration of waterlogging including no waterlogging (control), 4, 8 and 12 days at 30 days after planting (vegetative stage). Physiological traits (relative water content, membrane stability and pigments) as well as total root length, root dry weight, number of nodes, main root length and root volume in a destructive way in the pod setting stage, as well as in the ripening stage, root traits, remobilization, relative water content, membrane stability, pigments, seed protein, biological yield, seed yield, 100-seed weight and plant height were investigated. Planting was done in the first year on March 11, 2013 and in the second year on March 15, 2014. The size of plastic pots was 30 x 30 cm. 30 days after planting were applied treatments. Compound analysis of data was done with SAS software and means comparisons were performed using the least significant difference (LSD) at the 5% level.

Results and Discussion
The results of compound analysis showed that there were significant differences between the two years in seed yield and the number of seeds per plant. In the second year, the seed yield and the number of seeds per plant compared to the first year increased by 16.9% and 12.1%, respectively. In the second year, the ambient temperature was lower. At a lower temperature, the waterlogging damage is more severe to plants. The total dry matter yield of chickpea cultivars in waterlogged conditions was significantly different and Kaka, Pirooz, ILC482 and Azad cultivars were 4.42, 3.19, 2.99 and 2.54 g.plant^{-1}, respectively. The highest damage to seed yield in waterlogging in 12 days was related to Azad variety (71% compared to the control). In waterlogged conditions, the seed yield was in Kaka (1.51 g.plant^{-1}), Pirooz (1.16 g.plant^{-1}), ILC482 (0.95 g.plant^{-1}) and Azad (0.97 g.plant^{-1}). There was a significant difference between Kabuli type and Desi type, however, grain yield in Desi type was 28.3% higher than Kabuli type. In the pod setting stage, the Pirooz cultivar in the control treatment had the highest total root length with 7741 cm (in the first year) and 7432 cm (in

1 and 2- M.Sc. and Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
* Corresponding Author: e.ghobadi@razi.ac.ir

the second year), but the lowest was in the second year at the Kaka cultivar and 12 days with 440 cm. In general, with the increase of the duration of flooding in chickpea cultivars, the total root length decreased significantly and between 4 days, 48.4 to 60.4 percent, 8 days to 8.8 to 70.8 percent, and 1.12 days from 81 to 89.4 percent. In all treatments, the control treatment (without waterlogging) had the highest chlorophyll a, and the amount of chlorophyll a decreased in other treatments. However, no reduction was observed in Pirooz in 4, 8 and 12-day treatment. Chlorophyll b had a different response to waterlogging levels and cultivar. Chlorophyll b was the highest in ILC482 in control treatment, while in Azad, Kaka and Pirooz treatments, chlorophyll b increased with increasing duration of waterlogging. Pigment carotenoids in ILC482 and Azad significantly decreased with increasing duration of waterlogging, but it was not significant in Kaka and Pirooz cultivars. Overall, carotenoids were less fluctuating in the desi type.

Conclusions

Waterlogging in the vegetative stage even for 4 days with a decreasing effect on total root length, number of nitrogen fixing nodes, plant height, total dry matter, chlorophyll and carotenoids content, membrane stability index, relative leaf water content, biological yield, seed protein, the number of seeds per plant and the weight of 100 seeds and finally caused a decrease in seed yield. Among the components of seed yield, the amount of damage was higher on the number of seeds per plant. In general, the seed yield of ILC482 and Azad (Kabuli type) was lower than that of Kaka and Pirooz (Desi type). In the second year, due to the lower air temperature compared to the first year, the damage to the total root length and total dry matter decreased. This experiment provides valuable results on the response mechanisms of chickpea to waterlogging stress and can help develop strategies to improve its performance in waterlogged environments, which are expected to waterlogging increase due to climate change. However, more research is needed to investigate the response of different chickpea species to short-term and long-term waterlogging conditions.

Keywords: Photosynthetic pigments, Leaf relative water content, Remobilization, Total root length

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 179-195
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۹۵-۱۷۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84854.1069

اثر مانداب در مرحله رویشی بر اندام هوایی و رشد ریشه ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.)

لیلا سیاه‌کمری[1]، محمداقبال قبادی[2*]، مختار قبادی[2]، سعید جلالی‌هنرمند[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

چکیده

رشد رویشی گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) در بهار همزمان با بارندگی‌های شدید (کوتاه‌مدت یا بلندمدت) است. در این شرایط ممکن است که مانداب رخ داده و ریشه‌های گیاه با کمبود اکسیژن مواجه شوند. درک رشد و واکنش‌های فیزیولوژیکی ارقام نخود به مدت‌های مانداب برای توسعه استراتژی‌هایی برای بهبود عملکرد محصول در محیط‌های پرآب بسیار مهم است. برای این منظور، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی به‌مدت دو سال روی ارقام نخود ILC482 و آزاد (تیپ کابلی)، کاکا و پیروز (تیپ دسی) و در مدت‌های شامل شاهد، ۴، ۸ و ۱۲ روز مانداب در ۳۰ روز پس از کاشت انجام گرفت. نتایج نشان داد که در سال دوم، وزن خشک کل و طول کل ریشه نسبت به سال اول افزایش معنی‌داری داشتند. عملکرد دانه ارقام ILC482 و آزاد کمتر از ارقام کاکا و پیروز بود. تمامی صفات با افزایش مدت مانداب به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. میزان تلفات در تنش ماندابی ۱۲ روزه در مقایسه با شاهد برای عملکرد بیولوژیک ۳۰ درصد، وزن ۱۰۰ دانه ۳۸ درصد، طول کل ریشه ۱۴/۲ درصد، وزن خشک ریشه ۳۸/۸ درصد، حجم ریشه ۲۰/۶ درصد و تعداد گره ۳۲/۸ درصد بودند. همچنین شاخص پایداری غشاء، کلروفیل a، b، کاروتنوئیدها، محتوای آب نسبی برگ، انتقال مجدد هیدرات کربن از ساقه به دانه و پروتئین دانه کاهش داشت. در کل، اگرچه ارقام تیپ دسی نسبت به نوع کابلی در برابر شرایط ماندابی مقاوم‌تر بودند، ولی حتی دوره مانداب چهار روزه خسارت معنی‌داری به رشد ریشه و شاخساره به ارقام نخود وارد کرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، طول کل ریشه، محتوای آب نسبی برگ

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) گیاهی از خانواده حبوبات است که معمولاً به‌صورت دیم کشت می‌گردد. این محصول به‌دلیل هزینه بالای کنترل علف‌های هرز در کشت پاییزه، بیشتر در اواخر زمستان و یا اوایل بهار کشت می‌شود. در این شرایط، احتمال بارندگی‌های شدید (کوتاه‌مدت و یا بلندمدت) زیاد است و احتمال ماندابی در اوایل بهار و در طول مراحل رویشی اولیه نخود غیرمنتظره نخواهد بود (Rahman & Shozib, 2021; Singh, 2017).

در شرایط مانداب، به‌دلیل کمبود یا نبود اکسیژن در محیط ریشه گیاه، وضعیت بی‌هوازی رخ داده و میزان تولید ATP در ریشه به‌شدت کاهش می‌یابد (Shabala et al., 2014). در این حالت، ریشه انرژی لازم برای انتقال مواد از غشاء سلولی را ندارد و گیاهان با تنش یونی، کاهش هدایت هیدرولیکی و کاهش جذب آب مواجه می‌شوند. با کاهش و اختلال در رشد ریشه، رشد اندام هوایی، جذب آب و مواد غذایی و در نتیجه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Zhou et al., 2020; Ashraf, 2012; Valliyodan et al., 2017).

از نظر فیزیولوژیکی، در شرایط ماندابی غلظت دی‌اکسید کربن بین سلول‌های مزوفیل، جذب کربن، محتوی کلروفیل و فتوسنتز خالص کاهش می‌یابد (Sharma et al., 2022). همچنین، باعث کاهش نیتروژن خاک از طریق رواناب، شستشو و نیترات‌زدایی نیز می‌شود (Kaur et al., 2020).

در آزمایشی روی نخود، ماندابی ۱۲ روزه در ۲۶ روز پس از کاشت باعث کاهش ۴۴ تا ۵۴ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شده و با کاهش ریشه‌های جانبی، الگوی ریشه‌زایی تغییر کرده است (Palta et al., 2010). گزارش‌های زیادی اثرات مخرب کوتاه‌مدت و بلندمدت ماندابی بر گیاهان زراعی وجود دارد. در بررسی ۲۸ ژنوتیپ شبدر زیرزمینی (*Trifolium subterraneum*) که در شرایط گلخانه، از روز ۲۱ تا ۲۸ سبز شدن به‌مدت یک هفته تیمار ماندابی اعمال و در ۴۹ روزگی برداشت انجام شده بود، نتایج نشان داده که تحمل به ماندابی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: e.ghobadi@razi.ac.ir)

همبستگی مثبت و بالایی با سرعت رشد ریشه، طول دمبرگ و اندازه برگ داشته و کاهش طول دمبرگ به‌عنوان یک صفت مهم در بررسی اثر ماندابی معرفی شده است (Enkhbat et al., 2022). در آزمایشی دیگر، ۱۱۹ ژنوتیپ کنجد (*Sesamum indicum* L.) از نظر تحمل به ماندابی (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت و شاهد) بعد از پنج روز از شروع جوانه‌زنی و در درون پتری دیش بررسی شد و نتایج نشان داد که ۱۳/۴۸، ۳۱/۹۳ و ۴۵/۳۸ درصد ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب در ۴۸، ۲۴ و ۱۲ ساعت ماندابی، زنده ماندند (Habibullah et al., 2021).

در تحقیقی، تحمل ۱۰ ژنوتیپ ذرت (*Zea mays*) به ماندابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ژنوتیپ‌های متحمل، محتوای پرولین و فعالیت متابولیسم بی‌هوازی بالاتری داشتند (Chugh et al., 2022). همچنین در ذرت، اثر مانداب در مراحل مختلف رشد و در چندین هیبرید نشان داد که خسارت به عملکرد دانه در شش روز ماندابی در مراحل اولیه رشد بین ۴ تا ۳۲ درصد بود (Ren et al., 2016). در پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، اثرات مانداب (۱۰ روزه) نشان داد که آسیب به ریشه بیشتر از اندام هوایی بوده و خسارت در مرحله تشکیل غوزه بیشتر از سایر مراحل بود (Liu et al., 2015). در گندم (*Triticum aestivum* L.) نیز اثرات مانداب در دوره‌های مختلف پس از طویل شدن ساقه نشان داد که بیشترین خسارت مربوط به تعداد دانه و وزن هزار دانه بوده است (Marti et al., 2015).

همچنین نتایج مطالعات نشان داد که بیشتر محصولات زراعی (به‌استثنای برنج) در غیاب اکسیژن نمی‌توانند در طولانی‌مدت زنده بمانند. گیاه برنج حتی در مراحل اولیه جوانه‌زنی با شرایط مانداب و بی‌هوازی سازگار بوده و این سازگاری بیشتر به تولید سریع اتیلن مربوط می‌شود (Loreti et al., 2016). اتیلن باعث تشکیل آئرانشیم شده که مهم‌ترین سازوکار مقاومت در برابر مانداب است. در گیاهان خانواده حبوبات سازوکار تشکیل آئرانشیم ضعیف عمل می‌کند (Sasidharan & Voesenek, 2015). بر این اساس، نخود یکی از حساس‌ترین گیاهان در مقایسه با سایر گونه‌های خانواده حبوبات به مانداب معرفی شده است (Soliman et al., 2007). در بررسی ۹۶۴ ژنوتیپ سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) برای تحمل بی‌هوازی در مرحله جوانه‌زنی در درون پتری دیش در مدت‌های سه، پنج، هفت و نه روز ماندابی، ملاحظه شده است که ۹۷ ژنوتیپ در مرحله جوانه‌زنی متحمل بوده‌اند (Rajendran et al., 2023)، که نشان‌دهنده تأثیر خصوصیات ژنوتیپ‌ها بر تحمل به مانداب است.

در کل، میزان آسیب کمبود اکسیژن به نوع گیاه (Rane et al., 2021; Zahra et al., 2021)، رقم (Manno & Oyanagi, 2009)، مرحله رشد (Tiryakioglu et al., 2015)، نوع خاک و شرایط محیطی (Zhang et al., 2011) بستگی دارد. در این میان، اگرچه راه‌حل‌های ترکیبی زراعی (زهکش مناسب، مدیریت کودی، تاریخ کاشت و غیره) و ژنتیکی (انتخاب رقم مقاوم) برای کاهش خسارت مانداب پیشنهاد شده است (Manik et al., 2019)، امّا اطلاعات کمی در مورد اثرات تنش مانداب بر ارقام نخود در مراحل اولیه رشد وجود دارد. بنابراین، هدف از این آزمایش، بررسی اثرات مانداب بر ارقام نخود (نوع دسی و کابلی) مورد استفاده در منطقه، خصوصیات فیزیولوژیکی، رشد ریشه و عملکرد و اجزاء عملکرد دانه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلدانی در مزرعه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، طی سال‌های زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. مشخصات آب‌وهوای محل اجرای آزمایش در دو سال مورد بررسی در جدول ۱ آمده است.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل ارقام نخود ILC482 و آزاد (تیپ کابلی) و کاکا و پیروز (تیپ دسی) و مدت مانداب شامل بدون مانداب (شاهد)، ۴، ۸ و ۱۲ روز در ۳۰ روز پس از کاشت (مرحله رویشی) بودند.

از ۴۸ گلدان برای بررسی صفات فیزیولوژیکی (محتوای آب نسبی برگ، پایداری غشاء و رنگدانه‌ها) و همچنین کل طول ریشه، وزن خشک ریشه، تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، طول ریشه اصلی و حجم ریشه به‌صورت تخریبی در مرحله غلاف‌دهی استفاده شد. همچنین در مرحله رسیدن نیز از ۴۸ گلدان دیگر برای بررسی صفات ریشه، انتقال مجدد، محتوای آب نسبی برگ، پایداری غشاء، رنگدانه‌ها، پروتئین دانه، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بوته استفاده گردید. کاشت در سال اول در ۲۱ اسفند ۱۳۹۱ و در سال دوم در ۲۴ اسفند ۱۳۹۲ انجام شد. اندازه گلدان‌های پلاستیکی ۳۰×۳۰ سانتی‌متر بودند. خاک گلدان‌ها از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح مزرعه استفاده شدند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- دما و بارندگی در طول فصل رشد نخود در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲

Table 1- Temperature and rainfall during 2012-2013 and 2013-2014

سال Year	پارامترها Parameters	اسفند Mar.	فروردین May	اردیبهشت Apr.	خرداد Jun	تیر July
۱۳۹۲ -۱۳۹۱ 2013	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	47.3	31.0	11.8	7.8	0.0
	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	19.3	27.2	33.0	38.9	39.3
	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	2.0	3.8	9.2	13.0	17.6
	دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	9.25	15.5	21.1	25.95	28.45
۱۳۹۳ -۱۳۹۲ 2014	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	21.6	49.9	6.9	3.5	0.0
	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	14.8	19.7	28.4	35.2	38.6
	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	-0.4	4.6	9.0	15.1	19.2
	دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد) Average temperature (°C)	7.2	12.15	18.7	25.15	28.9

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در گلدان

Table 2- Some physical and chemical characteristics of soil in pots

بافت Texture	رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg.kg^{-1})	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Phosphorus (mg.kg^{-1})	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	اسیدیته pH
Loam	22	35	43	173	5.3	0.09	7.6

مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌عنوان استارتر استفاده شد. تراکم بوته در هر گلدان پس از مرحله استقرار برای رسیدن به تراکم مطلوب (۴۰ بوته در مترمربع) به چهار بوته در هر گلدان تنک شدند. سی روز پس از کاشت و پس از استقرار، حوضچه‌ای پلاستیکی با ابعاد مورد نیاز ایجاد و گلدان‌ها مانداب شدند. ارتفاع آب داخل حوضچه تقریباً به اندازه خاک داخل گلدان بود و روزانه آب آن، بررسی می‌گردید. گلدان‌ها به‌مدت ۴، ۸ و ۱۲ روز در حوضچه نگهداری و پس از اعمال تیمارها خارج شدند. گلدان‌ها در تمام مراحل رشد هفته‌ای یک بار آبیاری شدند.

در دو مرحله غلاف‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی، طول ریشه اصلی پس از استخراج ریشه از گلدان‌ها به‌صورت تخریبی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. حجم ریشه نیز توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. طول کل ریشه با استفاده از روش تخمینی خطوط شطرنجی برآورد شد (Tennant, 1975). ریشه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک و وزن شدند.

به‌منظور بررسی میزان آب نسبی برگ‌ها، در مرحله غلاف‌دهی، از معادله ۱ استفاده شد (Arndt et al., 2015; Barrs & Weatherley, 1962).

معادله (۱)

محتوای آب نسبی برگ (٪)=[(W-DW)/(TW-DW)]×100

که در آن، W: وزن تازه نمونه، DW: وزن خشک نمونه و W:وزن اشباع نمونه است.

شاخص پایداری غشاء با اندازه‌گیری نشت الکترولیت‌های برگ در مرحله غلاف‌دهی با استفاده از معادله ۲ ارزیابی شد (Sairam et al., 2002).

معادله (۲) شاخص پایداری غشاء (٪)= $[1- (C_1-C_2)]\times 100$

که در آن، C_1: هدایت الکتریکی ثانویه و C_2: هدایت الکتریکی اولیه به دسی زیمنس بر متر ($ds.m^{-1}$) است.

برای اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی در مرحله غلاف‌دهی نمونه‌برداری صورت گرفت، پس از استخراج رنگیزه‌ها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه الایزا (Model Bio Tek Power Wave XS2.0)،

کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها با معادله ۳، ۴ و ۵ قرائت شدند (Richardson et al., 2002).

معادله (۳)

$$\text{Chlorophyll}_a\ (\mu g.ml^{-1}) = (19.3\ A_{663} - 0.86 A_{645})V/100W$$

معادله (۴)

$$\text{Chlorophyll}_b\ (\mu g.ml^{-1}) = (19.3\ A_{645} - 3.6\ A_{663})V/100W$$

معادله (۵)

$$\text{Carotenoids}\ (\mu g.ml^{-1}) = 100\ (A_{470}) - 3.27\ (\text{mg Chl. a}) - 104\ (\text{mg Chl. b}) / 227$$

که در آن‌ها، V: حجم محلول (محلول بالایی که با سانتریفیوژ به‌دست می‌آید)، A: جذب نور در ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، و W: وزن تازه (گرم) است.

برای اندازه‌گیری سهم انتقال مجدد هیدرات‌های کربن از ساقه به دانه، گیاهان در دو مرحله شروع پرشدن دانه و رسیدن از سطح خاک برداشت و در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد و وزن خشک ساقه به‌دست آمد. توزیع و کارایی ساقه برای پر شدن دانه از طریق معادله‌های ۶ و ۷ محاسبه شد (Papakosta & Gagianas, 1991).

معادله (۶)

وزن ساقه در زمان گل‌دهی (g) – وزن ساقه در زمان رسیدن (g) = میزان انتقال مجدد (g)

معادله (۷)

کارایی انتقال مجدد (٪) = (میزان انتقال مجدد / وزن دانه در گیاه) × ۱۰۰

برای به‌دست آوردن محتوای پروتئین دانه از روش کجلدال (AOAC, 1990) توسط دستگاه کجلدال (مدل Hanon, K9840) استفاده شد. سپس براساس میزان اسید مصرفی، میزان نیتروژن و پروتئین کل محاسبه شد.

معادله (۸)

$$N\ (\%) = 2.5 \times 0.0041 \times V_{H2SO4} / 0.5 \times 100$$

معادله (۹)

$$CP\ (\%) = N\ (\%) \times 6.25$$

که در آن‌ها: N: نیتروژن کل و CP: پروتئین خام است.

برای بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه، پس از بلوغ فیزیولوژیکی و زرد شدن کامل، بوته‌ها از خاک خارج و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. وزن دانه در بوته پس از شمارش تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته به‌دست آمد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه هر بوته بر عملکرد بیولوژیکی ضربدر ۱۰۰ محاسبه شد.

تحلیل آماری تمام داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسات میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد و شکل‌ها توسط نرم‌افزار Sigmaplot ترسیم شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته بین دو سال تفاوت معنی‌داری داشتند. در سال دوم، عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته نسبت به سال اول به‌ترتیب ۱۶/۹ درصد و ۱۲/۱ درصد افزایش یافت. در این آزمایش، افزایش تعداد دانه در بوته باعث افزایش عملکرد دانه شد (جدول ۳). در سال دوم، دمای محیط پایین‌تر بود. احتمالاً علت افزایش عملکرد دانه در این سال به‌دلیل اثر کمتر مانداب و افزایش تعداد دانه در بوته بوده است. در دمای بالاتر میزان خسارت مانداب بر گیاهان شدیدتر است (Adegoye et al., 2023).

عملکرد ماده خشک کل ارقام نخود در شرایط مانداب تفاوت معنی‌داری داشت و این مقدار در تیپ کابلی و دسی به‌ترتیب ۲/۷۷ و ۳/۸۰ گرم در بوته بودند. عملکرد بیولوژیکی رقم کاکا، پیروز، ILC482 و آزاد به‌ترتیب ۴/۴۲، ۳/۱۹، ۲/۹۹ و ۲/۵۴ گرم در بوته بودند (شکل ۱).

جدول ۳- مقایسه عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته در ارقام نخود تحت تأثیر مدت‌های مانداب در دو سال

Table 3- Comparison of grain yield and grain number per plant of chickpea cultivars under waterlogged in two-years

سال Year	عملکرد دانه (گرم در بوته) Grain yield (g.plant^{-1})	تعداد دانه در بوته Seed number per plant
اول First	$1.06^{b*} \pm 0.21$	$6.63^{b} \pm 1.23$
دوم Second	$1.24^{a} \pm 0.17$	$7.43^{a} \pm 1.17$

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (lsd) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
± خطای استاندرد

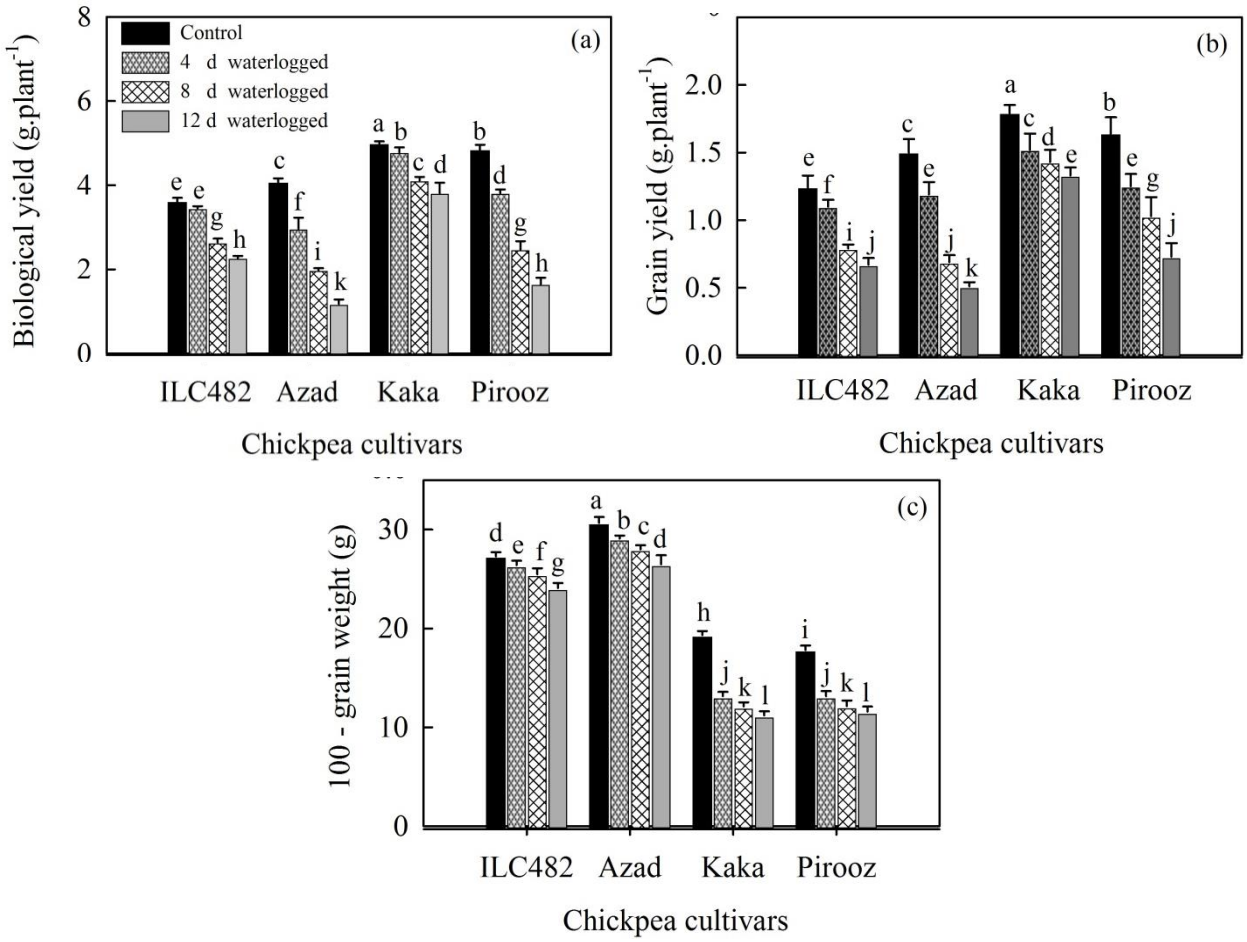
* means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using lsd test.
±: Standard error

بیشترین خسارت به عملکرد دانه در ماندابی در ۱۲ روز، مربوط به رقم آزاد (۷۱ درصد نسبت به شاهد) برای تیپ کابلی بود. در شرایط ماندابی، بیشترین عملکرد دانه در کاکا (۱/۵۱ گرم در بوته) و پیروز (۱/۱۶ گرم در بوته) از نوع دسی و ILC482(۰/۹۵گرم در بوته) و آزاد (۰/۹۷ گرم در بوته) کمترین میزان بودند. بین تیپ کابلی و دسی تفاوت معنی‌داری وجود داشت، با این حال عملکرد دانه در تیپ دسی ۲۸/۳ درصد بیشتر از تیپ کابلی بود (شکل b۱).

از نظر تعداد دانه در بوته، نه تنها بین کاکا و پیروز (از تیپ دسی)، بلکه بین ILC482 و آزاد (از تیپ کابلی) نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت (شکل c۱). تعداد دانه در بوته در تیپ‌های دسی (کاکا و پیروز) نسبت به تیپ کابلی (ILC482 و آزاد) ۴۹ درصد کاهش داشت. با مقایسه شکل‌های ۱ a، b و c) مشاهده می‌شود که تعداد دانه در بوته با وزن دانه در بوته و عملکرد دانه هماهنگ هستند. واکنش ارقام به مدت‌های ماندابی نشان داد که با افزایش مدت، عملکرد بیولوژیکی و دانه تمامی ارقام کاهش یافت. این کاهش در رقم آزاد نسبت به شاهد بسیار بیشتر بود و به‌ترتیب در ۱۲ روز ماندابی ۲۹ و ۳۴ درصد بودند (شکل a۱ و b۱).

اثرات مدت ماندابی در وزن ۱۰۰ دانه ارقام نشان داد که وزن ۱۰۰ دانه در ارقام کاکا و پیروز در ۴، ۸ و ۱۲ روز تفاوت معنی‌داری نداشت، امّا نسبت به شاهد کمتر بود. در رقم آزاد، وزن ۱۰۰ دانه با افزایش مدت ماندابی کاهش یافت، امّا برعکس، تفاوت زیادی بین سطوح ماندابی در ILC482 وجود نداشت (شکل c۱).

در مرحله غلاف‌دهی، اثرات متقابل ارقام نخود و مدت ماندابی در دو سال آزمایش بر ارتفاع بوته، طول کل ریشه، ماده خشک کل و نسبت اندام هوایی به ریشه معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته در سال اول در کاکا و شاهد (۳۰/۷ سانتی‌متر) و کمترین آن در سال اول و در رقم ILC482 و ۱۲ روز ماندابی (۲۴/۵ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۴).



شکل ۱- مقایسه عملکرد بیولوژیکی (a)، عملکرد دانه (b) و وزن ۱۰۰ دانه (c) در مدت‌های مختلف ماندابی در ارقام نخود

Fig. 1- Comparison of biological yield (a), grain yield (b) and 100-grain weight (c) under duration of waterlogging of chickpea cultivars

رقم پیروز در شاهد بیشترین طول کل ریشه را به‌میزان ۷۷۴۱ سانتی‌متر (در سال اول) و ۷۴۳۲ سانتی‌متر (در سال دوم) داشت، امّا کمترین آن در سال دوم مربوط به رقم کاکا و در ۱۲ روز با ۴۴۰ سانتی‌متر بود. به‌طور کلی، با افزایش مدت ماندابی در ارقام نخود، طول کل ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بین ۴ روز، ۴۸/۴ تا ۶۰/۴ درصد، ۸ روز ۸/۸ تا ۷۰/۸ درصد و ۱۲ روز ۸۱/۱ تا ۸۹/۴ درصد کاهش داشت (جدول ۴).

بیشترین ماده خشک کل در سال اول و دوم در تیمار بدون ماندابی و در رقم ILC482 و کمترین مقدار هم در رقم ILC482 در دو سال نسبت به شاهد به‌دست آمد و میزان خسارت در ماندابی ۱۲ روزه نسبت به شاهد حدود ۶۰ درصد بود. در کل، تلفات تنش ماندابی طولانی‌مدت در ILC482 بیشتر از سایر ارقام بود (جدول ۴). حداکثر نسبت ریشه به اندام هوایی در تمامی ارقام در مدت ماندابی ۱۲ روزه، در دو سال بود. تغییرات نسبت اندام هوایی به ریشه در کاکا در دو سال کمترین و در رقم پیروز در دو سال در مدت ۱۲ روز ماندابی بیشترین مقدار بود (جدول ۴).

ارتفاع بوته در مرحله رسیدن، در دو سال در ارقام کاکا و شاهد (۳۳ سانتی‌متر) در بیشترین مقدار بود (جدول ۵). در دو سال با افزایش طول مدت ماندابی در تمامی ارقام، ارتفاع بوته کاهش معنی‌داری داشت. بین مدت‌های ماندابی از یک سانتی‌متر در ILC482 در سال اول و هشت سانتی‌متر در رقم کاکا در سال دوم اختلاف وجود داشت. به‌طور کلی، کمترین اختلاف ارتفاع بوته در رقم ILC482 و بیشترین در رقم کاکا ثبت شد (جدول ۵).

عملکرد دانه و زیست‌توده در تیپ دسی (کاکا و پیروز) بیشتر از تیپ کابلی (ILC482 و آزاد) بود. تیپ دسی تعداد دانه‌های بیشتر، امّا وزن ۱۰۰ دانه کمتری داشتند (شکل a۱، b۱ و c۱). در شرایط تنش یا بدون تنش، با افزایش تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه در اکثر محصولات زراعی به‌دلیل رقابت درون بوته کاهش یافته است (Ghobadi et al., 2017).

در این آزمایش، بیشترین کاهش میانگین عملکرد ماده خشک کل بوته در دو سال در شرایط ماندابی ۱۲ روزه برای رقم‌های ILC482 ۳۸ درصد، رقم آزاد ۵۲ درصد، کاکا ۳۳ درصد و رقم پیروز ۶۵ درصد بود. در گیاه لپه هندی (Pigeon pea)، تفاوت معنی‌داری بین رقم‌ها از نظر تحمل به ماندابی مشاهده شده است (Krishnamurthy et al., 2012). در بررسی ژنوتیپ‌های متحمل به ماندابی سویا در زمان پنج برگی تحت شرایط ۱۵ روز ماندابی، کاهش عملکرد دانه ۴۰/۶ تا ۶۱/۷ درصد و عملکرد ماده خشک کل ۱۷ تا ۴۴ درصد نسبت به شاهد بود (Hasani et al., 2019) که نشان می‌دهد میزان آسیب به عملکرد ماده خشک کل و دانه قابل توجه می‌باشد.

در آزمایش حاضر، با افزایش مدت ماندابی، ارتفاع بوته در مراحل غلاف‌دهی و رسیدن کاهش یافت. میزان کاهش در رقم‌های مختلف در دو سال متفاوت بود. پس از مرحله غلاف‌دهی، ارتفاع بوته در تیمارهای بدون ماندابی افزایش معنی‌داری نداشت، امّا بر تیمارهای تحت ماندابی در سال اول تأثیر کاهشی داشت که به نظر می‌رسد به‌دلیل افزایش دمای محیط و به تبع آن دمای آب باشد.

معمولاً در مرحله غلاف‌دهی، رشد به حداکثر رسیده و بعد از آن دوره پر شدن دانه و مراحل رسیدن است، امّا در شرایط ماندابی در مرحله رویشی، چون مراحل اولیه رشد گیاه با تأخیر مواجه می‌شود، بین تیمارها تفاوت معنی‌داری از نظر صفات رشدونموی به‌وجود می‌آید. مثلاً در بررسی اثر ۱۰ روزه ماندابی در مرحله رشد گیاهچه بر ۳۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) مشاهده شده است که در اثر ماندابی، ارتفاع بوته و سایر صفات فیزیولوژیکی کاهش داشته است (Olorunwa et al., 2022) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

در بررسی خسارت ماندابی در مرحله جوانه‌زنی (صفر، یک، دو، سه، چهار، پنج، شش، هفت و هشت روز) و گیاهچه (۰، ۲، ۴، ۸ و ۱۶ روز) بر ارقام ماش سیاه (*Vigna radiata* L.) و ماش سبز (*Vigna mungo* L.) در شرایط گلخانه، نتایج نشان داد که میزان خسارت در مرحله جوانه‌زنی بیشتر از مرحله رشد گیاهچه بود. در ماش سبز در مدت‌های ۱۶-۸ روز بین ۶۵-۶۰ درصد وزن خشک اندام هوایی و ریشه و در ماش سیاه ۴۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داشته است (Kyu et al., 2021)، که اهمیت خسارت مدت ماندابی را در مراحل مختلف رشد گیاهان نشان می‌دهد. در کل، تنش ماندابی باعث کاهش سرعت رشد ریشه و تولید ریشه‌های جانبی می‌شود که به اجتناب و تحمل به ماندابی کمک می‌کنند (Daniel & Hartman, 2023).

طول کل ریشه رقم پیروز ۷۵۰۰ سانتی‌متر در سال اول و ۸۱۰۰ سانتی‌متر در سال دوم به بیشترین میزان بود. طول ریشه با افزایش مدت زمان ماندابی در همه ارقام کاهش یافت و در ۱۲ روز ماندابی، کمترین مقدار داشت. بیشترین کاهش رشد ریشه در رقم پیروز و کمترین آن در ILC482 بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، طول کل ریشه، وزن خشک کل و نسبت اندام هوایی به ریشه در ارقام نخود در مدت‌های مانداب در مرحله غلاف‌دهی

Table 4- Means comparison of plant height, total root length, total dry matter and shoot.root^{-1} ratio of chickpea cultivars under different duration of waterlogging at pod setting stage

سال Year	رقم نخود Chickpea cultivar	مدت ماندابی (روز) Waterlogging duration (Day)	غلاف‌دهی Pod setting: ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول کل ریشه (سانتی‌متر) Total root length (cm)	وزن خشک کل (گرم در بوته) Total dry matter (g.plant^{-1})	نسبت اندام هوایی به ریشه Shoot.root^{-1} ratio
۱۳۹۲ -۱۳۹۱ 2013	ای ال سی ۴۸۲ ILC482	Control	28.6^{b*} ±0.72	5925^{b} ±195	3.00^{c} ±0.06	2.12^{g} ±0.03
		4	25.6^{c} ±1.12	2838^{d} ±97	2.82^{c} ±0.07	2.30^{f} ±0.01
		8	23.3^{d} ±0.56	2253^{d} ±35	2.05^{f} ±0.01	1.79^{h} ±0.01
		12	23.3^{d} ±0.75	1094^{e} ±58	1.81^{g} ±0.06	2.01^{g} ±0.02
	آزاد Azad	Control	26.5^{c} ±0.75	3933^{c} ±19	2.95^{c} ±0.09	2.86^{d} ±0.06
		4	26.6^{c} ±0.45	2805^{d} ±43	2.36^{e} ±0.02	2.61^{d} ±0.07
		8	24.6^{d} ±0.17	1579^{e} ±20	1.62^{g} ±0.01	2.16^{e} ±0.03
		12	23.5^{d} ±0.62	756^{f} ±3.5	1.00^{h} ±0.10	1.47^{h} ±0.07
	کاکا Kaka	Control	30.7^{a} ±0.70	6352^{b} ±92	3.45^{a} ±0.10	2.97^{d} ±0.01
		4	28.3^{b} ±0.45	1357^{e} ±20	2.67^{d} ±0.05	3.46^{c} ±0.08
		8	28.5^{b} ±0.25	870^{f} ±31	2.16^{f} ±0.04	2.64^{d} ±0.05
		12	26.3^{c} ±0.32	480^{f} ±2.8	2.14^{f} ±0.02	3.47^{c} ±0.04
	پیروز Pirooz	Control	25.1^{c} ±0.18	7741^{a} ±91	3.17^{b} ±0.04	2.75^{d} ±0.03
		4	25.2^{c} ±0.85	1707^{e} ±66	2.71^{d} ±0.02	2.56^{e} ±0.02
		8	24.6^{d} ±0.32	1418^{e} ±23	2.06^{f} ±0.05	2.95^{d} ±0.09
		12	24.5^{d} ±0.09	854^{f} ±23	1.05^{h} ±0.03	2.04^{g} ±0.01
۱۳۹۳ -۱۳۹۲ 2014	ای ال سی ۴۸۲ ILC482	Control	27.1^{c} ±0.25	6071^{b} ±98	3.14^{b} ±0.02	2.20^{f} ±0.03
		4	27.5^{c} ±0.40	3059^{c} ±44	2.90^{c} ±0.02	2.33^{f} ±0.06
		8	25.9^{c} ±0.75	2219^{d} ±13	2.23^{e} ±0.02	2.00^{g} ±0.03
		12	24.5^{d} ±0.25	1146^{e} ±35	1.94^{f} ±0.02	2.70^{d} ±0.01
	آزاد Azad	Control	26.6^{c} ±0.14	3867^{c} ±13	3.00^{c} ±0.02	2.91^{d} ±0.07
		4	25.3^{c} ±0.25	2691^{d} ±52	2.26^{e} ±0.01	2.51^{e} ±0.06
		8	24.3^{d} ±0.30	1427^{e} ±23	1.86^{g} ±0.01	2.53^{e} ±0.06
		12	23.3^{d} ±0.17	568^{f} ±15	1.13^{h} ±0.02	1.88$_{g}$ ±0.10
	کاکا Kaka	Control	28.9^{b} ±0.25	5682^{b} ±57	3.55^{a} ±0.01	4.10^{a} ±0.03
		4	28.0^{b} ±0.75	1284^{e} ±18	2.90^{c} ±0.01	3.93^{a} ±0.06
		8	26.6^{c} ±0.48	864^{f} ±12	2.53^{d} ±0.01	3.73^{b} ±0.01
		12	23.2^{d} ±0.31	440^{f} ±18	2.33^{e} ±0.02	3.81^{b} ±0.01
	پیروز Pirooz	Control	26.2^{c} ±0.70	7432^{a} ±118	3.52^{a} ±0.04	2.82^{d} ±0.01
		4	26.4^{c} ±0.38	1659^{e} ±26	2.90^{c} ±0.01	2.83^{d} ±0.01
		8	25.7^{c} ±0.30	1398^{e} ±34	2.13^{c} ±0.02	3.38^{c} ±0.01
		12	24.3^{d} ±0.17	787^{f} ±23	1.28^{g} ±0.01	2.48^{e} ±0.01

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

±: خطای استاندرد

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

±: Standard Error

بیشترین میزان ماده خشک ذخیره شده در ساقه قبل از گرده‌افشانی و انتقال آن به بذر در رقم آزاد در سال دوم در شرایط بدون ماندابی ۰/۷۹ گرم در بوته و یا ۳۶/۲ درصد بود. کمترین مقدار نیز در رقم‌های کاکا و ILC482 در تیمارهای ماندابی ۸ و ۱۲ روزه به‌دست آمد. ذخیره کربوهیدرات با افزایش مدت ماندابی قبل از دوره گرده‌افشانی کاهش یافت و تفاوت معنی‌داری بین ۸ و ۱۲ روز در ارقام نخود در دو سال مشاهده نشد (جدول ۵). به‌طور کلی، مقدار کل ذخیره کربوهیدرات در رقم کاکا کمترین و رقم آزاد بیشترین مقدار در دو سال بود.

جدول ۵- مقایسه میانگین ارتفاع بوته، طول کل ریشه و انتقال مجدد در ارقام نخود در دوره‌های مختلف ماندابی در زمان رسیدن

Table 5- Means comparison of plant height, total root length and remobilization of chickpea cultivars under different duration of waterlogging at maturity stage

سال Year	رقم نخود Chickpea cultivar	مدت ماندابی (روز) waterlogging duration (day)	مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity stage: ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول کل ریشه (سانتی‌متر) Total root length (cm)	سهم انتقال مجدد (گرم در بوته) Remobilization (g.plant^{-1})	کارایی انتقال مجدد (درصد) Remobilization efficiency (%)
۱۳۹۲-۱۳۹۱ 2013	ای ال سی ۴۸۲ ILC482	Control	28.5^{c*} ±0.50	6601^{d} ±347	0.51^{d} ±0.005	33.9^{d} ±1.10
		4	28.4^{c} ±0.29	4128^{g} ±152	0.21^{h} ±0.008	16.4^{i} ±1.05
		8	27.9^{de} ±0.50	2253^{i} ±35	0.10^{j} ±0.020	15.5^{i} ±1.93
		12	27.7^{de} ±0.40	1796^{j} ±104	0.08^{k} ±0.020	11.1^{j} ±1.93
	آزاد Azad	Control	31.1^{b} ±0.47	4559^{f} ±56	0.62^{b} ±0.020	37.3^{b} ±0.67
		4	30.5^{b} ±0.66	3229^{h} ±53	0.77^{a} ±0.015	35.7^{c} ±0.76
		8	28.2^{c} ±0.29	1832^{j} ±62	0.18^{i} ±0.003	15.3^{i} ±2.74
		12	26.4^{e} ±0.57	1533^{j} ±22	0.13^{j} ±0.028	14.8^{i} ±1.10
	کاکا Kaka	Control	31.9^{b} ±0.16	7178^{c} ±13	0.28^{g} ±0.006	25.1^{f} ±0.40
		4	26.8^{b} ±0.33	3060^{h} ±67	0.19^{i} ±0.003	15.2^{i} ±1.14
		8	26.8^{e} ±1.23	1809^{j} ±31	0.08^{j} ±0.003	10.3^{j} ±1.61
		12	24.4^{f} ±0.07	1314^{j} ±38	0.10^{j} ±0.006	8.0^{k} ±0.70
	پیروز Pirooz	Control	28.5^{c} ±0.42	7905^{b} ±85	0.46^{e} ±0.025	31.1^{e} ±5.10
		4	24.4^{f} ±0.15	3278^{h} ±119	0.45^{e} ±0.025	26.9^{f} ±5.48
		8	23.9^{f} ±0.42	2020^{i} ±55	0.49^{d} ±0.020	21.8^{g} ±1.26
		12	22.5^{fg} ±0.10	1284^{j} ±20	0.40^{f} ±0.003	18.0^{h} ±4.85
۱۳۹۳-۱۳۹۲ 2014	ای ال سی ۴۸۲ ILC482	Control	30.8^{b} ±0.28	7944^{b} ±81	0.57^{c} ±0.018	40.9^{a} ±0.26
		4	28.6^{c} ±0.16	6098^{e} ±47	0.18^{i} ±0.015	14.1^{i} ±0.76
		8	28.4^{c} ±0.30	3771^{h} ±32	0.12^{j} ±0.003	16.9^{i} ±0.29
		12	28.1^{c} ±0.57	2399^{i} ±22	0.06^{k} ±0.003	13.2^{j} ±0.22
	آزاد Azad	Control	30.7^{b} ±0.43	4234^{f} ±46	0.79^{a} ±0.006	36.3^{b} ±2.17
		4	29.7^{cd} ±0.35	2730^{i} ±36	0.33^{g} ±0.001	26.2^{f} ±5.48
		8	27.4^{de} ±0.23	1453^{j} ±14	0.23^{h} ±0.005	24.1^{f} ±5.49
		12	25.9^{e} ±0.14	938^{k} ±7.0	0.19^{i} ±0.006	24.0^{f} ±1.82
	کاکا Kaka	Control	33.8^{a} ±0.20	6121^{e} ±42	0.30^{g} ±0.006	21.3^{g} ±0.35
		4	31.1^{b} ±0.92	2790^{i} ±29	0.24^{h} ±0.012	18.5^{h} ±1.00
		8	31.8^{b} ±0.45	2039^{i} ±12	0.10^{j} ±0.008	10.4^{j} ±0.88
		12	25.5^{e} ±0.55	1039^{j} ±26	0.12^{j} ±0.001	10.4^{j} ±0.35
	پیروز Pirooz	Control	30.3^{b} ±0.35	8195^{a} ±122	0.49^{d} ±0.005	30.1^{e} ±0.39
		4	28.5^{d} ±0.50	4552^{f} ±37	0.32^{g} ±0.005	20.0^{g} ±1.50
		8	27.5^{de} ±0.15	1978^{j} ±32	0.32^{g} ±0.023	17.2^{h} ±3.50
		12	27.5^{de} ±0.26	1189^{j} ±21	0.23^{h} ±0.020	15.2^{i} ±3.08

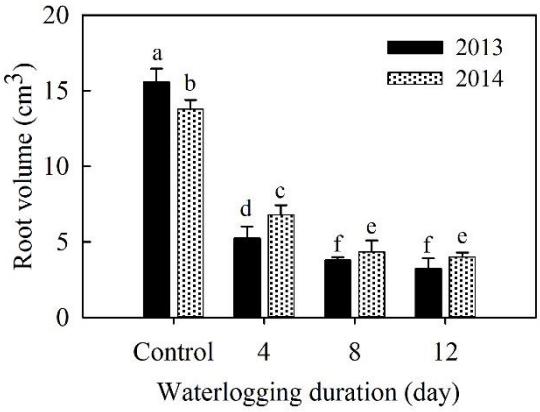
* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

±: خطای استاندرد

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

±: Standard Error

در مرحله غلاف‌دهی، حجم ریشه بین دو سال در دوره‌های مختلف ماندابی تفاوت معنی‌داری داشت. حجم ریشه در شاهد در سال اول و دوم معنی‌دار نبود، امّا در سایر تیمارها، ۴، ۸ و ۱۲ روز در سال اول کمتر و در سال دوم مقدار بیشتری وجود داشت (شکل ۲). حجم ریشه در سال اول و دوم در تیمار ۸ و ۱۲ روز در کمترین مقدار بود و بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. حجم ریشه در سال اول و در مدت‌های ۴، ۸ و ۱۲ روز نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۶/۴، ۷۵/۴ و ۷۹/۳ درصد و در سال دوم ۵۱/۴، ۶۸/۸ و ۷۱/۰ درصد بود.



شکل ۲- اثر مدت‌های ماندابی بر حجم ریشه در زمان غلاف‌دهی در دو سال

Fig. 2- The effect of waterlogging on root volume at pod setting in two years

طول ریشه در مرحله غلاف‌دهی کمی کمتر از مرحله رسیدن بود. بین ارقام از نظر طول ریشه در این دو مرحله و بین مدت زمان ماندابی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بیشترین طول ریشه در رقم پیروز و در شاهد در مرحله غلاف‌دهی و رسیدن به‌ترتیب ۳۶/۵ و ۳۶/۴ سانتی‌متر بود. بیشترین خسارت در رقم ILC482 (۵۵/۲ درصد) در شرایط ماندابی دیده شد. برعکس، کاکا متحمل کمترین خسارت (۲۰ درصد) شد (جدول ۶).

وزن خشک ریشه در دو مرحله غلاف‌دهی و رسیدن تحت تأثیر رقم و مدت ماندابی قرار گرفت. رقم ILC482 دارای بیشترین وزن خشک ریشه در هر دو مرحله نسبت به سایر ارقام بود و با افزایش مدت ماندابی وزن خشک ریشه کاهش یافت. ماده خشک ریشه در رقم آزاد و بدون ماندابی در مقایسه با سایر ارقام کمتر بود (جدول ۶).

تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در ریشه بین ارقام و در سطوح ماندابی در مراحل غلاف‌دهی و رسیدن وجود داشت (جدول ۶). تعداد گره‌ها در مرحله غلاف‌دهی در همه ارقام و در تمام سطوح ماندابی بیشتر از مرحله رسیدن بود. کاهش تعداد گره‌ها با افزایش مدت ماندابی در مرحله غلاف‌دهی کمتر از زمان رسیدن بود. تعداد گره‌ها در این آزمایش بین ۱۹ تا ۵۷ در مرحله غلاف‌دهی و بین ۵/۲ تا ۴۲/۲ گره در مراحل رسیدن متغیر بود. تعداد گره‌ها در ارقام ILC482، پیروز، کاکا و آزاد در شاهد ۵۷/۹، ۵۱/۵، ۴۷/۵ و ۳۵/۷ و در ماندابی ۱۲ روزه به‌ترتیب ۳۳/۸، ۳۹/۶، ۳۶/۱ و ۱۹/۶ بود (جدول ۶).

حجم ریشه نیز تحت تأثیر مدت ماندابی و رقم در مرحله رسیدگی قرار گرفت. حجم ریشه با مانداب طولانی‌مدت به‌طور قابل توجهی کاهش یافت (جدول ۶). حجم ریشه در رقم ILC482(۱۸ سانتی‌مترمکعب) و آزاد (۱۰/۸ سانتی‌مترمکعب) و بین شاهد تا چهار روز تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، امّا بین پیروز (۶۷ درصد) و کاکا (۵۳ درصد) تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در ماندابی ۱۲ روزه نسبت به شاهد در ارقام نخود بین ۷۷ تا ۸۹ درصد خسارت وارد شد.

نسبت اندام هوایی به ریشه در ارقام نخود در سطوح ماندابی متفاوت بود. نسبت اندام هوایی به ریشه با افزایش در مدت ماندابی افزایش یافت، امّا این افزایش در رقم‌های کاکا و پیروز بیشتر از ILC482 بود (جدول ۶). از آنجایی که اولین اندامی که در معرض ماندابی قرار می‌گیرد، ریشه است؛ براین اساس، ریشه‌ها بیشترین آسیب را از کمبود اکسیژن می‌بینند، در نتیجه عملکرد حیاتی ریشه‌ها مختل می‌شود. در این شرایط، ارقام مقاوم برای جبران آن، ریشه‌های نابجا را جایگزین ریشه‌های اصلی می‌کنند (Sauter et al., 2013). در آزمایش حاضر، طول کل ریشه ارقام نخود در شرایط ماندابی به‌شدت آسیب دید. در مرحله غلاف‌دهی، ارقام نخود در ۱۲ روز ماندابی به‌مقدار ۸۱/۵ تا ۹۲/۲ درصد نسبت به شاهد خسارت دیدند. طول کل ریشه پس از مراحل غلاف‌دهی و رسیدن افزایش یافت. تیمار بدون ماندابی از ۲/۱ درصد (رقم پیروز) به ۲۳/۵ درصد (ILC482) و در تیمار ۱۲ روز بین ۴۸/۹ تا ۱۷۳/۱ درصد (پیروز) افزایش یافت. در مرحله رسیدن و تیمار ۱۲ روزه ماندابی افزایش ریشه،معنی‌دار بود، ولی به‌طور کلی، نسبت به شاهد بسیار کمتر بود. تغییرات وزن خشک ریشه همبستگی بالایی با طول کل ریشه داشت. در مرحله غلاف‌دهی، وزن خشک ریشه ۵۴ درصد (در رقم کاکا) کاهش یافت و به ۸۰ درصد (در رقم کاکا) رسید و بیشترین خسارت در مرحله رسیدن مشاهده شد. افزایش طول مدت مانداب باعث کاهش حجم ریشه گردید (شکل ۲).

تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن روی ریشه نیز با طولانی شدن مدت ماندابی کاهش یافتند و تعداد آن‌ها در مرحله رسیدن به‌شدت کاهش داشت. حداکثر کاهش در ۱۲ روز ماندابی در مرحله غلاف‌دهی ۴۶/۷ درصد و در مرحله رسیدن ۸۲/۳ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۵). در شرایط ماندابی علاوه‌بر رشد ریشه، تعداد گره‌ها نیز کاهش داشت.

در شرایط ماندابی، کمبود و یا نبود اکسیژن در ناحیه ریشه با کاهش تولید انرژی باعث کاهش جذب و انتقال آب و مواد محلول در ریشه شده است. این اثرات باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در برگ‌ها، محتوای کلروفیل و فتوسنتز شده و در نهایت، رشد ریشه و اندام هوایی را کاهش داده است (Zhu et al., 2016). واریته‌های مختلف نیز عکس‌العمل‌های متفاوت داشته است ولی در کل، آسیب به شاخساره‌ها بسیار کمتر از ریشه بوده است (DI Bella et al., 2015). در آزمایشی روی ارقام ماش، پس از ۳۰ روز سبز شدن در مدت ماندابی سه، شش و نه روزه، رشد ریشه‌ها به‌ترتیب ۲۰، ۳۴ و ۵۲ درصد نسبت به شاهد، خسارت دیده‌اند (Kumar et al., 2013) که اثرات تنش ماندابی بر رشد ریشه در خانواده حبوبات را نشان می‌دهند.

بین رقم‌ها و سطوح مختلف ماندابی، از نظر شاخص پایداری غشاء، محتوای آب نسبی برگ، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در رقم‌های ILC482و آزاد، شاخص پایداری غشاء با طولانی شدن مدت ماندابی به‌طور قابل توجهی کاهش یافتند، امّا تفاوت معنی‌داری بین شاهد و سطوح ماندابی در رقم‌های کاکا و پیروز مشاهده نشد (شکل ۳).

جدول ۶- مقایسه میانگین طول ریشه اصلی، وزن خشک ریشه و تعداد گره (در مرحله غلاف رفتن) و طول ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه و تعداد گره (در مرحله رسیدن) تحت تأثیر مدت‌های ماندابی بر ارقام نخود

Table 6- Means comparison of main root length, root dry weight and of nodule numbers (at the pod setting) and root length, root dry weight, root volume and nodule numbers (at the maturity stage) affected by durations of waterlogging on chickpea cultivars

ارقام نخود Chickpea cultivars	مدت ماندابی (روز) Waterlogging duration (day)	مرحله غلاف‌دهی Pod setting stage			مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity stage			
		طول ریشه اصلی (سانتی‌متر) Main root length (cm)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g.plant^{-1})	تعداد گره‌های تثبیت‌کننده Nodule numbers	طول ریشه اصلی (سانتی‌متر) Main root length (cm)	وزن خشک ریشه (گرم در بوته) Root dry weight (g.plant^{-1})	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب) Root volume (cm^3)	تعداد گره‌های تثبیت‌کننده Nodule numbers
ای ال سی ۴۸۲ ILC482	Control	28.64^{bc*}±1.21	1.40^{a}±0.04	57.9^{a}±0.08	29.74^{c}±0.62	1.83^{a}±0.005	12.2^{a}±0.17	42.2^{a}±0.2
	4	23.54^{d}±0.33	1.21^{b}±0.03	52.4^{b}±0.65	26.43^{d}±0.33	1.29^{b}±0.06	10.0^{c}±0.10	38.4^{b}±0.2
	8	18.90^{d}±0.36	1.11^{b}±0.02	39.5^{e}±0.17	20.78^{e}±0.51	0.79^{d}±0.04	5.2^{e}±0.10	26.3^{c}±0.32
	12	12.81^{e}±0.32	0.90^{c}±0.04	33.8^{g}±0.54	14.67^{h}±0.26	0.71^{d}±0.01	2.2^{f}±0.20	16.8^{g}±0.18
آزاد Azad	Control	31.73^{b}±0.27	1.00^{a}±0.04	35.7^{g}±0.16	33.62^{b}±0.78	0.90^{c}±0.05	10.1^{c}±0.12	28.4^{d}±0.52
	4	27.68^{c}±0.27	0.89^{c}±0.04	30.2^{h}±0.08	28.26^{c}±3.13	0.80^{d}±0.11	9.0^{d}±0.50	24.8^{e}±0.50
	8	22.12^{d}±2.13	0.75^{d}±0.04	25.6^{i}±0.50	22.04^{e}±2.42	0.69^{d}±0.03	5.4^{e}±0.20	17.0^{g}±0.32
	12	19.66^{e}±0.04	0.68^{d}±0.06	19.0^{j}±0.54	21.33^{f}±1.00	0.49^{ef}±0.04	2.3^{f}±0.26	12.8^{i}±0.17
کاکا Kaka	Control	23.65^{d}±3.63	1.17^{b}±0.04	47.5^{c}±1.16	35.48^{a}±0.45	1.25^{b}±0.03	11.2^{b}±0.11	27.7^{c}±0.06
	4	24.73^{d}±2.15	0.69^{d}±0.04	43.1^{d}±0.52	33.99^{b}±1.03	0.59^{e}±0.04	5.2^{e}±0.50	25.7^{cd}±0.05
	8	18.24^{e}±0.40	0.53^{e}±0.03	38.0^{f}±0.29	20.62^{f}±0.40	0.44^{ef}±0.01	2.5^{f}±0.40	14.3^{h}±0.92
	12	17.74^{e}±0.76	0.60^{f}±0.03	36.1^{f}±0.57	22.20^{e}±0.62	0.25^{g}±0.02	1.2^{h}±0.20	9.7^{j}±0.25
پیروز Pirooz	Control	36.59^{a}±1.00	1.17^{b}±0.04	51.5^{b}±0.25	36.43^{a}±1.35	1.21^{b}±0.03	10.3^{c}±0.20	30.0^{c}±0.08
	4	21.96^{d}±0.13	0.99^{c}±0.03	44.9^{d}±0.62	25.06^{d}±0.05	0.91^{c}±0.03	3.3^{f}±0.19	22.0^{f}±0.44
	8	18.89^{e}±0.48	0.63^{d}±0.01	41.0^{e}±0.17	21.30^{f}±0.24	0.41^{ef}±0.01	2.2^{g}±0.45	13.8^{h}±0.82
	12	17.66^{e}±0.48	0.53^{e}±0.01	39.6^{e}±0.08	19.69^{g}±0.76	0.25^{g}±0.05	1.2^{h}±0.30	5.29^{k}±0.35

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

±: خطای استاندرد

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

±: Standard Error

محتوای آب نسبی برگ نیز در رقم‌های ILC482، آزاد و پیروز با طولانی شدن مدت ماندابی کاهش یافت و میزان کاهش متفاوت بود، امّا هیچ تغییری در رقم کاکا بین تیمارهای شاهد و ماندابی مشاهده نگردید (شکل b۳). پاسخ گونه‌های نخود به ماندابی طولانی‌مدت با محتوای آب نسبی برگ‌ها متفاوت بود و به‌طور کلی، کمتر از تیمار بدون ماندابی بود. نتایج این آزمایش با نتایج اثر تیمار ماندابی بر محتوای آب نسبی بر ارقام ماش مطابق بود (Kumar et al., 2013). اثر تنش‌های توأم مانداب و خشکی بر محتوای آب نسبی برگ‌های چهار رقم سویا بررسی شده است. محتوای آب نسبی برگ در شرایط بدون تنش خشکی حدود ۸۰ درصد، تنش خشکی حدود ۵۰-۶۰ درصد و در شرایط ماندابی حدود ۷۰ درصد به‌دست آمده است (Mutava et al., 2015) که با آزمایش حاضر هم‌خوانی دارد.

محتوای پروتئین دانه در ارقام نخود و در سطوح ماندابی بین ۲۰/۱ تا ۲۳/۹ درصد بود. در رقم‌های نخود تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین دانه بین چهار روز و شاهد مشاهده نشد، امّا در ILC482، آزاد و کاکا در روزهای ۸ و ۱۲ کاهش یافتند، امّا در رقم پیروز تغییری مشاهده نگردید (شکل ۳).

کربوهیدرات‌های ذخیره شده در ساقه در عملکرد دانه قبل از شروع پر شدن دانه مؤثر است. مقدار ذخیره به شرایط محیطی و میزان فتوسنتز در طول رشد رویشی و نوع رقم بستگی دارد. در این آزمایش، با افزایش مدت زمان ماندابی، میزان انتقال مواد از ساقه به دانه و سهم آن در پر شدن دانه به‌طور قابل توجهی کاهش یافت و در ارقام مختلف متغیر بود.

تنش ماندابی شرایط پیچیده‌ای را برای گیاه فراهم می‌کند. از یک طرف، به‌دلیل کاهش شدید تولید انرژی ناشی از تنفس بی‌هوازی، هدایت هیدرولیکی ریشه دچار مشکل شده و انتقال آب و مواد غذایی محلول از طریق ریشه‌ها (با وجود آب فراوان در محیط ریشه) به حداقل می‌رسد. از طرف دیگر، با کاهش انتقال آب به اندام‌های هوایی، با افزایش تولید اسید آبسیزیک و بسته شدن روزنه‌ها، فرآیند فتوسنتز را با محدودیت مواجه می‌کند (Bansal et al., 2015). همچنین، در شرایط ماندابی و دمای بالا، با تجمع هیدرات کربن محلول در برگ‌ها، انتقال مواد نشاسته‌ای به دانه و یا ساقه صورت نمی‌گیرد (Mutava et al., 2015; Jurczyk et al., 2016).

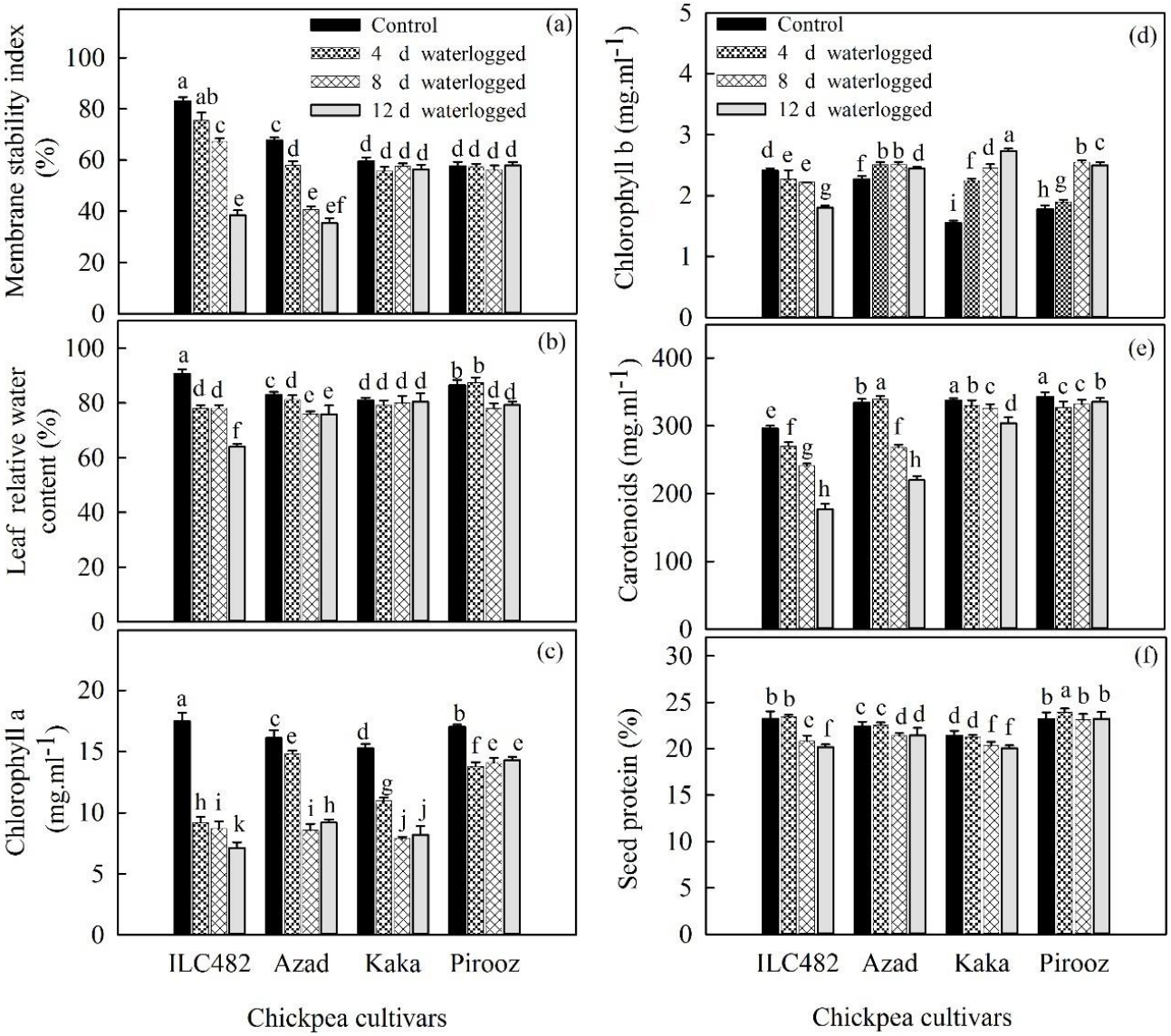
در تمامی تیمارها، شاهد (بدون ماندابی) بیشترین کلروفیل a را داشت و در سایر تیمارها میزان کلروفیل a کاهش داشت. امّا، در رقم پیروز هیچ کاهشی در تیمار ۴، ۸ و ۱۲ روزه مشاهده نشد (شکل c۳). کلروفیل b واکنش متفاوتی به سطوح ماندابی و رقم داشت. کلروفیل b در ILC482 در شاهد بیشترین مقدار را داشت، درحالی‌که، در تیمار آزاد، کاکا و پیروز، کلروفیل b با افزایش مدت زمان ماندابی افزایش یافت (شکل d۳). کاروتنوئیدها در رقم‌های ILC482 و آزاد با افزایش طول مدت ماندابی به‌طور قابل توجهی کاهش یافت، امّا در رقم‌های کاکا و پیروز معنی‌دار نبود. در کل، کاروتنوئیدها در نوع دسی، نوسان کمتری داشتند (شکل e۳).

ماندابی باعث کاهش کلروفیل a و b در گیاه پنبه (Kuai et al., 2014)، کلروفیل و کاروتنوئیدها در عدس (Wiraguna et al., 2017)، پیاز (Yiu et al., 2008)، گندم (Wu et al., 2015; Li et al., 2011)، لوبیا (Pociecha, 2013) و کنجد (Anee et al., 2019) شده است. همچنین بررسی اثر ماندابی بر روی ۲۰ رقم جو نشان داده است که در ارقام متحمل حدود ۴۰ درصد و در ارقام حساس حدود ۶۵ درصد میزان کلروفیل کاهش داشته است (Huang et al., 2015).

در شرایط ماندابی، به‌دلیل کاهش شدید انرژی (ATP) در سلول‌های ریشه، مقدار جذب نیتروژن کاهش می‌یابد که به‌دنبال آن میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و نیتروژن اندام هوایی و دانه کاهش می‌یابد. همچنین، نیتروژن دچار آبشویی شده و از محیط ریشه خارج می‌گردد. در آزمایش حاضر نیز مقادیر رنگدانه‌ها کاهش داشت. در آزمایشی، اثر ماندابی روی سویا باعث کاهش سنتز و تجمع پروتئین شده است (Oh & Komatsu, 2015) و در آزمایش دیگری روی همین محصول سویا، میزان پروتئین تغییری نداشته است (Sullivan et al., 2001). در بررسی اثر ماندابی بر آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در مرحله رویشی تا ۱۲ روز کاهش کلروفیل a، b و کل حتی پس از سه روز ماندابی دیده شده است (Dalai & Sardar, 2021). در بررسی اثر ماندابی در مراحل مختلف رشد دو رقم لوبیا چشم بلبلی نشان داده است که بیشترین تأثیر ماندابی در مرحله رشد زایشی بوده است و سطح برگ و محتوای کلروفیل به‌ترتیب ۶۵ و ۳۹ درصد نسبت به شاهد کاهش داشته است (Olorunwa et al., 2023). همچنین، اثر ماندابی بر ۱۰۰ ژنوتیپ پیاز (*Allium cepa* L.) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که تعداد ژنوتیپ‌های متحمل، متوسط و حساس به ماندابی به‌ترتیب ۱۹، ۲۷ و ۵۴ بوده‌اند و ژنوتیپ‌های مقاوم ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، طول برگ، محتوای کلروفیل، شاخص پایداری غشاء و محتوای آنتی‌اکسیدان بیشتری داشته‌اند (Gedam et al., 2022). این نتایج نشان می‌دهند که طیف وسیعی از ارقام و ژنوتیپ‌های محصولات از مقاوم تا حساس به ماندابی وجود دارند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که عملکرد دانه ارقام نخود عکس‌العمل متفاوتی به دوره‌های ماندابی داشتند. عملکرد دانه ارقام ILC482 ، آزاد، کاکا و پیروز در تیمار ۱۲ روز ماندابی به‌ترتیب به‌میزان ۴۵، ۶۶، ۲۵ و ۵۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داشتند. کاهش عملکرد تحت تأثیر عوامل پیچیده از جمله خصوصیات ژنتیکی ارقام و مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی است و لذا، نمی‌توان به یک یا دو عامل ارتباط داد؛ ولی آنچه مسلم بود این است که تنش ماندابی در مرحله رویشی، حتی به‌مدت چهار روز، عملکرد دانه، ماده خشک کل، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، خصوصیات ریشه شامل طول کل ریشه و وزن خشک ریشه، سایر خصوصیات مثل محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها، شاخص پایداری غشاء، محتوای آب نسبی برگ و میزان پروتئین دانه ارقام نخود را کاهش داد. با این حال، تحقیقات بیشتری برای بررسی واکنش گونه‌های مختلف نخود به شرایط ماندابی کوتاه‌مدت و بلندمدت مورد نیاز است.



شکل ۳- مقایسه میانگین صفات پایداری غشاء (a)، محتوای آب نسبی برگ (b) ، کلروفیل a (c)، کلروفیل b (d) و کاروتنوئیدها در مرحله غلاف‌دهی (e) و پروتئین دانه (f) در مدت‌های ماندابی بر ارقام نخود

Fig. 3- Means comparison of the membrane stability (a), the leaf relative water content of leaves (b), chlorophyll a (c), chlorophyll b (d) and carotenoids (e) in pod setting and seed protein (f) traits under the effect of waterlogging stress on chickpea cultivars

References

Adegoye, G. A., Olorunwa, O. J., Alsajri, F. A., Walne, C. H., Wijewandana, C., Kethireddy, S. R., ... & Reddy, K. R. (2023). Waterlogging effects on soybean physiology and hyperspectral reflectance during the reproductive stage. *Agriculture, 13*(4), 844. https://doi.org/10.3390/agriculture13040844

Anee, T. I., Nahar, K., Rahman, A., Mahmud, J. A., Bhuiyan, T. F., Alam, M. U., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2019). Oxidative damage and antioxidant defense in *Sesamum indicum* after different waterlogging durations. *Plants, 8*, 196. https://doi.org/10.3390/plants8070196

AOAC. (1990). Association of official analytical chemists. 15th Ed., Method No: 988.05, p. 70.

Arndt, S. K., Irawan, A., & Sanders, G. J. (2015). Apoplastic water fraction and rehydration techniques introduce significant errors in measurements of relative water content and osmotic potential in plant leaves. *Physiologia Plantarum, 155*, 355-368. https://doi.10.1111/ppl.12380

Ashraf, M. A. (2012). Waterlogging stress in plants: A review. *African Journal of Agricultural Research, 7*(13), 1976-1981. https://doi.10.5897/AJARX11.084

Bailey-Serres, J., & Colmer, T. D. (2014). Plant tolerance of flooding stress–recent advances. *Plant, Cell and Environment, 37*, 2211-2215. https://doi.10.1111/pce.12420

Bansal, R., & Srivastava, J. (2015). Effect of waterlogging on photosynthetic and biochemical parameters in pigeon pea. *Russian Journal of Plant Physiology 62*, 322-327. https://doi.10.1134/S1021443715030036

Barrs, H., & Weatherley, P. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences, 15*, 413-428. http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413

Chugh, V., Kaur, N., Gupta, A. K., & Rai, A. (2022). The seed biochemical signature as a potent marker for waterlogging tolerance in maize. *Plant Stress, 4*, 100085. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100085

Dalai, D., & Sardar, S. S. (2021). Tolerance response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivar NSSH-1084 to waterlogging stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 10*, 219-233. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1008.026

Daniel, K., & Hartman, S. (2023). How plant roots respond to waterlogging. *Journal of Experimental Botany Erad, 332*. https://doi.org/10.1093/jxb/erad332

Di Bella, C. E., Grimoldi, A. A., Lopardo, M. S. R., Escaray, F. J., Ploschuk, E. L., & Striker, G. G. (2016). Differential growth of *Spartina densiflora* populations under saline flooding is related to adventitious root formation and innate root ion regulation. *Functional Plant Biology, 43*, 52-61. http://dx.doi.org/10.1071/fp15149

Enkhbat, G., Ryan, M. H., Nichols, P. G., Foster, K. J., Inukai, Y., & Erskine, W. (2022). Petiole length reduction is an indicator of waterlogging stress for *Trifolium subterraneum* ssp. yanninicum. *Plant and Soil, 475*, 645-667. https://doi.org/10.1007/s11104-022-05404-6

Gedam, P. A., Shirsat, D. V., Arunachalam, T., Ghosh, S., Gawande, S. J., Mahajan, V., Gupta, A. J. & Singh, M. (2022). Screening of onion (*Allium cepa* L.) genotypes for waterlogging tolerance. *Frontiers in Plant Science, 12*, 727262. https://doi.10.3389/fpls.2021.727262

Ghobadi, M. E., Ghobadi, M., & Zebarjadi, A. (2017). Effect of waterlogging at different growth stages on some morphological traits of wheat varieties. *International Journal of Biometeorology, 61*, 635-645. https://doi.org/10.1007/s00484-016-1240-x

Habibullah, M., Sarkar, S., Islam, M. M., Ahmed, K. U., Rahman, M. Z., Awad, M. F., ElSayed, A. I., Mansour, E., & Hossain, M. S. (2021). Assessing the response of diverse sesame genotypes to waterlogging durations at different plant growth stages. *Plants, 10*, 2294. https://doi.org/10.3390/plants10112294

Hasani, S., Galeshi, S., Zeinali, E., Torabi, B., & Khadempir, M. (2019). Evaluation of tolerance and resistance to flooding stress in different soybean varieties. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 12*, 1323-1313. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1651.1369

Huang, X., Shabala, S., Shabala, L., Rengel, Z., Wu, X., Zhang, G., & Zhou, M. (2015). Linking waterlogging tolerance with Mn^{2+} toxicity: A case study for barley. *Plant Biology, 17*, 26-33. https://doi.10.1111/plb.12188

Jurczyk, B., Pociecha, E., Kościelniak, J., & Rapacz, M. (2016). Different photosynthetic acclimation mechanisms are activated under waterlogging in two contrasting *Lolium perenne* genotypes. *Functional Plant Biology, 43*, 931-938. http://dx.doi.org/10.1071/fp15339

Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orlowski, J. M., & Golden, B. R. (2020). Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. *Agronomy Journal, 112*, 1475-1501. https://doi.org/10.1002/agj2.20093

Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H., Saxena, K., & Vadez, V. (2012). Variation for temporary waterlogging response within the mini core pigeonpea germplasm. *The Journal of Agricultural Science, 150,* 357-364. https://doi.org/10.1017/S0021859611000682

Kuai, J., Liu, Z., Wang, Y., Meng, Y., Chen, B., Zhao, W., Zhou, Z., & Oosterhuis, D. M. (2014). Waterlogging during flowering and boll forming stages affects sucrose metabolism in the leaves subtending the cotton boll and its relationship with boll weight. *Plant Science, 223,* 79-98. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.03.010

Kumar, P., Pal, M., Joshi, R., & Sairam, R. (2013). Yield, growth and physiological responses of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes to waterlogging at vegetative stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 19,* 209-220. https://doi.10.1007/s12298-012-0153-3

Kyu, K. L., Malik, A. I., Colmer, T. D., Siddique, K. H., & Erskine, W. (2021). Response of mungbean (cvs. Celera II-AU and Jade-AU) and blackgram (cv. Onyx-AU) to transient waterlogging. *Frontiers in Plant Science, 12,* 709102. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.709102

Li, C., Jiang, D., Wollenweber, B., Li, Y., Dai, T., & Cao, W. (2011). Waterlogging pretreatment during vegetative growth improves tolerance to waterlogging after anthesis in wheat. *Plant Science, 180,* 672-678. http://dx.doi.org/10.1016/j. plantsci.2011.01.009

Liu, R., Yang, C., Zhang, G., Zhang, L., Yang, F., & Guo, W. (2015). Root recovery development and activity of cotton plants after waterlogging. *Agronomy Journal, 107,* 2038-2046. https://doi.10.2134/agronj14.0567

Loreti, E., van Veen, H., & Perata, P. (2016). Plant responses to flooding stress. *Current Opinion in Plant Biology, 33,* 64-71. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.06.005

Manik, S., Pengilley, G., Dean, G., Field, B., Shabala, S., & Zhou, M. (2019). Soil and crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity. *Frontiers in Plant Science, 140.* https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00140

Mano, Y., & Oyanagi, A. (2009). Trends of waterlogging tolerance studies in the Poaceae. *Japanese Journal of Crop Science, 78,* 441-448. https://doi.10.1626/jcs.78.441

Marti, J., Savin R., & Slafer, G. (2015). Wheat yield as affected by length of exposure to waterlogging during stem elongation. *Journal of Agronomy and Crop Science, 201,* 473-486. https://doi.10.1111/jac.12118

Mutava, R. N., Prince, S. J. K., Syed, N. H., Song, L., Valliyodan, B., Chen, W., & Nguyen, H. T. (2015). Understanding abiotic stress tolerance mechanisms in soybean: A comparative evaluation of soybean response to drought and flooding stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 86,* 109-120. https://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.11.010

Oh, M., & Komatsu, S. (2015). Characterization of proteins in soybean roots under flooding and drought stresses. *Journal of Proteomics, 114,* 161-181. https://doi.org/10.1016/j.jprot.2014.11.008

Olorunwa, O. J., Adhikari, B., Brazel, S., Bheemanahalli, R., Barickman, T. C., & Reddy, K. R. (2023). Waterlogging stress reduces cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes growth, seed yield, and quality at different growth stages: Implications for developing tolerant cultivars under field conditions. *Agricultural Water Management, 284,* 108336. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108336

Olorunwa, O. J., Adhikari, B., Shi, A., & Barickman, T. C. (2022). Screening of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for waterlogging tolerance using morpho-physiological traits at early growth stage. *Plant Science, 315,* 111136. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111136

Palta, J., Ganjeali, A., Turner, N., & Siddique, K. (2010). Effects of transient subsurface waterlogging on root growth, plant biomass and yield of chickpea. *Agricultural Water Management, 97,* 1469-1476. http://dx.doi.org/10. 1016/j.agwat. 2010.05.001

Papakosta, D. K., & Gagianas, A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal, 83,* 864-870. http://doi.10.2134/agronj1991.00021962008300050018x

Pociecha, E. 2013. Different physiological reactions at vegetative and generative stage of development of field bean plants exposed to flooding and undergoing recovery. *Journal of Agronomy and Crop Science, 199,* 195-199. https://doi.org/10.1111/jac.12009

Rahman, M. N., & Shozib, S. H. (2021). Seasonal variability of waterlogging in Rangpur city corporation using GIS and remote sensing techniques. *Geosfera Indonesia, 6,* 143-156. https://doi.org/10.19184/geosi.v6i2.21006

Rajendran, A., Lal, S. K., Raju, D., Mallikarjun, B. P., Ramlal, A., & Sharma, D. (2023). Waterlogging tolerance evaluation methods for soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) at the pregermination stage. *Genetic Resources and Crop Evolution, 70,* 2451-2461. https://doi.org/10.1007/s10722-023-01573-0

Rane, J., Singh, A. K., Kumar, M., Boraiah, K. M., Meena, K. K., Pradhan, A., & Prasad, P. V. (2021). The adaptation and tolerance of major cereals and legumes to important abiotic stresses. *International Journal of Molecular Sciences, 22,* 12970. https://doi.org/10.3390/ijms222312970

Ren, B., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2016). Effects of duration of waterlogging at different growth stages on grain growth of summer maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science, 202,* 564-575. https://doi.10.1111/jac.12183

Richardson, A. D., Duigan, S. P., & Berlyn, G. P. (2002). An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist, 153,* 185-194. https://doi.10.1046/j.0028-646X.2001.00289.x

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science, 163,* 1037-1046. http://dx.doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Sasidharan, R., & Voesenek, L. A. (2015). Ethylene-mediated acclimations to flooding stress. *Plant Physiology, 169,* 3-12. https://dx.doi.org/10.1104/pp.15.00387

Sauter, M. (2013). Root responses to flooding. *Current Opinion in Plant Biology, 16,* 282-286. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.pbi.2013.03.013

Shabala, S., Shabala, L., Barcelo, J., & Poschenrieder, C. (2014). Membrane transporters mediating root signalling and adaptive responses to oxygen deprivation and soil flooding. *Plant, Cell and Environment, 37,* 2216-2233. https://doi.10.1111/pce.12339

Sharma, S., Bhatt, U., Sharma, J., Kalaji, H., Mojski, J., & Soni, V. (2022). Ultrastructure, adaptability, and alleviation mechanisms of photosynthetic apparatus in plants under waterlogging: A review. *Photosynthetica, 60,* 430-444. https://doi.10.32615/ps.2022.033

Singh, A. (2017). Waterlogging and salinity management for sustainable irrigated agriculture. I: Overview, implication, and plant response. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 143,* 04017035. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001226

Solaiman, Z., Colmer, T., Loss, S., Thomson, B., & Siddique, K. (2007). Growth responses of cool-season grain legumes to transient waterlogging. *Australian Journal of Agricultural Research, 58,* 406-412. https://doi.org/10.1071/AR06330

Sullivan, M., VanToai, T., Fausey, N., Beuerlein, J., Parkinson, R., & Soboyejo, A. (2001). Evaluating on-farm flooding impacts on soybean. *Crop Science, 41,* 93-100. https://doi.10.2135/cropsci2001.41193x

Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersects method of estimating root length. *Journal of Ecology, 63*(3), 995-1001. https://doi.10.2307/2258617

Tiryakioglu, M., Karanlik, S., & Arslan, M. (2015). Response of bread-wheat seedlings to waterlogging stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 39,* 807-816. https://doi.10.3906/tar-1407-124

Valliyodan, B., Ye, H., Song, L., Murphy, M., Shannon, J. G., & Nguyen, H. T. (2017). Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. *Journal of Experimental Botany, 68,* 1835-1849. https://doi.org/10.1093/jxb/erw433

Wiraguna, E., Malik, A. I., & Erskine, W. (2017). Waterlogging tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik. subsp. culinaris) germplasm associated with geographic origin. *Genetic Resources and Crop Evolution, 64*(3), 579-586. https://doi.10.1007/s10722-016-0385-0

Wu, X., Tang, Y., Li, C., Wu, C., & Huang, G. (2015). Chlorophyll fluorescence and yield responses of winter wheat to waterlogging at different growth stages. *Plant Production Science, 18,* 284-294. http://dx.doi.org/10.1626/pps.18.284

Yiu, J. C., Liu, C. W., Kuo, C. T., Tseng, M. J., Lai, Y. S., & Lai, W. J. (2008). Changes in antioxidant properties and their relationship to paclobutrazol-induced flooding tolerance in Welsh onion. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 88,* 1222-1230. https://doi.10.1002/jsfa.3209

Zahra, N., Hafeez, M. B., Shaukat, K., Wahid, A., Hussain, S., Naseer, R., Raza, A., Iqbal, S., & Farooq, M. (2021). Hypoxia and anoxia stress: Plant responses and tolerance mechanisms. *Journal of Agronomy and Crop Science, 207,* 249-284. https://doi.org/10.1111/jac.12471

Zhang, X., Jiang, D., Zheng, C., Dai, T., & Cao, W. (2011). Post-anthesis salt and combination of salt and waterlogging affect distributions of sugars, amino acids, Na^+ and K^+ in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science, 197,* 31-39. https://doi.10.1111/j.1439-037X.2010.00438.x

Zhou, W., Chen, F., Meng, Y., Chandrasekaran, U., Luo, X., Yang, W., & Shu, K. (2020). Plant waterlogging/flooding stress responses: From seed germination to maturation. *Plant Physiology and Biochemistry, 148,* 228-236. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.020

Zhu, M., Li, F., & Shi, Z. (2016). Morphological and photosynthetic response of waxy corn inbred line to waterlogging. *Photosynthetica, 54,* 636-640. https://doi.10.1007/s11099-016-0203-0

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 197-213
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۱۳-۱۹۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

The effect of Application of Cycocel on Morphophysiological and Biochemical Characteristics of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Genotypes under Water Deficit Conditions

Elahe Danaei Rad[1], Gholamreza Zamani[2*], Hamid-Reza Fallahi[2]

Received: 23-10-2023
Revised: 31-12-2023
Accepted: 04-04-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Danaei Rad, E., Zamani, G., & Fallahi, H.R. (2024). The effect of application of cycocel on morphophysiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 197-213. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

Introduction
Drought is one of the most important abiotic stresses that has an undesirable effect on crop production and their quality and leads to osmotic, ionic, and nutritional limitations as well as growth delay, metabolic disorders and oxidative stress in plants. Iran has a dry and semi-arid climate. Due to this problem, there is a possibility of drought stress during the growth period of plants. Presently, the production of legumes in the country is mostly under rainfed conditions and drought stress is one of the main factors reducing the yield of legumes. Mung bean is a small grain of valuable legume. Evaluation of the performance of different cultivars is considered a starting point in identifying drought-resistant cultivars. Cycocel is one of the most important growth retarders for tampering with growth and performance. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of foliar application of cycocel on morphophysiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions.

Materials and Methods
This study was conducted in order to investigate the effect of foliar application of cycocel on the morpho-physiological and biochemical characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under water deficit conditions, split-split plots based on a randomized complete block design with three replications, in the research farm of Ferdowsi University of Mashhad. Experimental factors included 3 levels of drought (non-stress, mild stress, and severe stress), 3 levels of cycocel foliar spraying (0, 400, and 800 mg.l^{-1}), and 2 levels of mung bean cultivars (Hendi landrace and Zarbakhsh). Statistical analysis was performed using SAS 9.4 and comparing the means was based on the LSD method at a 5% probability level.

Results and Discussion
The experimental results showed that the effect of drought stress, cycocel, genotype, and the interaction of drought stress and cycocel as well as drought stress and genotype on height, stem diameter, relative water content, stomatal conductance, leakage of electrolytes, greenness and chlorophyll content were significant. Severe stress, compared to non-stress conditions, caused a decrease in height (53%), stem diameter (30%), relative water leaf content (29%), stomatal conductance (68%), greenness (37%), chlorophyll a content (25%) and chlorophyll b content (30%) and leakage of electrolytes increased (60%). The results showed that both drought stress and cycocel caused a decrease in the height of the plant. At all levels of drought stress, the Hendi genotype had a higher plant height. Drought stress caused a decrease in the diameter of the stem, while the application of cycocel reduced the decrease in the diameter of the stem due to drought stress. Drought stress caused a decrease in the relative content of leaf water, while the application of cycocel reduced this decrease. Also, Drought stress reduced the stomatal conductance, while the application of cycocel slightly compensated this reduction. At all levels of drought stress, Zarbakhsh genotype had higher stomatal conductance, but the difference between the two genotypes in the treatment of non-stress was not significant. Drought stress increased the leakage of membrane electrolytes, and the use of cycocel reduced the increase in electrolyte leakage due to drought stress, and it was also found that the increase in electrolyte leakage due to drought

1- Ph.D. Graduated, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture/ University of Birjand, Birjand, Iran.
* Corresponding Author: gzamani@birjand.ac.ir

stress was more intense in the Hendi genotype. Drought stress reduced the greenness of the leaf, while the application of cycocel slightly compensated this reduction. Also, at all levels of drought stress, the Zarbakhsh genotype had higher leaf greenness, but the difference between the two genotypes in the treatment of 100% crop water requirement was not significant. The chlorophyll a content of leaves decreased due to drought stress, while the application of cycocel reduced the severity of this decrease. Also, at all levels of drought stress, the Hendi genotype had lower leaf chlorophyll a content.

Conclusions

The results of this study showed that under drought stress, there was a decrease in plant height, stem diameter, relative water content, stomatal conductance, greenness, chlorophyll a and b content, along with an increase in electrolyte leakage. Among mung bean cultivars, the Zarbakhsh cultivar showed superiority in tolerance to water shortage conditions compared to another one. The use of cycocel reduced the negative effects of drought stress on the plant. It appeared that the use of cycocel under drought stress conditions is effective for improving plant performance.

Keywords: Chlorophyll content; Drought; Electrolyte leakage; Relative leaf water content

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 197-213
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۱۳-۱۹۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84927.1071

اثر سایکوسل بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش رطوبتی

الهه دانائی راد[۱]، غلامرضا زمانی[۲*]، حمیدرضا فلاحی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

چکیده

خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید گیاهان زراعی در ایران است که برای کاهش اثرات نامطلوب آن، دستیابی به گیاهان‌زراعی متحمل ضروری است. به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سایکوسل بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش در شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. عوامل آزمایش عبارت بودند از آبیاری در سه سطح شامل آبیاری براساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (بدون تنش خشکی)، آبیاری براساس ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش خشکی ملایم) و آبیاری براساس ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش خشکی شدید) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شامل عدم استفاده از سایکوسل و محلول‌پاشی با ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ شامل: توده بومی هندی و رقم زربخش) به‌عنوان عامل فرعی فرعی. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت‌ها، سبزینگی و محتوای کلروفیل بودند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش تنش رطوبتی، محلول‌پاشی سایکوسل و ژنوتیپ بر نشت الکترولیت‌ها و محتوای کاروتنوئید و همچنین برهم‌کنش تنش رطوبتی و محلول‌پاشی سایکوسل بر ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، نشت الکترولیت‌ها، سبزینگی و محتوای کلروفیل و معنی‌دار بودند. شرایط تنش شدید خشکی و عدم کاربرد سایکوسل، موجب کاهش قطر ساقه (۳۰ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۲۹ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۶۸ درصد) و سبزینگی (۳۷ درصد) و همچنین افزایش نشت الکترولیت‌ها (۹۴ درصد) نسبت به شرایط شاهد شد؛ اما با کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل، کاهش قطر ساقه (۱۸ درصد)، محتوای نسبی آب برگ (۱۵ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۴۰ درصد) و سبزینگی (۲۰ درصد) و همچنین افزایش نشت الکترولیت‌ها (۵۹ درصد) مشاهده شد. همچنین ژنوتیپ زربخش بهترین پاسخ را در شرایط تنش خشکی شدید و کاربرد ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ارائه داد. با توجه به نتایج این آزمایش و با در نظر گرفتن سایر شرایط رشدی گیاه، به نظر می‌رسد که با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل احتمالاً نتایج مثبتی را در تحمل ژنوتیپ زربخش به شرایط تنش خشکی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکی، محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت‌ها

مقدمه

در بخش بزرگی از مناطق کشاورزی در جهان، کمبود آب عامل محدودکننده مهم رشد و بهره‌وری محصولات کشاورزی است (Khalili et al., 2020). در ایران، تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی مطرح است و برای حصول عملکرد مناسب، گیاهان زراعی باید قادر به تحمل این دوره خشکی باشند (Barzegari et al., 2020). در حال حاضر نیز، تولید حبوبات در کشور بیش‌تر به‌صورت دیم بوده و تنش خشکی یکی از عوامل اصلی کاهش عملکرد حبوبات می‌باشد (Nakhzari Moghaddam et al., 2020). ماش[۲] یک لگوم دانه‌ریز و از حبوبات باارزش است و به لحاظ وجود ۲۵-۲۲ درصد پروتئین، ۵۱ درصد کربوهیدرات، ۱۰ درصد رطوبت، چهار درصد مواد معدنی (منیزیم، پتاسیم، منگنز، مس و روی)،

۱- دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: gzamani@birjand.ac.ir)

2- *Vigna radiata* L.

سه درصد ویتامین (انواع ویتامین‌های گروه ب)، فیبر و آنتی‌اکسیدان در ترکیبات خود (Ahmadi et al., 2019)، نقش بسزایی در تأمین نیاز غذایی کشورهای درحال توسعه دارد. نیاز آبی ماش ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰ مترمکعب است، که این امر موجب شده است تا در دسته گیاهان مقاوم به خشکی قرار گیرد، ولی در نواحی که این گیاه به‌روش دیم‌کاری کشت می‌گردد، چنانچه میزان بارش کم‌تر از نیاز آبی این گیاه باشد، دچار تنش خشکی خواهد شد (Heidari et al., 2019). امروزه روش‌های مختلفی برای مقابله با اثر ناشی از تنش در نظر گرفته شده است. در میان روش‌های مدیریتی، برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحمل گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای محیط افزایش می‌دهند (PirastehAnosheh & Emam, 2022). این ترکیبات به‌عنوان یک ابزار کارآمد و پایدار در کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های زنده و غیرزنده در گیاهان شناخته شده‌اند (Heidari et al., 2019). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش بسزایی در تنظیم وضعیت درونی آب گیاه دارند. این تنظیم‌کننده‌ها به‌منظور افزایش کیفیت و کمیت محصول و ایجاد مقاومت به خشکی در کشاورزی استفاده می‌شود (Shokhmgar et al., 2021). سایکوسل یکی از مهم‌ترین کندکننده‌های رشد برای دست ورزی رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد (Pirasteh Anosheh & Emam, 2022). پژوهشگران به این نتیجه دست یافتند که کاربرد سایکوسل به‌صورت پیش تیمار بذر در شرایطی که گیاه دچار تنش خشکی است، می‌تواند موجب کاهش وزن‌تر و خشک شاخساره و همچنین افزایش محتوای نسبی آب و پایداری غشاء در برگ‌ها شود (Akbari & Jalili Marandi, 2014). کاهش رشد از علائم بارز گیاه در مواجهه با تنش خشکی است (Salehi et al., 2021) که سبب کوچک شدن اندازه گیاه و کند شدن تقسیمات سلولی در پیکره گیاه می‌شود و از خصوصیات گیاهان قرار گرفته در معرض تنش است. ارتفاع گیاه صفت مورفولوژیکی است که با جابجایی کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی ارتباط دارد (Tabatabai, 2021). با بررسی اثر تنش شدید خشکی بر روی ماش (Salehi et al., 2021)، سه رقم نخود[1] (Heidari, 2018)، لوبیا[2] (Karimzadeh Sureshjani, 2015; Ghalandari et al., 2019) و سویا[3] (Navabpour et al., 2017) کاهش معنی‌داری در ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی مشاهده شد. کاربرد سایکوسل در سویا (Navabpour et al., 2017) و گندم[4] و جو[5] (PirastehAnosheh & Emam, 2022) باعث کاهش ارتفاع گیاه و افزایش عملکرد شد. در بررسی‌های انجام شده بر روی ماش (Salehi et al., 2021)، ژنوتیپ‌های نخود (Naseri et al., 2020) و لوبیا (Karimzadeh Sureshjani, 2015; Ghalandari et al., 2019) مشخص شد که تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی بیشترین کاهش در محتوای نسبی آب برگ را منجر گردید و ژنوتیپ‌های با محتوای نسبی آب برگ بالا، عملکرد دانه بالایی تولید می‌نمایند. در شرایط تنش رطوبتی به‌واسطه شکل‌گیری بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن و سرعت انتشار بالای این ترکیبات و هجوم آن‌ها به غشاهای زیستی و پراکسیده شدن فسفولیپیدهای غشاء، پایداری غشاء کاهش‌یافته و میزان نشت الکترولیت‌ها از سلول نیز افزایش می‌یابد (Haji Babaie, 2017). در پژوهشی بر روی لوبیا چیتی، نشت الکترولیت‌ها در شرایط تنش خشکی افزایش نشان داد (Ghalandari et al., 2019). براساس پژوهشی که بر روی گیاه بادرنجبویه[6] در شرایط تنش خشکی انجام شد، مشخص شد که تنش آبی باعث کاهش شاخص پایداری غشاء، محتوای کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در این گیاه خواهد شد (Amini et al., 2023). محلول‌پاشی سایکوسل روی گندم نان در شرایط دیم، باعث افزایش پایداری غشاء سلولی شد (Ahmadi et al., 2019). تنظیم کارآمد و دقیق هدایت روزنه‌ای موجب بهبود کارایی مصرف آب[7] در شرایط تنش خشکی می‌شود که حتی در مواردی می‌تواند منجر به حصول عملکردی معادل با گیاهان رشد یافته در شرایط بدون تنش گردد (Ahmadi et al., 2019). در شرایط تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای در ماش کاهش یافت (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013) که کاربرد سایکوسل در این شرایط موجب افزایش مقاومت روزنه‌ای و از این طریق، موجب تعدیل اثر منفی تنش خشکی شد. (Ahmadi et al., 2019Barzegari et al., 2020;). در مطالعه اثر تنش خشکی بر ارقام ماش (Shokouhfar & Abofatilehnezhad, 2013)، لوبیا (Karimzadeh Sureshjani, 2015) و دو ژنوتیپ باقلا (Heidari, 2018) مشخص شد که تنش، تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a و b داشت و این صفت را کاهش داد. بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی سایکوسل، انتقال سایتوکینین را از ریشه به ساقه افزایش داد

1- *Cicer arietinum*
2- *Phaseolus vulgaris*
3- *Glycine max*
4- *Triticum aestivum*
5- *Hordeum vulgare*
6- *Dracocephalum moldavica* L.
7- Water Use Efficiency (WUE)

که منجر به افزایش طول دوره رشد، فتوسنتز، مقاومت به خشکی و افزایش عملکرد در غلات شد (PirastehAnosheh & Emam, 2022). با توجه به عدم اثرات سوء سایکوسل روی گیاه، جنبه‌های اقتصادی و کاربرد آسان آن، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سایکوسل در کاهش اثرات نامطلوب خشکی بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های ماش در شرایط تنش رطوبتی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا اجرا شد.

عوامل آزمایش عبارت بودند از آبیاری در سه سطح شامل آبیاری براساس نیاز آبی (بدون تنش خشکی)، آبیاری براساس ۷۵ درصد نیاز آبی (تنش خشکی ملایم) و آبیاری براساس ۵۰ درصد نیاز آبی(تنش خشکی شدید) به‌عنوان عامل اصلی، محلول‌پاشی سایکوسل با سه سطح شامل عدم استفاده از سایکوسل و محلول‌پاشی با ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی و دو ژنوتیپ شامل توده بومی هندی و رقم زربخش) به‌عنوان عامل فرعی فرعی.

بذور ماش مورد استفاده در این آزمایش از مرکز تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج (زربخش) و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی دزفول- ایستگاه صفی‌آباد (توده هندی) تهیه گردید. پیش از کشت، آزمون جوانه‌زنی انجام و از سلامت و قوه نامیه بالای بذور اطمینان حاصل شد. ماده سایکوسل مصرفی نیز از شرکت مرک (Merck) تهیه شد. قبل از کشت، خاک محل انجام آزمایش از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در چهار ضلع و مرکز زمین نمونه‌برداری شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱). هر کرت شامل پنج خط کاشت به‌طول چهار متر به‌صورت جوی–پشته (کاشت روی پشته) با انتهای بسته، با فاصله ردیف ۵۵ سانتی‌متر بود (مساحت هر کرت ۱۱ مترمربع). فواصل بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها ۲/۵ متر بود. کاشت به‌روش خشکه‌کاری و به‌صورت دستی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۳/۰۷ در عمق دو سانتی‌متری صورت گرفت.

آبیاری به‌صورت غرقابی جوی و پشته‌ای بود و آب‌رسانی به هر کرت توسط لوله و کنتور حجمی صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. پس از آن، آبیاری تا مرحله سبز شدن (تعداد دفعات آبیاری دو بار) به فواصل چهار روز انجام شد. واکاری قسمت‌های سبز نشده پس از گذشت یک هفته از کشت صورت گرفت. عملیات تنک در مرحله دو تا چهار برگی انجام شد. عملیات وجین علف‌های هرز از مرحله چهار برگی آغاز و تا مرحله پر شدن دانه به‌صورت دستی در طول دوره رشد انجام شد. اعمال تیمارهای تنش در مرحله چهار برگی شروع شد و تا پایان فصل رشد ادامه داشت. اولین محلول‌پاشی در مرحله سه برگی انجام شد. محلول‌پاشی دوم نیز در مرحله شروع گل‌دهی انجام شد (Heidari et al., 2019). داده‌های مورد نیاز این پژوهش برای تعیین نیاز آبی شامل میزان بارندگی، دماهای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از طریق آمار درازمدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد در سال جاری، جمع‌آوری شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو (Khosroshahi, 2013) و نیاز آبی ماش توسط نرم‌افزار CropWat تعیین شد. برای محاسبه حجم آب آبیاری هر کرت ابتدا نیاز خالص آبیاری به‌دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از کنتور حجمی استفاده شد و حجم آب ورودی به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	واکنش pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)
0-30	لومی رسی Clay loam	0.97	7.98	1.2

در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، پس از حذف اثر حاشیه‌ای (۰/۵ متر از بالا و پایین خط کاشت و یک خط کاشت از راست و چپ هر کرت)، نمونه از آخرین برگ تکامل‌یافته در هر تیمار برداشت و صفات محتوای نسبی آب برگ (Smart & Bingham, 1974) (معادله ۱)، نشت الکترولیت‌ها (Valentovic, 2006) (معادله ۲)، رنگدانه‌های فتوسنتزی (Dere et al., 1998) (معادله ۳ تا ۵)، شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر مدل SPAD 502، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر مدل AP4 و همچنین در انتهای فصل رشد نیز، ارتفاع با کمک خط‌کش و قطر ساقه توسط کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. در پایان، پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها (آزمون کولموگرو- اسمیرنو)، تجزیه‌وتحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ۹/۴ و مقایسه‌های میانگین با آزمون LSD محافظت شده در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

معادله (۱)
$$RWC(\%) = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100$$

که در آن، FW: وزن‌تر برگ، DW: وزن خشک برگ و TW: وزن تورژسانس برگ می‌باشد.

معادله (۲)
$$EC(\%) = \frac{EC1}{EC2} \times 100$$

که در آن، EC1: هدایت الکتریکی هر نمونه پس از ۲۴ ساعت و EC2: هدایت الکتریکی هر نمونه پس از اتوکلاو می‌باشد.

معادله (۳)
$$Chlorophyll\ a = \frac{(19.3\ A663 - 0.86\ A645)\ V}{100W}$$

معادله (۴)
$$Chlorophyll\ a = \frac{(19.3\ A645 - 3.6\ A663)\ V}{100W}$$

معادله (۵)
$$Carotenoid = \frac{(100\ A470 - (3.27\ Chl\ a - 104\ Chl\ b))}{227}$$

که در آن، V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، W: وزن تر نمونه بر حسب گرم، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، Chl a: محتوای کلروفیل a و Chl b: محتوای کلروفیل b می‌باشد.

نتایج و بحث

ارتفاع

برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و همچنین تنش خشکی و ژنوتیپ بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی، با افزایش غلظت سایکوسل، ارتفاع بوته در هر دو رقم ماش کاهش یافت. همچنین در همه سطوح تنش خشکی نیز ژنوتیپ هندی، ارتفاع بوته بیشتری را به خود اختصاص داد (شکل ۱). در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۱ و ۲۳ درصد کاهش یابد. این کاهش در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۲، ۴۰ و ۴۷ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۳، ۵۹ و ۶۴ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که ارتفاع بوته ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۳۲ و ۵۳ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی ارتفاع بوته را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ارتفاع بوته این ژنوتیپ ۳۲ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ۵۴ درصد کاهش نشان داد. محققان گزارش دادند که از مهم‌ترین آثار تنش خشکی بر گیاهان، کاهش ارتفاع بوته می‌باشد (Ghalandari et al., 2019). محدودیت آب ناشی از تنش خشکی باعث کاهش رشد سلولی و کاهش فاصله میان‌گره‌ها شده و از این طریق، ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (Todaka et al., 2015). علاوه‌براین کاهش ارتفاع بوته در اثر کاربرد سایکوسل نیز در بسیاری از مطالعات پیشین گزارش شده است (Hashemabadi et al., 2012). سایکوسل با اختلال در مسیر بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم انت کائورن سنتتاز شده و از این طریق باعث کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Kumar et al., 2011).

قطر ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و همین‌طور تنش خشکی و ژنوتیپ بر قطر ساقه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی با افزایش غلظت سایکوسل، قطر ساقه در هر دو رقم ماش افزایش یافت (شکل ۲). در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که قطر ساقه نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۶ و ۲۰ درصد افزایش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، قطر ساقه به‌ترتیب ۱۴، ۹ و ۵ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، قطر ساقه به‌ترتیب ۳۰، ۲۲ و ۱۸ درصد کاهش پیدا کرده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارتفاع بوته و قطر ساقه ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

Table 2- Analysis of variance for the height and diameter of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

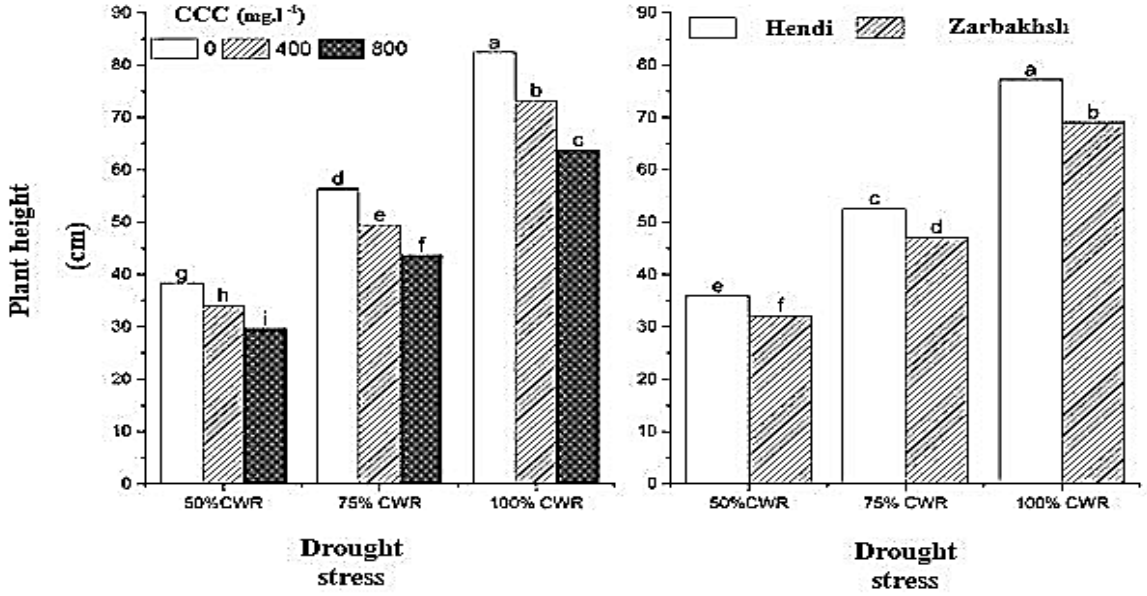
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	
		ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter
بلوک Block	2	12.3 ns	0.006 ns
تنش خشکی Drought (D)	2	6740.26 ***	12.69***
خطا الف Error A	4	0.75	0.01
سایکوسل Cycocel (C)	2	758.45***	2.17***
C × D	4	35.01**	0.16**
خطا ب Error B	4	1.62 ns	0.01
ژنوتیپ Genotype (G)	1	430.24 ***	0.72***
G × D	2	20.66 **	0.11*
G × C	2	2.44 ns	0.01 ns
D ×C ×G	4	0.25 ns	0.01 ns
خطا Error	26	2.30	0.02
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		5.9	6.0

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

ns, *, ** and ***: non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

علاوه‌براین نتایج نشان داد که قطر ساقه ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که قطر ساقه ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۱۹ و ۳۲ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، قطر ساقه را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، قطر ساقه این ژنوتیپ، ۱۴ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۷ درصد کاهش نشان داد. نتایج نشان داد که کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که قطر ساقه به‌ترتیب هشت و یک درصد کاهش یابد. محدودیت آب در گیاهان اثرات بسیار متعددی ازجمله کاهش رشدونمو را به دنبال دارد (Lipiec et al., 2013). در شرایط تنش خشکی از مهم‌ترین فرآیندهایی که دچار اختلال می‌شود، فرآیند تقسیم سلولی و همچنین رشد سلول‌ها می‌باشد.

در این شرایط، ازجمله اتفاقاتی که رخ می‌دهد، کاهش ارتفاع بوته و قطر ساقه می‌باشد (Ohashi et al., 2006). همچنین افزایش قطر ساقه در اثر کاربرد سایکوسل در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (Hashemzadeh, 2009). پژوهشگران دلیل بیشتر بودن قطر ساقه در اثر کاربرد سایکوسل را به‌دلیل انباشت مواد کربوهیدراتی و لیگنینی شدن ساقه دانسته‌اند (Knapp et al., 1987). محققان اعلام کردند که به نظر می‌رسد، سایکوسل همانند سایر مواد ضد تعرق مانع تقسیم سلولی بیشتر شده و در اثر مصرف این مواد بر قطر و ضخامت سلول‌ها افزوده می‌شود (Bayat et al., 2010). همچنین محققان گزارش کردند که مصرف سایکوسل در گندم و کلزا باعث افزایش قطر ساقه می‌شود (PirastehAnosheh & Emam, 2022) که نتایج مذکور با یافته‌های این آزمایش مطابقت دارد.

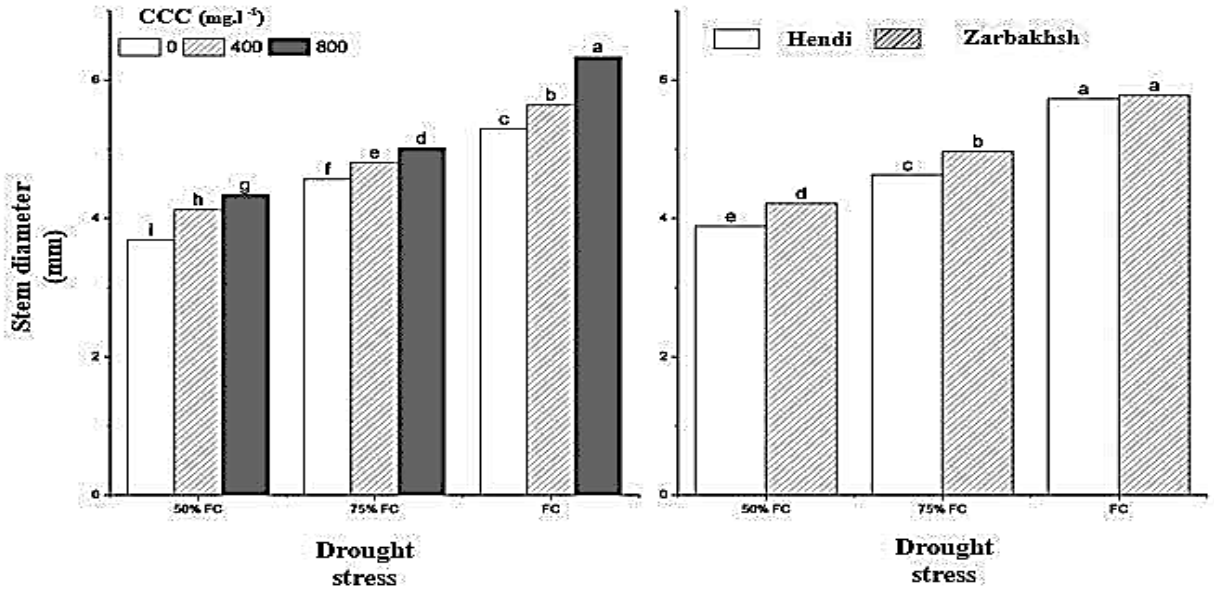


شکل ۱- ارتفاع بوته ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 1- Plant height mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.



شکل ۲- قطر ساقه ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 2- Stem diameter mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.

محتوای نسبی آب برگ

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین تنش خشکی و ژنوتیپ اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ داشت (جدول ۳). کاربرد سایکوسل موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش و عدم تنش خشکی شد (شکل ۳). همچنین در همه سطوح تنش خشکی ژنوتیپ زربخش محتوای نسبی آب برگ بالاتری داشت، هرچند که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، اختلاف آن با ژنوتیپ هندی معنی‌دار نبود (شکل ۳). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای نسبی آب برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۳ و ۱۲ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۱، ۷ و ۴ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۹، ۱۹ و ۱۵ درصد محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد. علاوه‌براین، نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۱۴ و ۲۸ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ این ژنوتیپ، ۱۰ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۲ درصد کاهش نشان داد. آماس سلول و پتانسیل آب گیاه به‌طور مستقیم بر مقدار محتوای نسبی آب برگ اثر دارد. از طرف دیگر، تورژسانس سلولی باعث توسعه و تقسیم سلولی است و بدین ترتیب، ارتباطی بین میزان محتوای نسبی آب برگ و ماده خشک تولیدی وجود دارد. در بررسی‌های انجام‌شده مشخص‌شده است که معمولاً ارقام مقاوم به خشکی از محتوای نسبی آب برگ بالاتری در شرایط تنش خشکی برخوردار هستند (Karimpour, 2019). محققان بیان کردند که کمبود آب به‌طور آشکاری محتوای نسبی آب را در برگ‌های لوبیا کاهش می‌دهد (Ghalandari et al., 2019). محققان گزارش دادند که استفاده از سایکوسل در محدودیت آب، RWC و مقاومت روزنه را افزایش داد (PirastehAnosheh & Emam, 2022). کاربرد سایکوسل در شرایط تنش ملایم خشکی توانست با بسته‌تر نگه داشتن روزنه‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمبود آب گیاه را جبران کند (Andalibi & Nouri, 2014)، RWC گیاه را افزایش دهد و از این طریق از صدمه به گیاه جلوگیری کند؛ بنابراین استفاده از سایکوسل در شرایط تنش خشکی می‌تواند با افزایش مقاومت روزنه‌ای، میزان هدررفت آب گیاه را کاهش دهد (Saei et al., 2006).

هدایت روزنه‌ای

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ اثر معنی‌داری بر هدایت روزنه‌ای داشتند (جدول ۳). تنش خشکی، هدایت روزنه‌ای را کاهش داد، درحالی‌که کاربرد سایکوسل این کاهش را جبران کرد. همچنین در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ زربخش هدایت روزنه‌ای بالاتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (شکل ۴). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، هدایت روزنه‌ای را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۰ و ۲۹ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۸، ۱۸ و ۱۳ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۶۸، ۴۹ و ۴۰ درصد هدایت روزنه ای را کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل و کمترین آن در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم محلول‌پاشی سایکوسل مشاهده شد. اولین واکنش گیاهان در مواجهه با تنش خشکی، بسته شدن روزنه است که این واکنش نه‌تنها از دست دادن آب از طریق تعرق را کاهش می‌دهد، بلکه جذب CO_2 را نیز کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که کاهش بیان ژن‌های آکواپورین و ویژگی‌های تشریحی که منجر به کاهش سطح کلروپلاست در معرض فضای بین سلولی در واحد سطح برگ می‌شود باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در پاسخ به تنش خشکی می‌شود (Karimzadeh Sureshjani, 2015). مشابه نتایج این آزمایش، محققان گزارش کردند کاربرد سایکوسل باعث افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای شد (Andalibi & Nouri, 2014). برخی محققان مشاهده کرده‌اند که کاربرد سایکوسل با کاهش هدایت روزنه‌ای باعث حفظ آب و جلوگیری از هدررفت آن شده و ازاین‌رو به بهبود وضعیت آبی گیاه و حفظ تورژسانس

کمک می‌کنند (Saei et al., 2006). در نقطه مقابل، برخی پژوهشگران دریافتند که در شرایط تنش خشکی کاربرد سایکوسل باعث افزایش رشد ریشه به‌ویژه رشد ریشه‌های مویین شده و از این طریق باعث بهبود جذب آب توسط گیاه و در نتیجه، افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود (PirastehAnosheh & Emam, 2020).

نشت الکترولیت‌ها

برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل، برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ و همین‌طور برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ بر نشت الکترولیت‌ها معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که در هر یک از سطوح تنش خشکی با افزایش غلظت سایکوسل نشت الکترولیت‌ها در رقم هندی و زربخش کاهش یافت (جدول ۴). در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ هندی باعث شد که نشت الکترولیت‌ها نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۱۸ و ۲ درصد افزایش یابد. در همین ژنوتیپ، این افزایش در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۵، ۴۳ و ۳۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۵۹، ۶۹ و ۹۴ درصد بود، درحالی‌که در ژنوتیپ زربخش در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که نشت الکترولیت‌ها نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب دو و شش درصد کاهش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۱، ۱۴ و ۷ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۴۰، ۴۹ و ۶۰ درصد موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها شد. خسارت وارد شده به غشای پلاسمایی سلول‌ها در تنش خشکی از ابتدایی‌ترین آسیب‌های وارد شده به سلول در این شرایط است (Narimani et al., 2018)، در نتیجه صدمه به غشای سلولی، تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از سلول باعث مرگ آن می‌شود (Karimzadeh Sureshjani, 2015). همچنین در این آزمایش، کاربرد سایکوسل باعث شد که نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش خشکی کاهش یابد که این نتایج با یافته‌های پژوهشگران در گیاه جو مطابقت داشت (PirastehAnosheh & Emam, 2022).

سبزینگی برگ و محتوای رنگیزه‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ بر کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۵). برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل بر سبزینگی برگ و محتوای کلروفیل a معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل، برهم‌کنش تنش خشکی و ژنوتیپ و همچنین برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ بر محتوای کاروتنوئید برگ معنی‌دار بود (جدول ۵). در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ زربخش سبزینگی برگ بالاتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۶). نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل باعث شد که سبزینگی برگ نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۶ و ۱۳ درصد افزایش یابد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۵، ۱۱ و ۸ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۷، ۲۴ و ۲۰ درصد سبزینگی برگ کاهش یافت.

همچنین سبزینگی برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت، به‌نحوی‌که سبزینگی برگ ژنوتیپ هندی در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۲۰ و ۳۶ درصد کاهش یافت. در ژنوتیپ زربخش نیز تنش خشکی، سبزینگی برگ را نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه کاهش داد، به‌نحوی‌که در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، سبزینگی برگ این ژنوتیپ، ۱۴ و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۲۷ درصد کاهش نشان داد. محتوای کلروفیل a برگ در اثر تنش خشکی کاهش یافت، درحالی‌که کاربرد سایکوسل شدت این کاهش را تقلیل داد. همچنین در همه سطوح تنش خشکی، ژنوتیپ هندی محتوای کلروفیل a برگ کمتری داشت، امّا اختلاف بین دو ژنوتیپ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۶).

جدول ۳- آنالیز واریانس صفات محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای و نشت الکترولیت‌های برگ ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

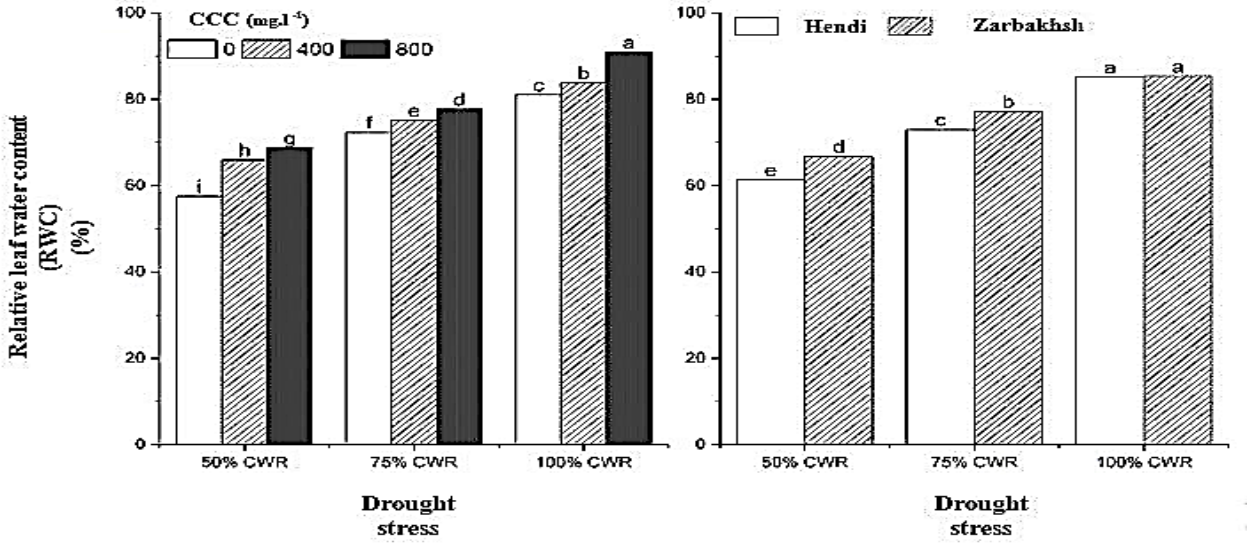
Table 3- Analysis of variance for the relative leaf water content (RWC), stomatal conductance and leaf electrolyte leakage of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares		
		محتوای نسبی آب برگ RWC	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage
بلوک Block	2	8.17 ns	56.5 ns	9.5*
تنش خشکی Drought (D)	2	1960.95***	113823.02***	1916.65***
خطا الف Error A	4	2.33	154.42	0.66
سایکوسل Cycocel (C)	2	334.04***	15221.55***	143.27**
C × D	4	25.67*	827.89*	24.75*
خطا ب Error B	4	1.72	81.14	1.65
ژنوتیپ Genotype (G)	1	134.57***	6469.60***	8.79 ns
G × D	2	30.42**	920.33**	75.04***
G × C	2	2.29 ns	16.56 ns	7.52 ns
D ×C ×G	4	1.29 ns	260.52 ns	10.97**
خطا Error	26	4.74	111.35	2.56
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.9	5.3	3.8

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

ns, *, ** and ***: non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای کلروفیل a برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب یک و ۱۲ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۹، ۵ و ۳ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۲۵، ۱۴ و ۱۲ درصد محتوای کلروفیل a برگ را کاهش داد. علاوه‌براین محتوای کلروفیل a برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت. همچنین در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل، محتوای کلروفیل b برگ را نسبت به عدم کاربرد آن به‌ترتیب ۴ و ۱۶ درصد افزایش داد. در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۳، ۸ و ۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۳۰، ۲۱ و ۱۷ درصد محتوای کلروفیل b برگ را کاهش داد (جدول ۶). همچنین محتوای کلروفیل b برگ ژنوتیپ هندی در اثر تنش خشکی بیشتر از ژنوتیپ زربخش کاهش یافت. تنش خشکی باعث افزایش محتوای کاروتنوئید شد و کاربرد سایکوسل باعث شد که اثر افزایندگی نشت الکترولیت‌ها در اثر تنش خشکی کمی کاهش یابد، همچنین مشخص شد که افزایش محتوای کاروتنوئید در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ هندی شدیدتر بود (جدول ۷).

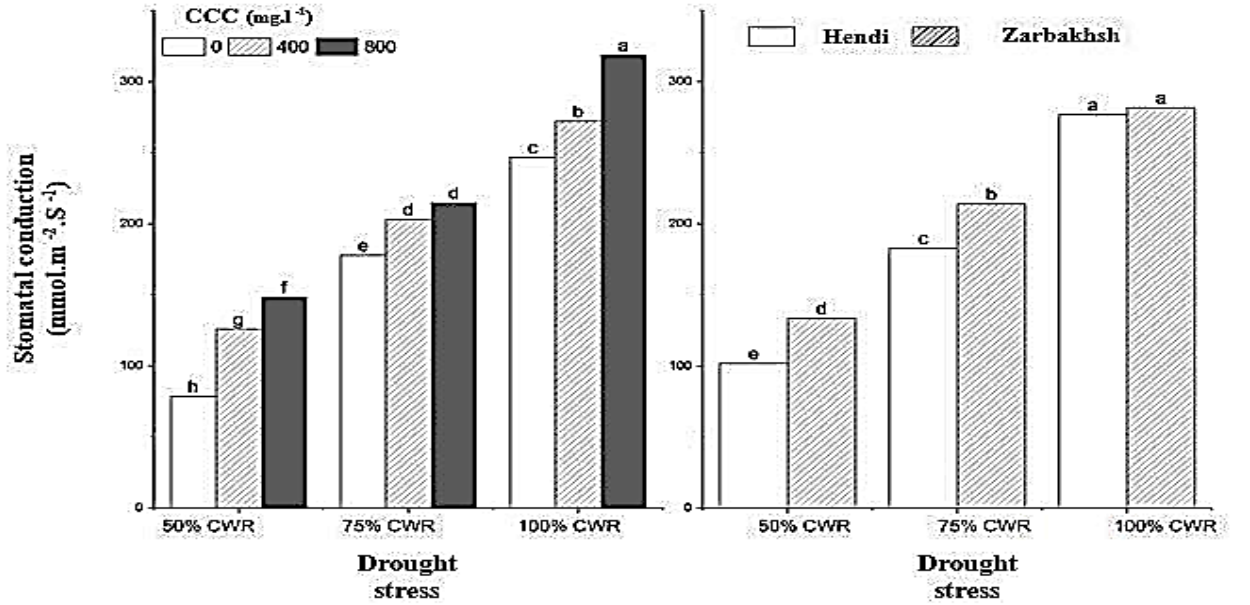


شکل ۳- محتوای نسبی آب برگ ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 3- The relative content of leaf water mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.



شکل ۴- هدایت روزنه‌ای ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و ژنوتیپ (راست) و تنش خشکی و سایکوسل (چپ)

Fig. 4- The stomatal conduction mung bean in the interactions of drought stress and genotype (right) and drought stress and cycocel (left)

در هر شکل میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR و CCC به‌ترتیب مخفف Crop Water Requirement و کلروکولین کلراید (سایکوسل) می‌باشند.

In each figure, means with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR and CCC are Crop Water Requirement and ChloroCholine Chloride (cycocel), respectively.

جدول ۴- نشت الکترولیت‌های برگ ماش (درصد) در برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ

Table 4- Leakage of leaf electrolytes (%) of mung bean in the interaction of drought stress, cycocel and genotype

تنش خشکی Drought	سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel (mg.l^{-1})	ژنوتیپ Genotype: هندی Hendi	ژنوتیپ Genotype: زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	0	59.1 ^{a*}	54.3 ^{b}
	400	51.7 ^{bc}	50.6 ^{cd}
	800	48.6 ^{de}	47.5 ^{e}
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	0	47.2 ^{ef}	44.7 ^{fg}
	400	43.6 ^{gh}	38.7 ^{i}
	800	41.6 ^{h}	36.5 ^{ij}
نیاز آبی گیاه CWR	0	30.5 ^{i}	34.0 ^{jk}
	400	25.1 ^{m}	33.2 ^{kl}
	800	31.3 ^{kl}	31.8 ^{kl}

* میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* The averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR is Crop Water Requirement.

جدول ۵- آنالیز واریانس صفات سبزینگی (اسپد)، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ ژنوتیپ‌های ماش در سطوح مختلف تنش خشکی و محلول‌پاشی با سایکوسل

Table 5- Analysis of variance for the spad, chlorophyll a, chlorophyll b and leaf carotenoid of mung bean genotypes at different levels of drought stress and foliar application with cycocel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares: سبزینگی Spad	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid
بلوک Block	2	1.63 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.06 *
تنش خشکی Drought (D)	2	1013.39 ***	1.46 ***	0.46 ***	5.98 ***
خطا الف Error A	4	1.23	0.003	0.0003	0.01
سایکوسل Cycocel (C)	2	136.93 **	0.35 **	0.072 ***	0.04 ^{ns}
C × D	4	9.38 **	0.05 **	0.006 ***	0.26 *
خطا ب Error B	4	0.35	0.002	0.00003	0.02
ژنوتیپ Genotype (G)	1	58.36 **	0.10 **	0.021***	0.37 ***
G × D	2	17.44 ^{ns}	0.01 ns	0.005 **	0.37 ***
G × C	2	0.44 ^{ns}	0.001 ns	0.0002 ^{ns}	0.03 ^{ns}
D ×C ×G	4	1.61 ^{ns}	0.003 ns	0.001 ^{ns}	0.06 *
خطا Error	26	0.78	0.01	0.001	0.02
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.2	4.2	7.1	8.0

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

ns, *, ** and ***: are non-significant and significant respectively at the probability levels of 0.05, 0.01 and 0.001

جدول ۶- سبزینگی (اسپد)، کلروفیل a و کلروفیل b برگ ماش در برهم‌کنش‌های تنش خشکی و سایکوسل و تنش خشکی و ژنوتیپ

Table 6- Spad, chlorophyll a and chlorophyll b in the interactions of drought stress and cycocel and drought stress and mung bean genotype

تنش خشکی Drought	سبزینگی Spad			کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ fw)			کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ fw)		
	سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)			سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)			سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)		
	0	400	800	0	400	800	0	400	800
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	28.78 a*	34.42 b	36.32 g	2.02 f	2.33 e	2.39 e	0.77 i	0.86 h	0.91 g
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	38.42 f	40.44 e	41.66 d	2.47 d	2.56 c	2.63 c	0.96 f	1.01 e	1.03 d
نیاز آبی گیاه CWR	45.46 c	48.24 b	51.51 a	2.71 b	2.73 b	3.03 a	1.09 c	1.14 b	1.27 a

تنش خشکی Drought	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh	هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	31.20 e	35.15 d	2.19 c	2.30 d	0.81 e	0.88 d
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	38.87 c	41.48 b	2.49 c	2.61 b	0.97 c	1.02 b
نیاز آبی گیاه CWR	48.47 a	48.34 a	2.81 a	2.84 a	1.17 a	1.17 a

* برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR: مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* For each trait, the averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR: is Crop Water Requirement.

جدول ۷- محتوای کاروتنوئید برگ ($mg.g^{-1}$ fw) ماش در برهم‌کنش تنش خشکی و سایکوسل و ژنوتیپ

Table 7- Leaf carotenoids content ($mg.g^{-1}$ fw) of mung bean in the interaction of drought stress and cycocel and genotype

تنش خشکی Drought	سایکوسل (میلی‌گرم در لیتر) Cycocel ($mg.l^{-1}$)	ژنوتیپ Genotype	
		هندی Hendi	زربخش Zarbakhsh
۵۰ درصد نیاز آبی گیاه CWR%50	0	2.04 de*	2.20 cd
	400	2.09 de	2.59 b
	800	2.34 c	2.87 a
۷۵ درصد نیاز آبی گیاه CWR%75	0	2.0 d-f	1.94 ef
	400	1.87 e-g	1.69 ghi
	800	1.79 f-h	1.58 hi
نیاز آبی گیاه CWR	0	1.15 k	1.46 ij
	400	0.83 l	1.30 jk
	800	1.18 k	1.20 jk

* میانگین‌های دارای حرف‌های مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) نشان نمی‌دهند. CWR مخفف Crop Water Requirement می‌باشد.

* The averages with a common letter do not show a significant difference at the 5% probability level using the least significant difference (LSD) test. Abbreviation CWR is Crop Water Requirement.

نتایج نشان داد که در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در ژنوتیپ هندی، کاربرد سایکوسل با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، محتوای کاروتنوئید را نسبت به شاهد، به‌ترتیب ۲۷ درصد کاهش و سه درصد افزایش داد و در ژنوتیپ زربخش، کاربرد سایکوسل با غلظت‌های ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، محتوای کاروتنوئید را نسبت به شاهد ۱۱ و ۷ درصد کاهش داد. محتوای کاروتنوئید، در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ هندی به‌ترتیب ۷۴، ۶۳ و ۵۶ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۲ و ۷۸ درصد افزایش یافت، درحالی‌که در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل در ژنوتیپ زربخش به‌ترتیب ۳۳، ۱۶ و ۸ درصد و در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مقایسه با شاهد، و کاربرد ۴۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سایکوسل به‌ترتیب ۹۸، ۷۸ و ۵۱ درصد افزایش یافت (جدول ۷). به نظر می‌رسد که علت کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن و تجزیه کلروفیل توسط این ترکیبات در سلول باشد. در همین ارتباط، تحقیقات انجام شده نشان داد که رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌گردند. کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به‌واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه، تجزیه کلروفیل است (Ahmadi & Siosemardeh, 2004).

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع، قطر ساقه، محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سبزینگی، محتوای کلروفیل a و محتوای کلروفیل b و افزایش نشت الکترولیت‌ها در گیاه ماش شد. در بین ارقام ماش مورد بررسی، رقم زربخش در تحمل شرایط کمبود آب نسبت به رقم توده هندی برتری نشان داد. با توجه به نتایج این آزمایش و با در نظر گرفتن سایر شرایط رشدی گیاه، به نظر می‌رسد که با تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، محلول‌پاشی ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سایکوسل احتمالاً نتایج مثبتی را در تحمل ماش به شرایط تنش خشکی داشته باشد.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر نباتی و جناب آقای دکتر داورپناه به‌دلیل یاری‌ها و راهنمایی‌های بی چشم‌داشت ایشان در به اتمام رساندن این پژوهش سپاسگزارم.

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری با شماره ثبت ۸۱۲۹، در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۴ در شورای تحصیلات تکمیلی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند می‌باشد و هزینه طرح از محل صندوق اعتباری دانشجویی تأمین‌شده است. بخشی از هزینه این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۵۴۴۱/د/۱۴۰۲ مورخ ۱۴۰۲/۳/۲۲ و با استفاده از اعتبارات گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ahmadi, A., & Siosemardeh, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline in four wheat cultivars adapted to different climatic conditions of Iran. *Iranian Journal of Agriculture Science*, *35*(3), 753-763. (In Persian). https://doi.org/10.22067/agry.2022.76580.1109

Ahmadi, M., Zare, M. J., & Emam, Y. (2019). Study of quantitative and qualitative traits of bread wheat by using of cycocel, zinc sulfate and bio-fertilizer application under dry land farming. *Plant Ecophysiology (Arsanjan Branch)*, *11*(38), 148-161. (In Persian with English Abstract)

Akbari, V., & Jalili Marandi, R. (2014). Effect of cycocel on growth and photosynthetic pigments of tow olive cultivars under different irrigation intervals. *Journal of Horticultural Science*, *27*(4), 460-469. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.30663

Amini, R., Zafarani-Moattar, P., Shakiba, M. R. & Hasanfard, A. (2023). Inoculating moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) with mycorrhizal fungi and bacteria may mitigate the adverse effects of water stress. *Scientific Reports*, *13*(1), 61-76. https://doi.org/10.1038/s41598-023-43539-3

Andalibi, B., & Nouri, F. (2014). Effect of cycocel on photosynthetic activity and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *6*(22), 91-104. (In Persian with English Abstract)

Barzegari, M., Emam, Y., & Zamani, A. (2020). Yield components and grain yield responses of four wheat cultivars to growth retardant cycocel under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, *10*(3), 139-156. (In Persian with English Abstract)

Bayat, A. A., Sepehari, A., Ahmadvand, G., & Dori, H. R. (2010). Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science, 12*(1), 42-54. (In Persian)

Dere, S., GÜNEŞ, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany, 22*(1), 13-18.

Ghalandari, S., Kafi, M., Goldani, M., & Bagheri, A. (2019). The effect of drought stress on some of morphological and physiological traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Pulses Research, 10*(1), 114-125. (In Persian with English Abstract). http://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.64836

Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Chaïbi, W., & Zarrouk, M. (2009). Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae, 119*(3), 257-263.

Haji Babaie, M. (2017). The Effect of drought stress on morphophysiological traits and yield and quality of new rapeseed lines. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Hashemabadi, D., Lipaei, S. R., Shadparvar, V., Zarchini, M., & Kaviani, B. (2012). The effect of cycocel and daminozide on some growth and flowering characteristics of *Calendula officinalis* L., an ornamental and medicinal plant. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*(9), 1752-1757.

Hashemzadeh, F. (2009). The effects of drought stress and cycocel on the yield of corn cultivars in the second crop. *Ecology of Agricultural Plants, 5*(1), 79-67. (In Persian)

Heidari, H., Alizadeh, Y., & Fazeli, A. (2019). Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristic and yield on mung bean (*vigna radiata* L.) under drought stress condition. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 26*(2), 127-141. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327

Heidari, S. (2018). The effect of tolerance of *Echinacea angustifolia* to drought stress, cadmium and oil pollution. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Gilan University, Gilan, Iran. (In Persian with English Abstract)

Karimpour, M. (2019). Effect of drought stress on RWC and chlorophyll content on wheat (*Triticum durum* L.) genotypes. *World Essays Journal, 7*(1), 52-56.

Karimzadeh Sureshjani, H. A. (2015). The effect of low irrigation on the morphophysiological characteristics and performance of pinto bean genotypes. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Khalili, M., Naghav, M. R., & Talebzade, S. J. (2020). Evaluation of changes in morphological, physiological and biochemical traits of some canola cultivars under salinity stress. *Crop Breeding Research Journal, 51*(2), 15-28. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.250429.654438

Khosroshahi, M. (2013). Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitates of Persian Gulf-Aman Sea region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21*(2), 300-315. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22092/IJFPR.2013.3859

Knapp, J. S., Harms, C. L., & Volenec, J. J. (1987). Growth regulator effects on wheat culm nonstructural and structural carbohydrates and lignin 1. *Crop Science, 27*(6), 1201-1205.

Kumar, R., Saravanan, S., Bakshi, P., & Srivastava, J. N. (2011). Influence of plant growth regulators on growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa Duch*) cv. Sweet Charlie. *Progressive Horticulture, 43*(2), 264-267.

Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A., & Kondracka, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: A review. *International Agrophysics, 27*(4), 463–477.

Lobon, N. C., Gallego, J. C. A., Diaz, T. S., & Garcia, J. C. E. (2002). Allepopathyic potential of *Cistrus landanifer* chemicals in response to variation of light and temperature. *Chemoecology, 12*, 139-143.

Mojadam, M., Sakinezhad, T., Shokoohfar, A., & Esmaili Pour, N. (2016). Effect of plant density and cycocel on quantitative characteristics and protein barley cultivar south. *Crop Physiology Journal, 29*(8), 121-135. (In Persian)

Nakhzari Moghaddam, A., Ghelichi Yanghagh, H., Biabani, A., & Taliey, F. (2020). The effect of nitrogen and irrigation interval on quantity traits and protein of mung bean (*Vigna radiata* L.) genotypes under non fixation of nitrogen. *Journal of Crops Improvement, 22*(2), 205-215. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2019.281865.2221

Narimani, H., Seyed Sharifi, R., khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.)

under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian Journal of Plant Biology, 10*(3), 21-40. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110895.1098

Naseri, R., Soleymani Fard, A., Mirzaei, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2020). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam privince. *Iranian Journal of Pulses Research, 10*(2), 62-76. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.64299

Navabpour, S., Hezarjaribi, E., & Mazandarani, A. (2017). Evaluation of drought stress effects on important agronomic traits, protein and oil content of soybean genotypes. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(4), 491-503. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2017.61.1021

Ohashi, Y., Nakayama, N., Saneoka, H., & Fujita, K. (2006). Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum, 50*, 138-141.

PirastehAnosheh, H., & Emam, Y. (2022). Induced salinity tolerance and altered ion storage factor in *Hordeum vulgare* plants upon salicylic-acid priming. *Iran Agricultural Research, 36*(1), 41-48. http://doi.org/10.22099/iar.2017.3878

Saei, A., Zamani, Z., Talaie, A., & Fatahi, R. (2006). Influence of drought stress periods on olive (*Olea europaea* L. cv. Zard) leaves stomata. *International Journal of Agriculture and Biology, 4*, 430-433.

Salehi, M., Faramarzi, A., Farboodi, M., Mohebalipour, N., & Ajalli, J. (2021). Effects of funneliformis mosseae and pseudomonas fluorescens on some growth and nutritional parameters of mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) under drought stress in a greenhouse condition. *Journal of Soil Biology, 9*(1), 73-84. (In Persian with English Abstract)

Salehpour, M., Ebadi, A., Izadi, M., & Jamaati-e-Somarin, S. (2009). Evaluation of water stress and nitrogen fertilizer effects on relative water content, membrane stability index, chlorophyll and some other traits of lentils (*Lens culinaris* L.) under *hydroponics conditions. Research Journal of Environmental Science, 3*(1), 103-109.

Shokhmgar, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, S. G., & Baradaran, R. (2021). To Study the response of grain yield and some agronomical traits of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to foliar application of growth regulators under drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 977-989. (In Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3136.1803

Shokouhfar, A., & Abofatilehnezhad, S. (2013). Effect of drought stress on some physiological traits and biological yield of different cultivars of mung (*Vigna radiate* (L.)) in Dezful. *Crop Physiology, 5*(17), 49-59. (In Persian)

Smart, R. E., & Bingham, G. E. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology, 53*(2), 258-260.

Tabatabai, S. M. T. (2021). Study of genetic diversity and cluster analysis for morphological traits of bread wheat under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(4), 913-928. (In Persian). http://doi.org/10.22077/escs.2020.3405.1857

Todaka, D., Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (2015). Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. *Frontiers in Plant Science, 6*, 84-91.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment, 52*(4), 184.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 215-231
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۳۱-۲۱۵
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

https://doi.org//10.22067/ijpr.2024.84718.1067

Reaction of Morphological Traits and Yield Components of Guar Plant (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Different Planting Dates and Zinc Sulfate Levels in Khorramabad region

Behrooz Mirderigvand[1]*, Seyedeh Hadis Shahrokhi[2], Masoumeh Amini[3]

Received: 03-11-2023
Revised: 23-04-2024
Accepted: 25-05-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Mirderigvand, B., Shahrokhi, S. H., & Amini, M. (2024). Reaction of morphological traits and yield components of guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in different planting dates and zinc sulfate levels in Khorramabad region. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 215-231. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.84718.1067

Introduction
Guar is a one-year plant from the Fabaceae family and tolerates dry and salty conditions, and therefore can be used as a high potential for production. The planting date is one of the most critical factors in the cultivation and production of crops. This is especially important for plants being introduced for cultivation in a region for the first time, as research on the optimal planting date for that area is essential. Mineral nutrition of agricultural plants is one of the most important aspects of production, and among the micronutrient elements, zinc has a fundamental role in the catalytic activities of proteins and enzymes involved in biological processes in growing plants. Facilitating the activity of many enzymes in the plant depends on the presence of appropriate amounts of zinc. Considering the research gap related to the effect of planting date and application of zinc sulfate in the study area and in order to compare with other different regions of the country, as well as the importance and development of new plant cultivation in the country, this research was carried out.

Materials and Methods
To investigate the response of morphological traits and yield components of guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) on different planting dates and zinc sulfate levels in the KhorramAbad region in the 2020 crop year, was carried out. This experiment was carried out as a split plot in the form of a basic design of randomized complete blocks with three replications. In the main plots, the planting date factor was set at three levels (including May 1, 20, and June 10), and in the secondary plots, zinc sulfate foliar treatments were applied at four levels: zero, 20, 40, and 60 kg per hectare of zinc sulfate applied. The amount of zinc sulfate in each plot was mixed with soil based on the treatment levels and the area of each plot. According to the test results, the soil was not deficient in phosphorus and potassium elements, so only urea fertilizer was used.

Results and Discussion
The results showed that the effect of planting date, zinc sulfate, and their interaction on plant height traits, the number of sub-branches per plant, leaf dry weight, and specific leaf surface area were significant. Also, the effect of planting date and zinc sulfate on the number of pods per m^2, grain yield, and leaf area index were significant. Planting guar on June 10 resulted in the highest number of pods per m^2 (1998.6 pods) and the number of seeds per m^2 (13920 seeds), and on the other hand, despite the positive correlation between them and seed yield, the highest seed yield on this date, 3889.7 kg per hectare was planted. The highest number of leaves per plant (846.75 leaves) and leaf area index (6.02) were obtained on the planting date of June 10 and with the application of 60 kg per hectare of zinc sulfate (689.44 leaves and 5.43, respectively). The highest amount of dry weight of leaves per plant in the treatment of application of 20 $kg.ha^{-1}$ of zinc sulfate was 21.08 grams and the highest specific surface area of guar leaf was obtained on the planting date of May 20 and in the treatment of no application of zinc sulfate (0.47). The presence of a positive correlation between growth characteristics, yield components, and leaf characteristics with grain yield also indicated the positive

1- Ph.D., Lorestan Province Agricultural Jihad Organization, Khorramabad, Iran.
2- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
3- M.Sc., Department of Biotechnology, Ramin Ahvaz University, Ahvaz, Iran.
* Corresponding Author: Hbehroozmir@gmail.com

effect of zinc sulfate application and planting date of 10 June in increasing these characteristics and as a result increasing grain yield.

Conclusions

With the delay in planting and the application of zinc sulfate fertilizer, which led to an increase in the grain yield components in the guar plant, the grain yield also increased. According to the results of this study, it can be said that to achieve the maximum seed yield in the guar plant in the Khorramabad region, this plant can be cultivated on the planting date of 10 Khordad. Also, considering that there was no significant difference in terms of grain yield among the different levels of zinc sulfate application, in order to achieve the highest grain yield with the lowest amount of cost, it is possible to use 20 kg of zinc sulfate per hectare.

Keywords: Chlorophyll, Grain performance, Leaf surface index, Spraying

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 215-231
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۳۱-۲۱۵
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

https://doi.org//10.22067/ijpr.2024.84718.1067

عکس‌العمل صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد گیاه گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) در تاریخ کاشت‌های متفاوت و سطوح سولفات روی در منطقه خرم آباد

بهروز میر دریگوند[1*]، سیده حدیث شاهرخی[2]، معصومه امینی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تاریخ کاشت و کاربرد سطوح مختلف سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوار، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی مرکز خرم آباد در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل، کرت‌های اصلی سه تاریخ کاشت (۱ و ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) و در کرت‌های فرعی نیز محلول‌پاشی سولفات روی در چهار سطح (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی) به‌صورت خاک-کاربرد قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت، سولفات روی و اثر متقابل آن‌ها بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، وزن خشک برگ و سطح ویژه برگ معنی‌دار شد. همچنین اثر تاریخ کاشت و سولفات روی بر صفات تعداد غلاف در مترمربع، عملکرد دانه و شاخص سطح برگ معنی‌دار شد. کاشت گوار در تاریخ ۱۰ خرداد منجر به بیشترین تعداد غلاف در مترمربع (۱۹۹۸/۶ غلاف) و تعداد دانه در مترمربع (۱۳۹۲۰ دانه) گردید و از طرفی، با وجود همبستگی مثبت بین آن‌ها با عملکرد دانه، سبب شد که بالاترین میزان عملکرد دانه در این تاریخ کاشت به‌میزان ۳۸۸۹/۷ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. براساس این نتایج، مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دست آمد و می‌توان این تیمار را به‌عنوان توصیه کاربردی برای کاشت گوار در منطقه در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، کلروفیل، محلول‌پاشی

مقدمه

گوار با نام علمی *Cyamopsis tetragonoloba* L. گیاهی یک ساله از خانواده بقولات و متحمل به شرایط خشک و شور است، بنابراین می‌تواند از آن به‌عنوان پتانسیل بالایی برای تولید دانه استفاده نمود (Dadgar et al., 2021; Garcia et al., 2023). هند، پاکستان، آمریکا، استرالیا و چندین کشور آفریقایی از بیشترین تولیدکنندگان گوار در جهان می‌باشند (Dadgar et al., 2021). طی چند سال اخیر در بعضی از نقاط کشور، سطح زیر کشت گوار افزایش پیدا کرده است. گوار را می‌توان به‌منظور علوفه یا دانه کشت کرد. صمغ گوار که تقریباً ۳۷ درصد آندوسپرم را تشکیل می‌دهد، به‌عنوان یک عامل تثبیت‌کننده در فرآیندهای مختلف فرآوری مواد غذایی، دارویی و صنعتی عمل می‌کند (Mudgil et al., 2014). این گیاه زراعی با عادت رشدی سریع، نیاز آبی نسبتاً کم و تحمل خوب در برابر تنش کم‌آبی، گزینه مناسبی برای تولید دانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران به نظر می‌رسد و برای برقراری یک نظام زراعت کم نهاده قابل استفاده است (Gendy et al., 2013). با توجه به توانایی تثبیت زیستی نیتروژن، گوار مانند اکثر بقولات یک‌ساله، گیاه مناسبی جهت بهبود حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود و ازاین‌رو در تناوب با غلات و گیاهان دانه روغنی که نیاز نیتروژنی بالایی دارند، قابل توصیه است (Kalyani, 2012).

تاکنون تحقیقات اندکی در مورد گیاه گوار و به‌خصوص تاریخ کاشت این گیاه در ایران انجام شده است و معرفی آن برای شروع کشت‌وکار در کشور نیاز به بررسی تأثیر عواملی مانند زمان کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و کیفیت محصول در هر منطقه دارد. اصولاً زمان کاشت هر گیاه زراعی با توجه به رقم مورد نظر برای کشت متفاوت است، علاوه‌براین تعیین بهترین زمان کاشت برای ارقام اصلاح‌شده و در دست معرفی و

۱- دکتری، سازمان جهاد کشاورزی استان لرستان، خرم آباد، ایران.
۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.
۳- کارشناس ارشد، گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه رامین اهواز، اهواز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Hbehroozmir@gmail.com)

اطلاع از رشد، عملکرد و کیفیت آن‌ها در زمان‌های مختلف کاشت، ضروری است (Mehdipour Afra et al., 2019). تاریخ کاشت، رسیدگی محصول گوار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، بالا بودن میانگین دمای هوا در طول فصل رشد، طول روزهای بلند و آب‌وهوای خشک، باعث افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه گوار می‌شود. ترکیب اثر منفی دماهای پایین، رطوبت بالا و طول روز کوتاه در کشت‌های تأخیری، باعث کاهش عملکرد دانه گوار خواهد شد، درحالی‌که دماهای بالا و طول روز بلند باعث رشد سریع و افزایش عملکرد دانه گوار در کشت‌های زودهنگام می‌شود (Sudhir et al., 2015). تغذیه معدنی گیاهان زراعی از مهم‌ترین جنبه‌های تولید است و در بین عناصر ریزمغذی، عنصر روی دارای نقش اساسی در فعالیت‌های متابولیکی مانند کربوهیدرات‌ها، لیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و سنتز پروتئین در فرایندهای زیستی گیاهان است (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). به عقیده مانیوسیگپرومال (Manivasagaperumal, 2011) تسهیل فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها در گیاه وابسته به وجود مقادیر مناسبی از عنصر روی است. به‌علاوه، عنصر روی در جهت رشد نرمال گیاه، بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های رشد از قبیل اکسین در جهت افزایش تولید سلول‌های گیاهی و زیست‌توده گیاهی و در نهایت، عملکرد نهایی دانه مورد نیاز گیاه است (Sunil et al., 2017). با توجه به خلأ تحقیقاتی در ارتباط با اثر تاریخ کاشت و کاربرد سولفات روی در منطقه مورد مطالعه و به‌جهت مقایسه با سایر مناطق مختلف کشور و همچنین اهمیت و توسعه کشت گیاهان جدید در کشور این پژوهش اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی جهاد کشاورزی واقع در جنوب خرم آباد در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ اجرا گردید. محل آزمایش در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۱۷ متر از سطح دریا با بارندگی سالیانه ۵۲۴ میلی‌متر و دمای متوسط سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد با اقلیم نیمه‌خشک بود. در جدول ۱ نیز اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه از قبیل میانگین بارش، میانگین حداقل و حداکثر دما در شش ماهه فصل رشد گیاه گوار نشان داده شده است. در این مطالعه، از عمق کاشت ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مزرعه یک نمونه مخلوط تهیه و به آزمایشگاه خاک مرکز تحقیقات کشاورزی استان لرستان ارسال گردید و نتایج حاصل از آنالیز خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد کشت در شش ماهه فصل رشد گیاه گوار

Table 1- Meteorological information of the cultivated area in the six months of the growing season of the guar plant

ماه Month	میانگین حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Average minimum temperature (°C)	میانگین بارش (میلی‌متر) Average rainfall (mm)	میانگین حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Average maximum temperature (°C)
فروردین April	6.35	114	19.75
اردیبهشت May	10.16	36.12	27.1
خرداد June	15.31	0	36.14
تیر July	18.68	0	38.29
مرداد August	19.89	7.74	39.4
شهریور September	16.38	0	36.88

این مطالعه به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش، در کرت‌های اصلی، فاکتور تاریخ کاشت در سه سطح (شامل ۱ اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد ماه) قرار داشت و در کرت‌های فرعی، تیمار سولفات روی در چهار سطح شامل صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار (مقادیر خالص کود سولفات روی به‌ترتیب حاوی صفر، ۶/۸، ۱۳/۶ و ۲۰/۴ کیلوگرم روی بود) به‌صورت خاک‌کاربرد بود. کود سولفات روی ۳۴ درصد بود. مقادیر سولفات روی در هر کرت به‌صورت جداگانه و بر مبنای سطوح تیماری و مساحت هر کرت با خاک مخلوط

شد. با توجه به نتایج آزمایش، خاک از نظر عناصر فسفر و پتاسیم کمبود نداشت و لذا، فقط از کود اوره استفاده شد. در تیمارهای حاوی کود، نیتروژن در طی دو مرحله به‌صورت ۵۰ درصد قبل از کاشت و ۵۰ درصد به‌صورت سرک استفاده شد. کود سولفات روی قبل از کاشت در هر کرت با خاک مخلوط شد. هر کرت شامل هشت خط کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به‌طول چهار متر بود. بنابراین، ابعاد هر کرت ۲/۴×۴ متر بود. فاصله بین دو کرت اصلی ۱۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر بود. تراکم کاشت ۹۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2020).

برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها از هر کرت نیم متر به‌عنوان حاشیه از هر دو طرف کرت حذف‌شده انجام شد. در این زمان، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و ویژگی‌هایی چون تعداد غلاف در مترمربع، تعداد دانه در مترمربع و تعداد دانه در غلاف اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، کلیه بوته‌های موجود در مساحت یک مترمربع میانی از هر کرت با حذف اثر حاشیه برداشت شد.

برای تعیین شاخص سطح برگ، پس از جدا کردن برگ‌ها، از همه برگ‌های نمونه در هر کرت تصویربرداری شد و با انتقال تصاویر به کامپیوتر و با استفاده از برنامه پردازش تصویر دیجی‌مایزر (DIGIMIZER V. 9.2) مساحت برگ‌های ۱۰ بوته محاسبه شد. در نهایت، با تقسیم مساحت برگ‌ها بر زمین اشغال‌شده توسط ۱۰ بوته شاخص سطح برگ بر اساس معادله ۱ محاسبه شد.

معادله (۱) $LAI= LA/GA$

که در آن، LA: مساحت برگ‌های بوته‌ها و GA: مساحت زمین اشغال‌شده توسط بوته‌های نمونه‌برداری شده می‌باشد.

سطح ویژه برگ‌ها، عبارت است از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ با واحد سانتی‌مترمربع بر گرم (Chogatapur et al., 2017).

(وزن خشک برگ‌ها / سطح برگ) = سطح ویژه برگ (SLA)

جهت محاسبات آماری در این مطالعه از نرم‌افزارهای SAS 9.3 و Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون خاک در منطقه خرم آباد

Table 2- Results of soil test in KhorramAbad region

عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر) Sampling depth (cm)	pH	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر) EC (mmohs.cm^{-1})	سختی کل آب (میلی‌گرم بر لیتر) Total dissolved solid (mg.l^{-1})	درصد ذرات خاک The percentage of soil particles: رس Clay	لای Silt	شن Sand	بافت Texture
0-30	7.75	0.59	28.1	39	43	18	لومی سیلتی رسی Clay silty loam

درصد کربن آلی Percentage of organic carbon	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر قابل جذب (ppm) Absorbable phosphorus (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm) Absorbable potassium (ppm)	آهن قابل جذب (ppm) Absorbable iron (ppm)	روی قابل جذب (ppm) Absorbable zinc (ppm)	مس قابل جذب (ppm) Absorbable copper (ppm)
1.50	0.07	14.9	360	8.24	0.68	1.51

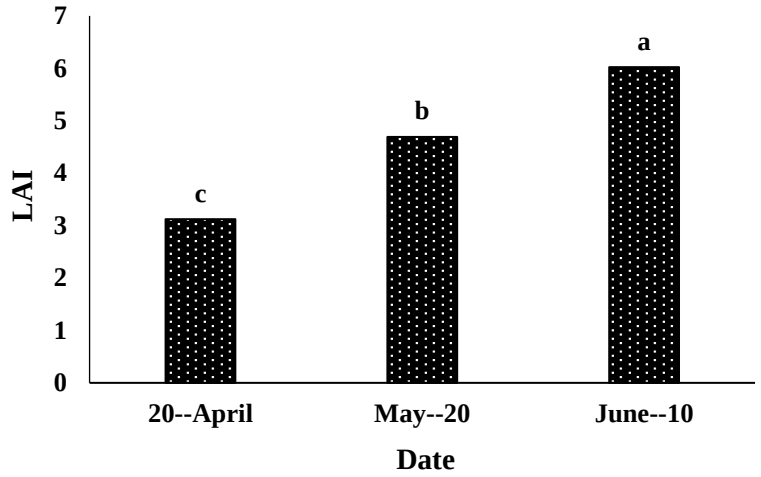
نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار تاریخ کاشت و سولفات روی در سطح یک درصد بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین، شاخص سطح برگ گیاه گوار با تأخیر در کاشت افزایش یافت، به‌طوری‌که در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد، بالاترین میزان شاخص سطح برگ گوار به‌میزان ۶/۰۲ حاصل گردید و این تاریخ کاشت نسبت دو تاریخ کاشت دیگر از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار بود. همچنین کمترین میزان شاخص سطح برگ به‌میزان ۳/۱۲ در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت حاصل شد و این تیمار با تیمار تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و ۲۰ اردیبهشت (۴/۶۹) دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (شکل ۱). در این مطالعه، تأخیر در کاشت تا ۱۰ خرداد منجر به بالاترین میزان شاخص سطح برگ و در نتیجه، عملکرد بالاتر شد. در مطالعه‌ای که حیدرزاده و همکاران (Heydarzade et al., 2022) روی گیاه گوار انجام دادند به این نتیجه رسیدند که بذرهای

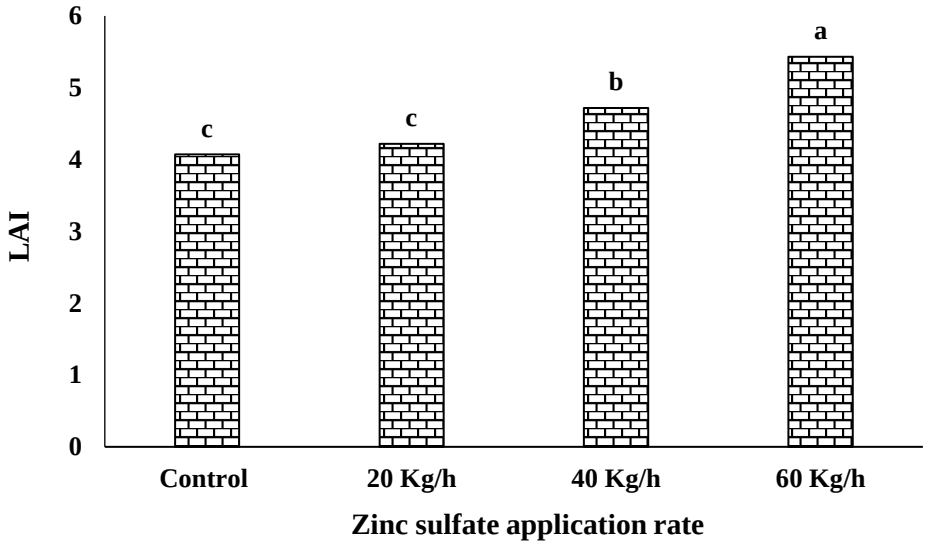
گوار در تاریخ کاشت ۵ خرداد از نظر رشد، جوانه‌زنی و در نتیجه، تشکیل اندام‌های حیاتی گیاه دارای برتری می‌باشند.

شاخص سطح برگ در گیاه گوار تحت اثر تیمار کاربرد سولفات روی قرار گرفت و مشخص شد که کاربرد سولفات روی تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار، میزان شاخص سطح برگ گیاه گوار را افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که کمترین میزان شاخص سطح برگ به‌مقدار ۴/۰۷ در شاهد حاصل شد و این تیمار به‌جز تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی (۴/۲۲) با سایر تیمارهای آزمایش دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود (شکل ۲). محققان نیز در مطالعه خود، افزایش میزان شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L) در اثر کاربرد سولفات روی را گزارش نمودند (Kamai et al., 2018) و عنوان داشتند که روی یک عنصر غذایی ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است که نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و افزایش شاخص سطح برگ را دارا است.



شکل ۱- اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر شاخص سطح برگ

Fig. 1- The effect of different planting dates on leaf area index



شکل ۲- اثر مقادیر کاربرد سولفات روی بر شاخص سطح برگ

Fig. 2- The effect of zinc sulfate application on leaf area index

جدول ۳- تجزیه واریانس خصوصیات برگ گوار تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 3- Analysis of variance for guar leaf characteristics under the influence of planting date and zinc sulfate treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		شاخص سطح برگ (LAI) Leaf area index (LAI)	سطح ویژه برگ (SLA) Specific surface area (SLA)	وزن خشک برگ‌های بوته Dryweight of plant leaves	ارتفاع بوته high plant	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	تعداد غلاف در مترمربع Number of pods per m^2	تعداد دانه در مترمربع Number of grains.m^{-2}	تعداد دانه در غلاف Number of seeds in a pod	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Repetition	2	0.15	0.0013	3.43	1.08	1.33	382699	11862586	0.054	3256
تاریخ کاشت (D) Planting date (D)	2	25.18**	0.0027**	321**	672.25*	162.75**	1313903**	139814621*	14.589*	15829508**
خطای کرت اصلی (Ea) Original plot error (Ea)	4	0.1	0.0006	2.62	53.33	1.7	120165	10739845	1.072	577926
سولفات روی (S) Zinc sulfate (S)	3	3.37**	0.0038 ns	23.62**	65.96*	10.99**	50165*	4154217 ns	0.619 ns	629931*
D×S	6	0.1 ns	0.0091**	18.68**	55.21**	2.26*	6751 ns	2093941 ns	0.709 ns	39886 ns
خطای کرت فرعی (Ea) Sub-plot error (Ea)	16	0.1	0.0017	1.06	13.32	0.73	13105	2015010	0.318	165286
ضریب تغییرات (٪) c.v (%)	-	6.89	12.95	6.74	3.26	6.29	6.8	14.35	10.2	16.31

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% level, respectively

سطح ویژه برگ (SLA)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار تاریخ کاشت و سولفات روی در سطح یک درصد بر سطح ویژه برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). سطح ویژه برگ گوار نیز تحت تأثیر متقابل تاریخ کاشت و کاربرد سولفات روی قرار گرفت. در سطح تیمار کاربرد ۰، ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، بیشترین میزان سطح ویژه برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت به‌دست آمد، درحالی‌که در سطح کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی، کمترین میزان سطح ویژه برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت به‌دست آمد. طبق این نتایج مشخص شد که بیشترین میزان سطح ویژه برگ گوار در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و در تیمار عدم کاربرد سولفات روی (۰/۴۷) به‌دست آمد و این تیمار با سایر تیمارهای آزمایش دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود. همچنین نتایج نشان داد که کمترین میان سطح ویژه برگ (۰/۲۶) در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت با کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد با کاربرد ۲۰ کیلوگرم و عدم کاربرد سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۴).

سطح ویژه برگ (SLA) در واقع بیانگر ضخامت برگ بوده که تحت تأثیر عوامل مدیریتی، فراهمی آب و شرایط آب‌وهوایی گیاه ممکن است متغیر باشد و همچنین شرایط تغذیه‌ای گیاه ممکن است بر SLA اثر بگذارد (Amanullah et al., 2007). در مطالعه‌ای بر روی گیاه لوبیا گزارش شد که کاربرد سولفات روی منجر به افزایش سطح برگ ویژه در این گیاه شده است که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت (Yadavi et al., 2014). در مطالعه محققان نیز مشخص شد که شاخص‌های رشدی گیاه گوار تحت تأثیر کاربرد کود روی قرار گرفتند (Anuradha et al., 2017). سطح ویژه برگ از خصوصیاتی بود که در مطالعه چودهری و همکاران (Choudhary et al., 2006) تحت تأثیر کاربرد سولفات روی قرار گرفت و مشخص شد که کاربرد سولفات روی دارای اثر منفی بر سطح ویژه برگ گیاه گوار بود.

وزن خشک برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار تاریخ کاشت و سولفات روی در سطح یک درصد بر وزن خشک برگ در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی بر میانگین وزن خشک برگ‌ها در بوته گوار معنی‌دار شد. طبق این نتایج، تأخیر در کاشت منجر به افزایش وزن خشک برگ در بوته گوار شد. همچنین نتایج نشان داد که در دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت، افزایش کاربرد سولفات روی منجر به افزایش وزن خشک برگ در بوته شد، ولی در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد بین سطوح مختلف کاربرد سولفات روی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. بر این اساس، بالاترین میزان وزن خشک برگ در بوته در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌میزان ۲۱/۰۸ گرم به‌دست آمد و این تیمار در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد با سایر تیمارهای کاربرد سولفات روی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میزان وزن خشک برگ در بوته در تیمار عدم کاربرد سولفات روی در دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت و به‌ترتیب با ۸/۳۵ و ۸/۲۰ گرم حاصل گردید و این دو تیمار با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند، ولی اختلاف آن‌ها با سایر تیمارهای آزمایش از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۵). در مطالعه‌ای روی گیاه گوار، وزن خشک برگ و بوته در تاریخ کاشت ۳۱ اردیبهشت بیشتر از سایر تاریخ‌های کاشت بود که دلیل آن را دریافت فتوپریود مناسب و دماهای مناسب جهت افزایش سنتز و تسهیم مواد فتوسنتزی عنوان داشتند (Mehdipour Afra et al., 2019). در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی اثر معنی‌داری بر افزایش وزن خشک برگ نداشت، درحالی‌که در دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت، کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی وزن خشک برگ را نسبت به شاهد افزایش داد. این در حالی بود که در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به‌دلیل مطلوب بودن شرایط رشد برای گیاه گوار، به حداکثر میزان رشد خود رسیده و افزایش کاربرد سولفات روی منجر به افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ در گیاه گوار نگردید.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار تاریخ کاشت و سولفات روی در سطح یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). ارتفاع بوته به‌عنوان یکی از صفات مورفولوژیکی گیاه گوار تحت تأثیر متقابل تاریخ کاشت و کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه مشخص شد که در تاریخ‌های کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت، کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی دارای اثر معنی‌دار در افزایش ارتفاع بوته بودند، درحالی‌که در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد، کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته ایجاد نکرد. همچنین نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت از ۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد، میزان ارتفاع بوته نیز افزایش یافت، به‌طوری‌که بالاترین میزان ارتفاع بوته به‌مقدار ۱۲۰/۶۶ سانتی‌متر در تیمارهای کاربرد صفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار

سولفات روی و در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد حاصل شد. همچنین بر این اساس مشخص شد که تیمار عدم کاربرد سولفات روی و در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت سبب شد که کمترین میزان ارتفاع بوته گوار به‌میزان ۹۹ سانتی‌متر حاصل گردد (جدول ۶). ارتفاع بوته با تأخیر در کاشت افزایش یافته است و این افزایش در سطوح مختلف تیمار کاربرد سولفات روی مشاهده شد. در مطالعه‌ای که محققان بر روی دو اکوتیپ گوار داشتند، تأخیر در کاشت منجر به کاهش میزان ارتفاع بوته گردید (Mehdipour Afra, 2019)، به‌طوری‌که ارتفاع بوته در تاریخ کاشت ۱۵ تیر حدود ۵۰ درصد کمتر از تاریخ کاشت اوایل خرداد بود. آن‌ها دلیل بیشتر بودن ارتفاع بوته گوار در تاریخ کاشت اوایل خرداد را مطلوب بودن شرایط محیطی جهت رشد بیشتر گیاه گوار عنوان داشتند و بیان نمودند که تاریخ کاشت نامناسب با اثر بر خصوصیات رشدی گیاه منجر به کاهش میزان ارتفاع بوته گوار می‌گردد.

جدول ۴- میانگین سطح ویژه برگ گوار تحت تأثیر متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 4- Average specific surface area of guar leaf under the mutual influence of planting date and zinc sulfate treatments

تاریخ کاشت Planting date	مقدار کاربرد سولفات روی Application amount Zinc sulfate			
	شاهد Control	۲۰ کیلوگرم در هکتار 20 kg per hectare	۴۰ کیلوگرم در هکتار 40 kg per hectare	۶۰ کیلوگرم در هکتار 60 kg per hectare
۱ اردیبهشت April 20	0.32^{cd*}	0.26^{e}	0.3^{cd}	0.35^{c}
۲۰ اردیبهشت May 20	0.47^{a}	0.36^{c}	0.4^{b}	0.28^{d}
۱۰ خرداد June 10	0.26^{e}	0.26^{e}	0.29^{d}	0.33^{cd}

* میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون آماری دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means that have at least one similar letter have no significant difference based on Duncan's statistical test at the 5 percent level.

جدول ۵- میانگین وزن خشک برگ گوار تحت تأثیر متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 5- The average dry weight of guar leaves under the mutual influence of planting date and zinc sulfate treatments

تاریخ کاشت Planting date	مقدار کاربرد سولفات روی Application amount zinc sulfate			
	شاهد Control	۲۰ کیلوگرم در هکتار 20 kg per hectare	۴۰ کیلوگرم در هکتار 40 kg per hectare	۶۰ کیلوگرم در هکتار 60 kg per hectare
۱ اردیبهشت April 20	8.35^{d*}	10.86^{c}	10.52^{c}	11.22^{b}
۲۰ اردیبهشت May 20	8.2^{d}	11.69^{b}	12.66^{b}	19.83^{a}
۱۰ خرداد June 10	20.88^{a}	21.08^{a}	20.96^{a}	20.35^{a}

* میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون آماری دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means that have at least one similar letter have no significant difference based on Duncan's statistical test at the 5 percent level.

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار تاریخ کاشت و سولفات روی در سطح یک درصد بر تعداد شاخه فرعی در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). در دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت، کاربرد مقادیر مختلف کود سولفات روی سبب شد که نسبت به تیمار عدم کاربرد سولفات روی اختلاف معنی‌داری وجود داشته باشد، درحالی‌که در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد، بین کاربرد و عدم کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، هرچند که کاربرد سولفات روی سبب شد که تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت به تیمار عدم کاربرد آن بیشتر گردد. همچنین نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت سبب شد که تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت به تیمار کاشت زودتر، افزایش بیشتری داشته باشد. بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته گوار در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و به همراه

مصرف ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات روی به تعداد ۱۸ شاخه در بوته حاصل گردید و اختلاف این تیمار با سایر تیمارهای آزمایش به‌جز تیمار عدم کاربرد سولفات روی در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد (۱۷/۳۳) دارای اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون دانکن بود. تیمار عدم کاربرد سولفات روی در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت نیز دارای کمترین تعداد شاخه فرعی در بوته به تعداد ۹/۶۶ شاخه در بوته بود (جدول ۷). تاریخ کاشت مناسب برای گیاه گوار تاریخی است که دماهای مطلوب رشد برای گیاه گوار با مراحل رشد رویشی این گیاه منطبق بوده و همچنین با افزایش میزان سنتز هورمون‌های رشد گیاهی و افزایش دسترسی به آب و مواد غذایی همراه با جذب بیشتر آن‌ها منجر به افزایش رشد رویشی و در نتیجه، افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته گردد (Mehdipour Afra et al., 2019).

جدول ۶- میانگین ارتفاع بوته (سانتی‌متر) گوار تحت تأثیر متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 6- Average plant height (cm) of guar under the mutual influence of planting date and zinc sulfate treatments

تاریخ کاشت Planting date	مقدار کاربرد سولفات روی Application amount zinc sulfate			
	شاهد Control	۲۰ کیلوگرم در هکتار 20 kg per hectare	۴۰ کیلوگرم در هکتار 40 kg per hectare	۶۰ کیلوگرم در هکتار 60 kg per hectare
۱ اردیبهشت April 20	99[d]	113.33[b]	103[cd]*	111.33[b]
۲۰ اردیبهشت May 20	104.33[c]	106.66[c]	112[b]	110.66[b]
۱۰ خرداد June 10	120.66[a]	120.33[a]	120.66[a]	120[a]

* میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون آماری دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

* Means that have at least one similar letter have no significant difference based on Duncan's statistical test at the 5 percent level.

جدول ۷- میانگین تعداد شاخه فرعی در بوته گوار تحت تأثیر متقابل تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 7- The average number of sub-branches in guar plant under the mutual influence of planting date and zinc sulfate treatments

تاریخ کاشت Planting date	مقدار کاربرد سولفات روی Application amount zinc sulfate			
	شاهد Control	۲۰ کیلوگرم در هکتار 20 kg per hectare	۴۰ کیلوگرم در هکتار 40 kg per hectare	۶۰ کیلوگرم در هکتار 60 kg per hectare
۱ اردیبهشت April 20	9.66[d]*	12[bc]	10[cd]*	13.66[b]
۲۰ اردیبهشت May 20	10[cd]	12[bc]	11.33[c]	13[b]
۱۰ خرداد June 10	17.33[a]	18[a]	18[a]	18[a]

* میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون آماری دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

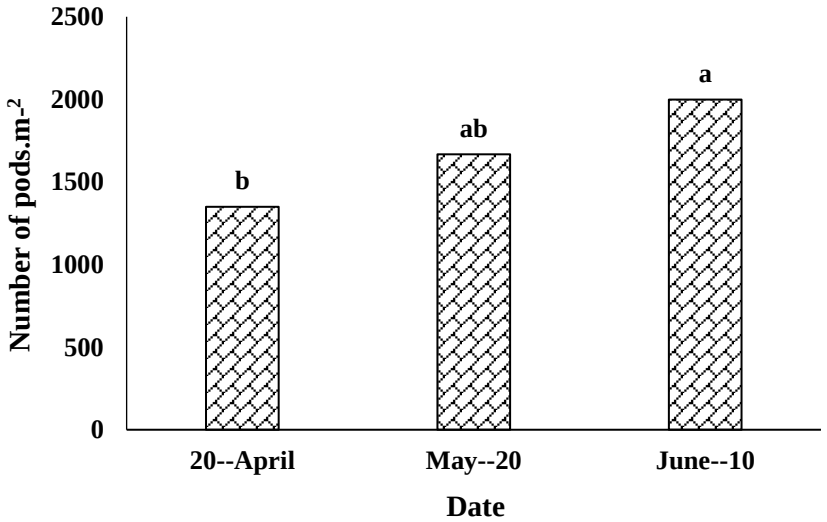
* Means that have at least one similar letter have no significant difference based on Duncan's statistical test at the 5 percent level.

تعداد غلاف در مترمربع

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار تاریخ کاشت در سطح یک درصد و سولفات روی در سطح پنج درصد بر تعداد غلاف در مترمربع معنی‌دار بود (جدول ۳). تعداد غلاف در مترمربع تحت تأثیر تیمار تاریخ کاشت قرار گرفت و نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت منجر به افزایش تعداد غلاف در مترمربع شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد غلاف در مترمربع در گیاه گوار در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به تعداد ۱۹۹۸/۶ غلاف در مترمربع حاصل شد و این تیمار با تیمار تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۱۶۶۷/۹ غلاف در مترمربع) اختلاف معنی‌داری نداشت. این در حالی بود که اختلاف این تیمار با تاریخ کاشت ۱۰ خرداد که دارای کمترین تعداد غلاف در مترمربع بود (۱۳۵۰ غلاف در مترمربع)، از نظر آماری معنی‌دار بود (شکل ۳). تأخیر در کاشت از ۱ اردیبهشت تا تاریخ ۱۰ خرداد منجر به افزایش

تعداد غلاف در مترمربع شد و بالاترین تعداد غلاف در مترمربع در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد حاصل گردید. در تاریخ‌های کاشت زودتر، شرایط جهت افزایش رشد و در نتیجه، افزایش سطح برگ و سنتز مواد فتوسنتزی مطلوب نبوده و در نتیجه آن، تعداد غلاف در مترمربع نیز کاهش یافت. محققان با بررسی گوار در تاریخ‌های مختلف کاشت (۲۲ اردیبهشت، ۵ خرداد، ۱۹ خرداد، ۲ تیر) در گیلان اظهار داشتند که بالاترین تعداد غلاف در بوته را در تاریخ کاشت ۵ خرداد به‌دست آوردند (Heydarzade et al., 2020) که تأییدکننده نتاج حاصل از این مطالعه است. در تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت گل‌دهی و تشکیل غلاف با دماهای نامطلوب جهت تشکیل گل و غلاف در گیاه گوار همراه بوده و در نتیجه، تعداد غلاف در واحد سطح نیز کاهش یافته است، ولی در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد گل‌دهی با دماهای مطلوب همراه بوده و در نتیجه، تعداد کمتری از گل‌ها سقط شده و منجر به افزایش تعداد غلاف در واحد سطح شده است. نتایج بیانگر این مطلب است که تأخیر بیش‌ازحد در کاشت گوار منجر به کاهش بیش‌ازحد تعداد غلاف در واحد سطح می‌گردد.

نتایج نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی نیز دارای اثر معنی‌دار بر تعداد غلاف در مترمربع بودند، هرچند که کاربرد سولفات روی سبب شد که تعداد غلاف در مترمربع نسبت به تیمار عدم کاربرد آن افزایش معنی‌داری داشته باشد، ولی مشاهده شد که براساس آزمون دانکن بین سطوح مختلف سولفات روی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و بیشترین تعداد غلاف در مترمربع در تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به تعداد ۱۷۴۱/۷ غلاف در مترمربع به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که شاهد دارای کمترین تعداد غلاف در مترمربع به تعداد ۱۵۶۲/۱ غلاف در مترمربع بود و با سایر تیمارها دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود (شکل ۴). کاربرد کود سولفات روی در همه سطوح منجر به افزایش تعداد غلاف در واحد سطح شد و این افزایش ناشی از افزایش تعداد واحدهای زایشی در هر بوته است. افزایش تعداد غلاف در بوته در گیاهان لگوم با کاربرد عنصر روی گزارش شده است (Yashona et al., 2018) که تأییدکننده نتایج حاصل از این مطالعه است.



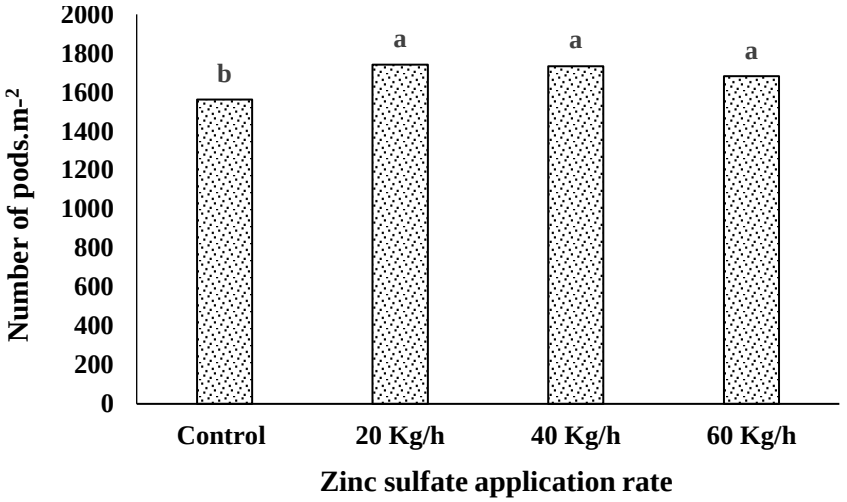
شکل ۳- میانگین تعداد غلاف گوار در مترمربع تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت

Fig. 3- The average number of guar pods per m^2 under the influence of different planting dates

تعداد دانه در مترمربع

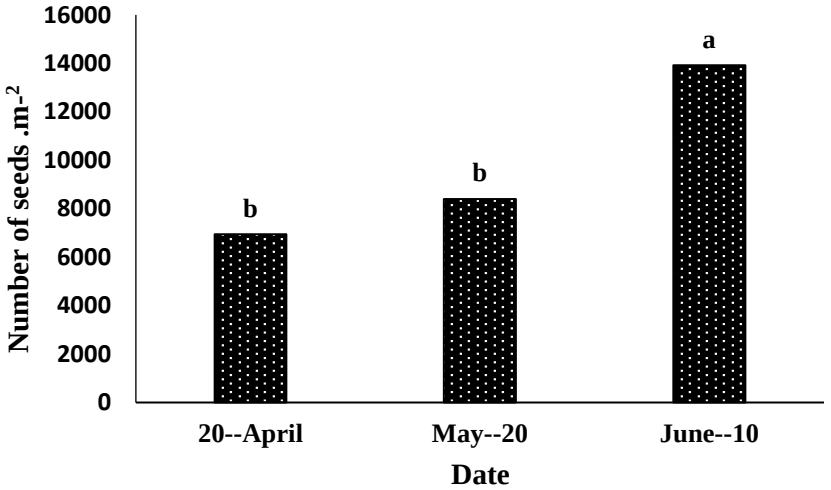
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار تاریخ کاشت در سطح پنج درصد بر تعداد دانه در مترمربع معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آزمایش نشان داد که تأخیر در کاشت تا تاریخ ۱۰ خرداد سبب شد که تعداد دانه در مترمربع بیشتری تشکیل شده و بالاترین تعداد دانه در مترمربع در تیمار تاریخ کاشت ۱۰ خرداد به تعداد ۱۳۹۲۰ دانه در مترمربع حاصل شد و با دو تاریخ کاشت دیگر دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که هرچند بین دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی کمترین تعداد دانه در مترمربع در تیمار تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت به تعداد ۶۹۴۷ دانه در مترمربع به‌دست آمد، درحالی‌که تعداد دانه در مترمربع در تاریخ کاشت ۲۰ اسفندماه ۸۳۹۹ دانه در مترمربع بود (شکل

۵). در این مطالعه مشخص شد که تأخیر در کاشت تا ۱۰ خرداد سبب شد که بالاترین تعداد دانه در واحد سطح حاصل گردد و همچنین تاریخ کاشت ۱۰ خرداد دارای بالاترین تعداد دانه در واحد سطح بود. در مطالعه محققان نیز مشاهده شد که در تاریخ کاشت ۵ خرداد، گیاه گوار دارای بالاترین تعداد دانه در واحد سطح بود (Meftahizadeh & Asareh, 2019) که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت.



شکل ۴- میانگین تعداد غلاف گوار در مترمربع تحت تأثیر مقادیر مختلف کاربرد سولفات روی

Fig. 4- The average number of guar pods per m^2 under the influence of different amounts of zinc sulfate application



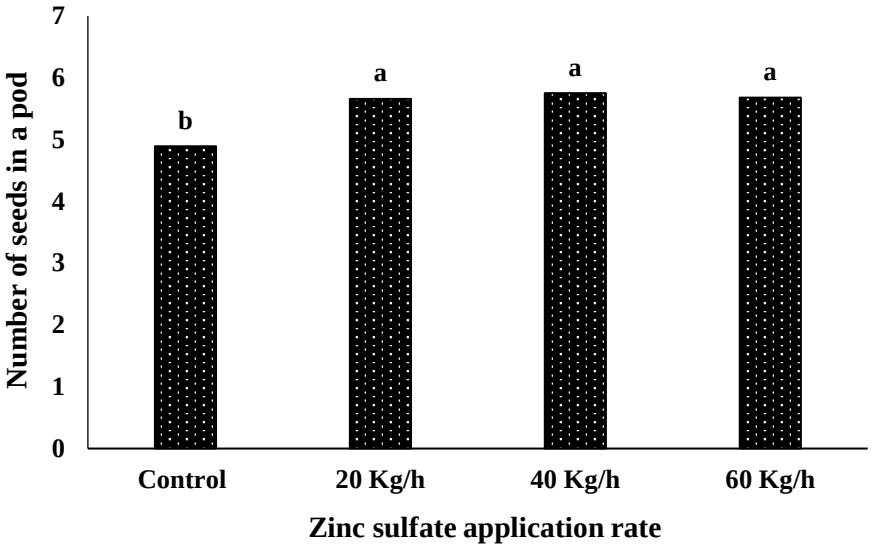
شکل ۵- میانگین تعداد دانه گوار در مترمربع تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت

Fig. 5- The average number of guar seeds per m^2 under the influence of different planting dates

تعداد دانه در غلاف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار سولفات روی در سطح پنج درصد بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد سولفات روی سبب شد که تعداد دانه در غلاف نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافته و بالاترین تعداد دانه در غلاف در تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌میزان ۵/۷۵ دانه در غلاف به‌دست آمد و بین سطوح مختلف سولفات روی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بر طبق این نتایج مشخص شد که کمترین تعداد دانه در غلاف در تیمار عدم کاربرد سولفات روی به تعداد ۴/۸۹ دانه در غلاف به‌دست آمد (شکل ۶). تعداد دانه در غلاف در گیاه گوار تحت تأثیر کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی افزایش یافت و مشخص شد که اختلاف کاربرد هر سه سطح از سولفات روی نسبت به تیمار عدم کاربرد

سولفات روی معنی‌دار بود. افزایش تعداد دانه در غلاف در برخی دیگر از لگوم‌ها در مطالعات مختلف گزارش شده است که دلیل آن، اثر این عنصر بر افزایش تعداد واحدهای زایشی و همچنین افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به این اندام‌ها عنوان شده است (Shah et al., 2016). محققان نیز در مطالعه خود، افزایش تعداد دانه در غلاف در اثر کاربرد سولفات روی را گزارش نمودند (Sunil et al., 2017) که با یافته‌های حاصل از این مطالعه مطابقت داشت.



شکل ۶- میانگین تعداد دانه در غلاف گوار تحت تأثیر مقادیر کاربرد سولفات روی

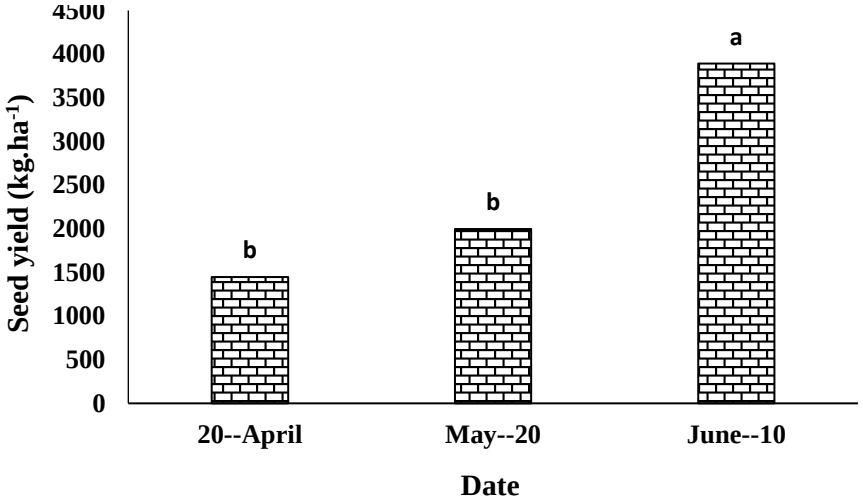
Fig. 6- The average number of seeds in guar pods under the influence of zinc sulfate application rates

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمار تاریخ کاشت در سطح یک درصد و سولفات روی در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که تأخیر در کاشت سبب شد که میزان عملکرد دانه افزایش یابد، به‌طوری‌که بالاترین میزان عملکرد دانه به‌میزان ۳۸۸۹/۷ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد حاصل شد و این تیمار با دو تاریخ کاشت دیگر اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین نتایج نشان داد که میزان عملکرد دانه در دو تاریخ کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب ۱۴۴۷/۷ و ۱۹۹۶/۵ کیلوگرم در هکتار بود و بین این دو تاریخ کاشت از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۷). در این مطالعه، عملکرد دانه در گیاه گوار با تأخیر در کاشت افزایش یافته و تاریخ‌های کاشت ۱ و ۲۰ اردیبهشت ماه، عملکرد دانه کمتری نسبت به تاریخ کاشت ۱۰ خرداد داشتند. عملکرد بالای بذر در ۱۰ خرداد به‌دلیل بالا بودن پارامترهای رشدی و اجزای عملکردی و همچنین مصادف شدن دوره پرشدن دانه و رسیدگی در دمای هوای بهینه نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت بود. یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت مطلوب، وجود برگ‌های عریض بیان شده است که می‌توانند در جذب تشعشات خورشیدی موثر واقع شوند (Heydarzade et al., 2020).

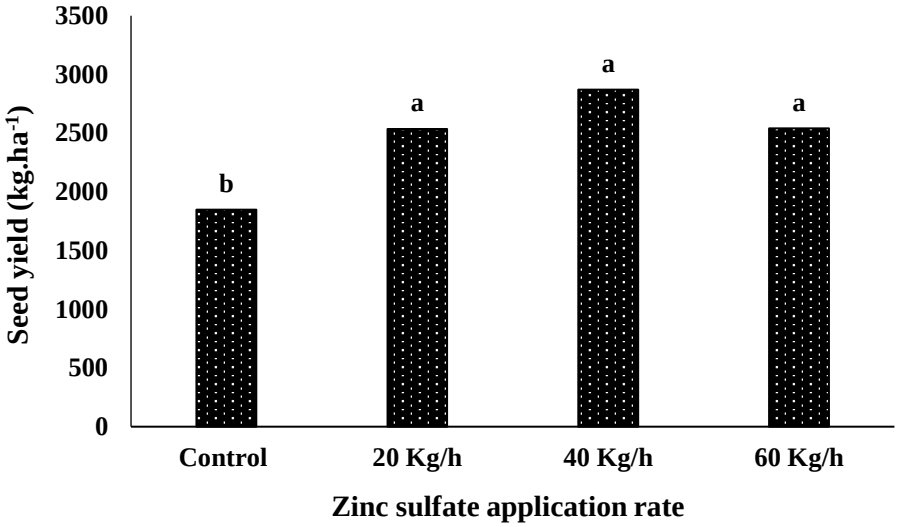
عملکرد دانه گیاه گوار تحت تأثیر تیمار کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی قرار گرفت و بر طبق این نتایج مشخص شد که میزان عملکرد دانه در تیمار کاربرد مقادیر مختلف سولفات روی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب به‌میزان ۲۸۷۱/۶ و ۱۸۴۸/۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب مربوط به تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و عدم کاربرد سولفات روی بود، هرچند بین تیمار عدم کاربرد و کاربرد مقادیر مختلف کود سولفات روی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۸).

بین هر سه سطح کاربرد سولفات روی نسبت به سطح عدم کاربرد سولفات روی عملکرد دانه را افزایش دادند و اختلاف هر سه سطح با شاهد معنی‌دار بود. در مطالعه‌ای مشابه روی گیاه گوار مشخص شد که کاربرد سولفات روی نسبت به تیمار عدم کاربرد سولفات روی میزان عملکرد دانه گیاه گوار را افزایش داد (Sunil et al., 2017). عنصر روی دارای نقش مهمی در بیوسنتز ایندول استیک اسید بوده و این هورمون نیز مسئول انگیزش پرایمورديا‌ها به‌عنوان اندام‌های تشکیل‌دهنده قسمت‌های زایشی گیاه بوده و همچنین این هورمون تسهیم مواد فتوسنتزی و اختصاص آن‌ها به قسمت‌های زایشی را بر عهده داشته و در نتیجه آن، منجر به افزایش عملکرد نهایی گیاه می‌گردد (Ram & Katiyar, 2013).



شکل ۷- میانگین عملکرد دانه گوار تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت

Fig. 7- The average yield of guar seed under the influence of different planting dates



شکل ۸- میانگین عملکرد دانه گوار تحت تأثیر مقادیر کاربرد سولفات روی

Fig. 8- The average yield in guar the influence of zinc sulfate application rates

همبستگی بین صفات

نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین صفات نشان داد که صفت تعداد غلاف در مترمربع با صفاتی از قبیل تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در مترمربع، عملکرد دانه، تعداد شاخه فرعی در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و غیر معنی‌دار بود (جدول ۸). همچنین بر طبق این نتایج مشخص شد که صفت تعداد دانه در غلاف با صفات تعداد دانه در مترمربع، عملکرد دانه، تعداد شاخه فرعی در بوته، ارتفاع بوته،

وزن خشک برگ و شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و معنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج حاصل از تجزیه همبستگی بین صفات نشان داد که صفت تعداد شاخه فرعی در بوته با صفات ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و معنی‌دار بود. ارتفاع بوته نیز با شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و معنی‌دار بود. صفت تعداد برگ در بوته نیز با صفات وزن خشک برگ و شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و معنی‌دار بود (جدول ۸). وزن خشک برگ در بوته نیز با صفت شاخص سطح برگ دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود، ولی همبستگی آن با سطح ویژه برگ منفی و معنی‌دار بود. صفت شاخص سطح برگ نیز با صفت سطح ویژه برگ همبستگی منفی و معنی‌دار داشت. ارتباط بین صفات مختلف بیانگر تأثیرپذیری صفات بر هم بوده و در این مطالعه نیز همبستگی مثبت بین اجزای عملکرد دانه از قبیل تعداد غلاف و دانه در مترمربع بر عملکرد دانه بیانگر این مطلب است که افزایش هرکدام از این اجزای عملکرد می‌تواند بر عملکرد دانه اثر مثبت گذاشته و منجر به افزایش عملکرد دانه گردد. در این مطالعه نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات اجزای عملکرد دانه با عملکرد دانه نشان می‌دهد که افزایش یا کاهش هرکدام از اجزای عملکرد دانه منجر به افزایش یا کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌گردد. وجود همبستگی مثبت بین اجزای عملکرد دانه و همچنین خصوصیات برگی گیاه گوار با عملکرد دانه بیانگر این مطلب است که تأخیر در کاشت گیاه گوار تا ۱۰ خرداد و همچنین کاربرد عنصر سولفات روی که منجر به افزایش اجزای عملکرد و همچنین خصوصیات برگی گیاه گوار می‌گردد، افزایش عملکرد دانه را در پی خواهد داشت. محققان وجود همبستگی مثبت بین اجزای عملکرد دانه با عملکرد دانه را گزارش نموده (Ahmadi Nouraldinvand, 2020) و عنوان داشتند که تیمارهای آزمایشی که منجر به افزایش اجزای عملکرد دانه گوار گردد، عملکرد دانه را نیز افزایش می‌دهند. همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با شاخص سطح برگ نیز بیانگر اثر مثبت تأخیر در کاشت و کاربرد سولفات روی بر افزایش سطح برگ و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه است، زیرا افزایش سطح برگ با افزایش میزان سطح فتوسنتزکننده گیاه و در نتیجه، افزایش سنتز مواد فتوسنتزی همراه است که با افزایش انتقال آن‌ها به اندام‌های زایشی، عملکرد دانه را در پی خواهد داشت.

جدول ۸- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه گوار تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت و سولفات روی

Table 8- Correlation between measured traits in guar plant under the influence of planting date and zinc sulfate treatments

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
تعداد غلاف در مترمربع Number of pods per m^2	1								
تعداد دانه در غلاف Number of seeds in a pod	0.75**	1							
تعداد دانه در مترمربع Number of seeds per m^2	0.92**	0.91**	1						
عملکرد دانه Seed yield	0.77**	0.83**	0.86**	1					
تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	0.68**	0.85**	0.8**	0.82**	1				
ارتفاع بوته Plant height	0.55**	0.64**	0.56**	0.65**	0.79**	1			
وزن خشک برگ در بوته Dry weight of leaves per plant	0.75**	0.78**	0.83**	0.73**	0.89**	0.77**	1		
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.73**	0.64**	0.81**	0.68**	0.78**	0.68**	0.86**	1	
سطح ویژه برگ Specific surface area	-0.19	-0.41*	-0.23	-0.3	-0.42*	-0.36*	-0.52**	-0.06	1

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد

* and **: significant at the 5% and 1% level, respectively

نتیجه‌گیری

تاریخ کاشت و کاربرد مواد مغذی از قبیل سولفات روی دارای تأثیر مثبتی در تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گیاه گوار دارند. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشخص گردید که تأخیر در تاریخ کاشت گیاه گوار تا ۱۰ خرداد سبب شد که خصوصیات رشدی گیاه مانند ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی در بوته و همچنین عملکرد دانه از قبیل تعداد غلاف در مترمربع و تعداد دانه در مترمربع افزایش یافته و در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که بالاترین میزان عملکرد در این تاریخ کاشت به‌میزان ۳۸۸۹/۷ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. همچنین کاربرد سولفات روی در همه سطوح سبب شد که عملکرد و اجزای عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش یابد و بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد. تأخیر در کاشت و افزایش میزان کاربرد سولفات روی سبب شد، شاخص سطح برگ افزایش یابد، به‌طوری‌که بالاترین شاخص سطح برگ (۶/۰۲) در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد و با کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی (۵/۴۳) به‌دست آمد. با تأخیر در کاشت و کاربرد کود سولفات روی که منجر به افزایش اجزای عملکرد دانه در گیاه گوار شد، میزان عملکرد دانه نیز افزایش یافت. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان عنوان داشت که جهت رسیدن به حداکثر میزان عملکرد دانه در گیاه گوار در منطقه خرم آباد، می‌توان این گیاه را در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد کشت نمود. همچنین با توجه به اینکه در بین سطوح مختلف کاربرد سولفات روی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، جهت رسیدن به بالاترین میزان عملکرد دانه با کمترین میزان هزینه می‌توان از کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بهره برد.

سپاسگزاری

با سپاس از مرکز تحقیقات کشاورزی مرکز خرم آباد که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند.

References

Ahmadi Nouraldinvand, F., Moradi Telavat, M R., Siadat, S. A., & Moshattati, A. (2020). The reaction of vegetative and reproductive growth of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) to humic acid application with irrigation water in different planting densities. *Iranian Journal Pulses Research*, *10*(2), 104-118. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397

Amanullah, M. J. H., Khalid, N., & Asad, A. (2007). Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and Leaf Area Ratio (LAR) of maize (*Zea mays L.*) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Sciences*, *2*(3), 235-243.

Anuradha, R. K., Singh. Pareek, B., Kumar, D., Meena, M., & Dubey, S.K. (2017). Different levels of fertilizers on growth and yield of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in rainfed area of Uttar Pradesh. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *6*(4), 2029-2036. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.240

Bremner, J. M., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., & Sumner, M. E. (1996). Nitrogen-total. Methods of soil analysis. *Part 3 Chemical Methods*, *5*, 1085-1121. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37

Chamani, F., Tohidinejad, A., & Maheji, M. (2017). Effect of drought stress and salicylic acid on some morphophysiological and agronomic traits of guar plant (*Cyamopsis tetragonoloba L.*). *Crop Physiology*, *10*(4), 18-5. (In Persian with English abstract)

Choudhary, M. (2006). Response of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub] to sulphur and zinc fertilization. M.Sc. (Ag.) Thesis, Rajasthan Agricultural University, Bikaner.

Dadgar, M., Rastegar, S., & Piry, H. (2021). Effect of different irrigation intervals on some morphophysiological characteristics of different genotypes of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*). *Iranian Journal Pulses Research*, *12*(1), 156-170. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i1.83229

Garcia, A., Grover, K., VanLeeuwen, D., Stringam, B., & Schutte, B. (2023). Growth and performance of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes under various irrigation regimes with and without biogenic silica amendment in Arid Southwest US. *Plants*, *12*(13), 2486. https://doi.org/10.3390/plants12132486

Gendy, A. S., Said-Al Ahl, H. A., Mahmoud, A. A., & Mohamed, H. F. (2013). Effect of nitrogen sources, bio-fertilizers and their interaction on the growth, seed yield and chemical composition of guar plants. *Life Science Journal*, *10*(3), 389-402.

Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition, 46*(9), 2198-2230. https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720

Heydarzade, M., Ehteshami, S. M. R., & Rabiee, M. (2020). Effect of planting date and plant density on qualitative characteristics, yield and yield components of guar (*Cyamopsis tetragonoloba L.*) Taub. in Guilan province. *Plant Process and Function, 9*(39), 197-214. (In Persian with English abstract)

Heydarzade, M., Ehteshami, S. M., & Rabiee, M. (2022). Evaluation of the effect of planting date and plant density of maternal plant on the quality and germination characteristics of guar seed (*Cyamopsis tetragonoloba*) in Guilan province. *Iranian Journal of Seed Research, 9*(1), 25-41. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.52547/yujs.9.1.25

Kalyani, D. L. (2012). Performance of cluster bean genotypes under varied time of sowing. *Legume Research-An International Journal, 35*(2), 154-158.

Kamai, H., Isvand, H., Daneshvar, M., & Nazarian Firouzabadi, F. (2018). Investigating the effect of planting date, phosphate biofertilizer and zinc and boron foliar application on grain yield and some physiological traits of wheat. *Plant Process and Function, 8*(29), 59-73. (In Persian with English abstract)

Manivasagaperumal, S., Thiyagarajan, G., & Sekar, S. (2011). Effect of zinc on germination, seedling growth and biochemical content of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba L.*). *Current Botany, 2*, 11-15. (In Persian with English abstract)

Meftahizadeh, H., & Asareh, M. H. (2019). Comparison of native populations and commercial cultivars of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) for yield, yield components, and qualitative characteristics under different seasonal cultivation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35*(3), 456-470. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.124466.2454

Mehdipour Afra, M., AghaAlikhani, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Soufizadeh, S. (2019). Effect of sowing time and plant density on growth and seed yield of two guar ecotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences, 21*(2), 109-126. (In Persian with English abstract)

Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: processing, properties and food applications-A review. *Journal of Food Science and Technology, 51*, 409-418. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x

Ram, S., & Katiyar, T. P. S. (2013). Effect of sulphur and zinc on the seed yield and protein content of summer mungbean under arid climate. *International Journal of Science and Nature, 4*(3), 563- 566

Shah, K. A., Gurjar, R., Parmar, H. C., & Sonani, V. V. (2016). Effect of sulphur and zinc fertilization on yield and quality of pigeon pea in sandy loam soil. *Green Farming, 7*(2), 495-497.

Chogatapur, S. V., & Chandranath, H. T. (2017). Growth and development analysis of clusterbean (*Cyamopsis tetragonaloba L*) genotypes (gum) as influenced by plant density and bio-inoculants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6*(12), 2303-2308. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.265

Sudhir, S., Grover, K., Angadi, S., Schutte, B., Vanleeuwen, D., & Auld, D. (2015). Growth and seed yield performance of promising guar genotypes under different planting dates in desert southwest. 27th Annual Meeting Association for the Advancement of Industrial Crops. October 18-22.

Sunil, S. D., Bhattoo, M. S., & Khedwal, R. S. (2017). Effect of zinc and sulphur on growth, yield and economics of clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 6*(11), 3744-3751. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.438

Yadavi, A., Aboueshaghi, R. S., Dehnavi, M. M., & Balouchi, H. (2014). Effect of micronutrients foliar application on grain qualitative characteristics and some physiological traits of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 4*, 124-131.

Yashona, D. S., Mishra, U. S., & Aher, S. B. (2018). Response of pulse crops to sole and combined mode of zinc application: A review. *Journal of Soils and Crops, 28*(2), 249-258.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 233-247
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۴۷-۲۳۳
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

The Effect of Sulphurous Humic Acid and Plant Density on the Growth and Yield of Red Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars

Zeinab Jabbari Badkhor[1*], Alireza Dadkhah[2], Reza Rezvani[3]

Received: 16-11-2023
Revised: 21-02-2024
Accepted: 16-03-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Jabbari Badkhor, Z., Dadkhah, A., & Rezvani, R. (2024). Investigation of the effect of sulphurous humic acid and plant density on the growth and yield of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 233-247. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

Introduction
Pulses, including red beans, are a significant source of protein in human nutrition. Increasing yield per unit area is one of the most important factors for increasing crop production. Todays the increase in crop yield occurred by the excessive use of chemical fertilizers, including nitrogen fertilizers, which caused environmental hazards and consequently human health. Humic acid is a natural organic polymer compound that results from the decay of soil organic matter, peat, lignin, etc., which can be used to increase the product and its quality. One of the important benefits of using humic acid is the ability to chelate various nutrients such as potassium and magnesium and other elements to overcome the lack of nutrients. Humic acid also creates more space for water to penetrate through physical modification and improved soil granulation. Plant density is another important agronomic factor that manipulates micro- environment and affects growth, development and yield of plants. Within certain limits, increase of plant population density declines the growth and yield per plant but the reverse occurs for yield per unit area. The optimum plant density to attain highest yield may vary with the genotype and agronomic factor. Therefore, the purpose of this research was to investigate the effect of sulphurous humic acid and plant density on growth and yield of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot).

Materials and Methods
The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete blocks design with three replications in the Bojnord city located in north east of Iran during the year 2022. The experimental factors were: plant density at three levels (18, 25, and 40 plants per m^2, sulfur-containing humic acid (0 (no application humic acid) 4 and 6 liters per hectare) and red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot). Humic acid treatments were applied in the stages of two to four leaves, before flowering and after pod formation, depending on the level of treatment.

Results and Discussion
The results showed that Yaghoot cultivar had the highest plant height (71 cm) while, Dadfar had the lowest plant height (40 cm) at all three plant densities. Yaghoot cultivar also had the highest seed number per pod (4.1) and seed yield (4450 $kg.ha^{-1}$) with application of 6L per hectare humic acid while, Dadfar cultivar had the lowest seed per pot (2) and seed yield (766 $kg.hac^{-1}$). Results showed the best cultivar was Yaghoot and then Ofogh due to growth traits. The best plant density was 40 plants per m^2 and among the humic acid levels, application of 6 lit per hectare had the best results. In the absence of fertilization, the amount of total chlorophyll of cultivars Yaghoot and Ofogh was not affected by the density, However, increasing of humic acid significantly increased the amount of total chlorophyll in all three cultivars and the highest amount of chlorophyll obtained at the highest level of humic acid and plant densities 18 and 25 for Yaghoot and the density of 18 plants for Dadfar.

1 and 2- M.Sc. Graduated and Professor, Plant Production and Genetic Department, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran, respectively.
3- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
* Corresponding Author: zeinabjabbari@yahoo.com

Conclusions

In general, it was concluded that humic acid and plant density have been able to have a positive effect on most of the growth traits and photosynthetic pigments of red bean plant. The best cultivar was Yaghoot variety and then Ofogh variety and the best plant density was 40 plants per square meter. Among the humic acid levels, the consumption of 6 liters per hectare had the best result. By observing the appropriate level of density, variety and humic acid, we will be able to harvest the maximum yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot) in Bojnord region.

Keywords: Biological yield, Chlorophyll, Harvest index, Legumes, Seed yield

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 233-247
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۴۷-۲۳۳
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

بررسی تأثیر اسید هیومیک گوگرددار و تراکم کاشت بر رشد و عملکرد ارقام لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

زینب جباری بادخور[1*]، علیرضا دادخواه[2]، رضا رضوانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

چکیده

ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر واکنش به عوامل محیطی با یکدیگر تفاوت دارند. تعیین تراکم مناسب و بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه برای استفاده مطلوب از نهاده‌ها و منابع، نقش مؤثری در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد. از طرفی، استفاده بی‌رویه و غیر اصولی از کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی، امنیت غذایی و به تبع آن سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاشت ارقام مناسب با تراکم مطلوب برای هر منطقه و همچنین، استفاده از نهاده‌های طبیعی و اکولوژیک، ضمن افزایش عملکرد محصولات زراعی، پایداری تولید و سلامت محیط زیست را در درازمدت حفظ می‌نماید. بر این اساس، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بجنورد اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل: تراکم گیاهی در سه سطح ۱۸، ۲۵ و ۴۰ بوته در مترمربع، اسید هیومیک گوگرددار در سه سطح صفر (بدون اسید هیومیک)، چهار و شش لیتر در هکتار و ارقام لوبیا قرمز (افق، دادفر و یاقوت) بود. نتایج نشان داد که اثر تراکم بوته بر ارتفاع گیاه معنی‌دار شد و با افزایش تراکم، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت. همچنین، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت به‌میزان ۷۱ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته (۴۰ سانتی‌متر) مربوط به رقم دادفر بود. رقم‌های مورد بررسی از نظر تعداد دانه در غلاف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان دادند و رقم یاقوت بالاترین تعداد دانه در غلاف (۴/۱ دانه در غلاف) را داشت. نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل رقم و اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به ارقام یاقوت (۴۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و افق (۴۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. در تیمار اسید هیومیک صفر، میزان کلروفیل کل رقم‌های یاقوت و افق، تحت تأثیر تراکم قرار نگرفتند، ولی با افزایش میزان اسید هیومیک، میزان کلروفیل کل در هر سه رقم افزایش معنی‌داری داشت. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که رقم یاقوت به‌دلیل خصوصیات رشدی و میزان عملکرد بالای دانه، بهترین رقم می‌باشد. همچنین، در بین تراکم‌های مورد بررسی، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، و در بین سطوح اسید هیومیک، مصرف شش لیتر در هکتار مناسب‌ترین بودند.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کلروفیل

مقدمه

پس از غلات، حبوبات دومین منبع مهم غذایی بشر است. این گیاهان متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) و زیرخانواده پروانه‌آسا (*Papilionoideae*) می‌باشند. حبوبات، سرشار از پروتئین و دیگر ترکیبات ضروری، از مهم‌ترین منابع خوراکی هستند و با داشتن میزان مناسبی از پروتئین، می‌توانند جایگزین پروتئین جانوری در رژیم غذایی انسان و به‌ویژه اقشار کم درآمد شوند (Majnoun Hosseini, 2008). در ایران، حبوبات پس از گندم و برنج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Majnoun Hosseini, 2008). لوبیا با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. یکی از حبوبات مهم است که به‌صورت مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد و حدود ۵۰ درصد از حبوبات جهان را شامل می‌شود (Lynch et al., 2001; Majnoun Hosseini, 2014). لوبیا گیاهی گرمادوست است و روزهای گرم و شب‌های خنک مناسب رشد آن می‌باشد (Kumar et al., 2022). سطح برداشت کل حبوبات در ایران برای سال زراعی

۱ و ۲- به‌ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: zeinabjabbari@yahoo.com)

۱۳۹۹- ۱۳۹۸ حدود ۶۱۳۱۰۰ هکتار بوده است. از این مقدار، نخود ۴۱۲ هزار هکتار، لوبیا ۱۰۱ هزار هکتار، عدس ۷۵ هزار هکتار و سایر حبوبات ۲۴ هزار هکتار از کل سطح برداشت حبوبات را به خود اختصاص داده‌اند. سطح زیر کشت لوبیا در خراسان شمالی ۱۰۹۳ هکتار می‌باشد (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2019). در سال‌های اخیر، افزایش عملکرد ناشی از افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، علاوه‌بر مخاطرات زیست محیطی، سلامت محصولات غذایی و به تبع آن سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته است. اصولاً مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات برای زراعت لوبیا توصیه می‌شود (Majnoun Hosseini, 2014). به نظر می‌رسد که با استفاده از نهاده‌های طبیعی و اکولوژیک، ضمن افزایش عملکرد محصولات زراعی، پایداری تولید و سلامت محیط زیست را می‌توان در درازمدت حفظ کرد. استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی طی سالیان اخیر، عامل کاهش چشمگیر میزان مواد آلی خاک‌های کشور و ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله تخریب فیزیکی خاک و عدم توازن عناصر غذایی شده است (Nakhzari Moghaddam et al., 2017). استفاده از کودهای طبیعی مانند اسید هیومیک بدون اثرات مخرب زیست محیطی، جهت بالا بردن عملکرد و میزان زیست‌توده ریشه گیاهان به‌خصوص در شرایط متغیر محیطی می‌تواند مؤثر باشد. لذا، از اسید هیومیک به‌عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نام برده می‌شود (Jahan et al., 2012). یکی از عوامل مهم در اثربخشی کود، کاربرد مقدار یا غلظت بهینه است. از این رو، تعیین مناسب‌ترین غلظت کاربرد اسید هیومیک برای گیاه لوبیا دارای اهمیت است. مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلفی است که از بقایای گیاهان و حیوانات حاصل می‌شود. این ترکیبات، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار داده و اثر مستقیمی بر رشد گیاه و تولید محصولات کشاورزی دارند. اسید هیومیک در فعال کردن ریزجانداران موجود در خاک، از اهمیت بسیاری برخوردار است. از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن و مس اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود. اسید هیومیک باعث بهبود ساختار خاک، کمک به ریشه‌زایی بهتر، نگهداری بیشتر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک و انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و در نتیجه، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و افزایش مقاومت به شوری و کم آبی و همچنین، کاهش سمیّت کودها می‌شود (Nakhyeinejad & Moosavi, 2015). بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی در لوبیا توانست تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Beheshti et al., 2017). افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود نیز در آزمایشی مشابه گزارش شد (Haghparast et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر، محققان نشان دادند که محلول‌پاشی با اسید هیومیک، سبب افزایش پروتئین و سرعت جذب مواد غذایی در گیاه لوبیا شده و در نهایت، عملکرد زیست‌توده افزایش می‌یابد (Mozafari et al., 2016). نتایج پژوهشی بر روی گیاه لوبیا نشان داد که کاربرد اسید هیومیک به‌میزان شش لیتر در هکتار، بالاترین عملکرد دانه را در پی داشت (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). یکی از پیش‌شرط‌های لازم برای دستیابی به عملکرد بالا، تأمین شرایط مطلوب جهت استفاده از تابش خورشیدی به‌منظور تولید مواد فتوسنتزی در بالاترین حد کارایی آن است (Beheshti et al., 2017). دستیابی به این هدف با تغییر تراکم بوته و توزیع بوته در واحد سطح زمین میسر است (Ganjali et al., 2000). تراکم بوته از جمله مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار باشد. برخی محققان در بررسی اثر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لاین‌های جدید لوبیا قرمز گزارش کردند که وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر تراکم بوته قرار نگرفت. در حالی‌که تعداد غلاف در بوته در اثر افزایش تراکم بوته کاهش یافت، ولی با افزایش تراکم تا ۴۴ بوته در مترمربع، عملکرد دانه به ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (Salehi et al., 2012). بررسی محققان نشان داده است که اثر تراکم و اسید هیومیک اکثر صفات رشدی گیاه نخود را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. آن‌ها گزارش کردند که افزایش تراکم تا ۴۰ بوته در مترمربع اجزای عملکرد نخود را کاهش، ولی عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین مصرف اسید بر تمامی صفات رشدی گیاه نخود تأثیر مثبت داشت (Nakhzari Moghaddam, et al., 2017).

گیاهان برای تطبیق خود با شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف، فعالیت‌های حیاتی‌شان را تنظیم می‌کنند. ارقام مختلف مانند گونه‌های مختلف به شرایط اقلیمی معینی سازگار هستند. بنابراین، در هر منطقه با شرایط اقلیمی خاص، انتخاب رقم مناسب همراه با تراکم کاشت مطلوب و مصرف بهینه کود می‌تواند به حداکثر استفاده از منابع محیطی از جمله نور، آب و عناصر غذایی منجر گردد که در نهایت، عملکرد بیشتر گیاهان زراعی را به همراه دارد.

با توجه به موارد فوق، یافتن راهکارهایی که بتواند امکان بهره‌برداری یا راندمان بالا از منابع را فراهم نماید، می‌تواند باعث ایجاد تحول قابل ملاحظه‌ای در تولید محصولات کشاورزی گردد. بنابر گزارش‌های متعدد مبنی بر تأثیرات مفید اسید هیومیک گوگرددار بر خصوصیات کمّی و کیفی گیاهان زراعی و همچنین، اهمیت تولید حبوبات مخصوصاً تولید لوبیا و ناکافی بودن مطالعات انجام شده در منطقه، اجرای این پروژه می تواند حائز اهمیت باشد. لذا هدف از اجرای این مطالعه، بررسی اثرات سطوح اسید هیومیک گوگرددار و تراکم کاشت بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا قرمز بود تا با استفاده مناسب از نهاده شیمیایی و آلی و همچنین تراکم کاشت مناسب، بتوان در جهت تولید پایدار و افزایش کیفیت و کمیت لوبیا قرمز گام برداشت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک گوگرددار و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیای قرمز در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بجنورد - استان خراسان شمالی با مختصات طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۰۷۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. قبل از اجرای طرح، از محل کاشت، پنج نمونه خاک از نقاط مختلف زمین از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد که پس از ادغام نمونه‌های مربوط و انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش تعیین گردید. همچنین آب منطقه مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات خاک و آب منطقه قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Soil and water characteristics of the area before the test

خاک Soil									
بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC ($mS.cm^{-1}$)	اسیدیته pH
لومی Loam	26	50	24	225	3.60	0.056	0.757	1.26	7.87

آب Water					
کلیسم + منیزیم Ca + Mg ($meq.l^{-1}$)	سدیم Cl ($meq.l^{-1}$)	بی کربنات HCO_3 ($meq.l^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($mS.cm^{-1}$)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم S. A. R
9.65	2.65	6.25	1076	7.33	1.11

بذر ارقام افق، دادفر و یاقوت لوبیا قرمز که کشت آن‌ها در استان خراسان شمالی توسط اداره جهاد کشاورزی به کشاورزان توصیه می‌شود، از ایستگاه تحقیقات شهرستان بجنورد تهیه شد و سپس درصد جوانه‌زنی بذور تعیین گردید و کلیه بذور قبل از کاشت با قارچ‌کش کاپتان به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. رقم افق با منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین‌الملل Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، متوسط دوره رشدونمو ۸۵ روز، مناسب برای برداشت مکانیزه، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی مطلوب، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در مناطق با سرمای زود هنگام پاییزه در کشور می‌باشد. رقم دادفر با منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین-المللی Red Mexican، فرم بوته رونده و رشد نامحدود تیپ ۳، متوسط دوره رشدونمو ۱۰۱ روز، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در اقلیم معتدل و سرد کشور می‌باشد. رقم یاقوت خالص شده از توده‌های بومی ایران، با کلاس تجاری بین‌المللی Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، متوسط دوره رشدونمو ۸۷ روز، مناسب برای برداشت مکانیزه، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در تمامی مناطق کشور می‌باشد. به‌منظور آماده نمودن زمین در بهار، با گاوآهن برگرداندار شخم نیمه عمیق زده و سپس با زدن دو دیسک عمود بر هم زمین تسطیح شد. کوددهی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (استارتر) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل انجام شد. ابعاد هر کرت ۴ × ۳ متر، که شامل شش ردیف بود. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته

شدند. بذرها در ۱۵ خرداد ماه سال ۱۴۰۰ به‌روش کاشت مسطح به‌صورت تک دانه‌کاری در عمق پنج تا هشت سانتی-متری کاشته شدند. میانگین حداکثر و حداقل دمای متوسط در زمان کاشت به‌ترتیب ۲۹ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. آبیاری در طول دوره داشت به‌صورت منظم، با فاصله هفت روز در نظر گرفته شد و جهت کنترل علف‌های هرز دو بار وجین دستی صورت گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل: تراکم گیاهی در سه سطح ۱۸، ۲۵ و ۴۰ بوته در مترمربع، اسید هیومیک گوگرددار (برند تجاری هلیکس بفرم مایع، دارای ۲ درصد نیتروژن، ۰/۲ درصد فسفر، ۱۸ درصد اسید هیومیک و فولیک اسید، گوگرد ۱۵ درصد، کلات آهن ۱۰۰ پی‌پی‌ام، کلات منگنز ۱۵۰ پی‌پی-ام، کلات روی ۲۵ پی‌پی‌ام و پتاسیم پنج درصد) در سه سطح صفر (بدون اسید هیومیک)، چهار و شش لیتر در هکتار و ارقام لوبیا قرمز (افق، دادفر و یاقوت) بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف با توجه به تراکم به‌ترتیب ۱۱، ۸ و ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف، ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم مورد نظر پس از انجام عملیات تنک و واکاری در پایان مرحله رشد گیاهچه ای (حدود سه هفته پس از کاشت) تنظیم گردید. کاربرد اسید هیومیک همراه آب آبیاری در سه مرحله شامل: دو تا چهار برگی، قبل از گل‌دهی و بعد از تشکیل غلاف بسته به سطح تیمار انجام گردید. جهت دقت در اعمال تیمار اسید هیومیک، مقادیر مورد نیاز بر اساس تیمارهای آزمایشی برای هر کرت بر اساس نقشه طرح محاسبه شد. سپس، مقدار محاسبه شده برای هر کرت با ۱۰ لیتر آب به‌خوبی مخلوط شد و محلول حاصل در زمان غروب آفتاب به‌طور منظم پای بوته‌ها اضافه گردید. صبح روز بعد، کرت‌ها به‌طور مجزا آبیاری شدند. در انتهای دوره رشد، ارتفاع گیاه به‌وسیله خط‌کش با دقت یک میلی‌متر از سطح خاک اندازه‌گیری شد. همچنین جهت اندازه‌گیری عملکرد توده زیستی، یک و نیم مترمربع از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و برداشت به‌صورت کف‌بر از سطح زمین انجام شد. سپس، نمونه‌های انتخابی در آون به‌مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس وزن هر نمونه با ترازوی دیجیتال تعیین گردید و اعداد به‌دست آمده به کیلوگرم در هکتار تبدیل و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک مشخص گردید. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، کل غلاف‌های برداشت شده از سطح یک مترمربع جدا شده و با دست عملیات بوجاری انجام و دانه‌ها جدا گردید. وزن دانه‌ها با ترازوی دیجیتال تعیین شد. کلروفیل به‌روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon., 1967). میزان جذب در محلول رویی عصاره در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۶ نانومتر برای کلروفیل b به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO, 2000, Germany) قرائت شد. مقدار رنگیزه‌ها از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chl } a = 12.7\ (A_{663}) - 2.69\ (A_{645}) \times V/100$$

$$\text{Chl } b = 22.9\ (A_{645}) - 4.68\ (A_{663}) \times V/100$$

$$\text{Chl T} = 20.2\ (A_{645}) + 8.02\ (A_{663}) \times V/1000\ W$$

که در آن‌ها، Cl *a*: کلروفیل a، Cl *b*: کلروفیل b، Cl T: کلروفیل کل، V: حجم محلول صاف شده حاصل از سانتریفیوژ برحسب میلی‌لیتر ، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

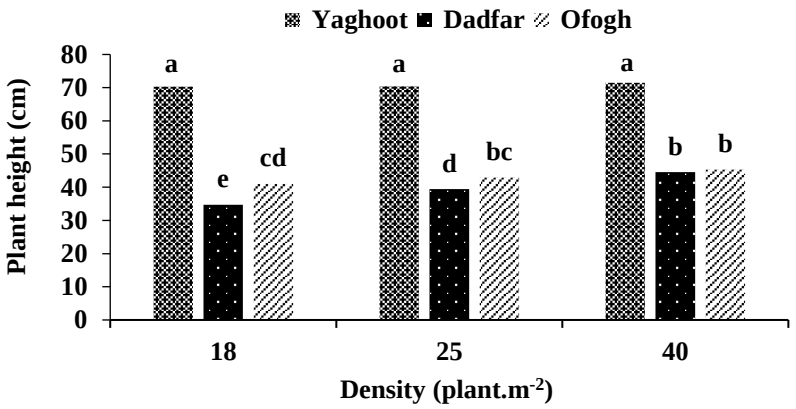
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک گوگرددار و همچنین، برهم‌کنش رقم و تراکم روی ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کنش تراکم و رقم نشان داد که در همه تراکم‌ها بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت بود. همچنین، رقم یاقوت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم‌های مختلف قرار نگرفت، ولی دو رقم دیگر به‌ویژه رقم دادفر تحت تأثیر تراکم قرار گرفتند و با افزایش تراکم، ارتفاع بوته آن‌ها افزایش یافت (شکل ۱). بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت در تراکم ۴۰ بوته به‌میزان ۷۱ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته مربوط به رقم دادفر در هر سه تراکم بود. در تراکم‌های پایین، رقابت بین بوته‌ها کمتر بوده و با افزایش تراکم گیاهی رقابت بین بوته‌ها و و در نتیجه، ارتفاع آن‌ها افزایش می‌یابد (Emami Bistgani et al., 2014). برخی محققان افزایش ارتفاع بوته در تراکم زیاد را به کاهش نفوذ نور در سایه‌انداز گیاهی و افزایش رقابت بین بوته‌ها جهت دریافت نور نسبت دادند. با افزایش تراکم بوته و ایجاد رقابت بین بوته‌ها به‌خصوص بوته‌های روی ردیف، رشد مریستم انتهایی تحریک شده و به‌دلیل جذب و انتقال مواد فتوسنتزی به مریستم انتهایی، سنتز اکسین و جیبرلین بیشتر شده و در نتیجه، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. این فرضیه با توجه به این که اکسین باعث افزایش تقسیمات سلولی بیشتر و جیبرلین و مشتقات آن سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میان‌گره‌های ساقه می‌شوند، قابل توجیه است (Siahmargue et al., 2014). افزایش تراکم بوته موجب افزایش سنتز هورمون جیبرلین در میانگره‌های ساقه شده و در نتیجه، طول میانگره‌ها افزایش می‌یابد (Clarke

& Simpson, 1978). در پژوهشی با ارزیابی اثر فاصله بوته روی ردیف (فاصله بین ردیف ۱۹ سانتی‌متر) روی گیاه لوبیا چشم بلبلی دریافتند که فاصله بوته بر ارتفاع گیاه در مرحله پرشدن دانه بیشترین اثر را داشته و با کاهش فاصله بوته، ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (Mason & Leihner, 1986). همچنین، نتایج آزمایش نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اسید هیومیک قرار گرفت. بیشترین ارتفاع بوته (۵۵ سانتی‌متر) در تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و کمترین آن با ۴۷ سانتی‌متر در تیمار عدم مصرف اسید هیومیک مشاهده شد. اسید هیومیک از طریق اثرات شبه هورمونی مثل فعالیت‌های اکسین مانند و سایتوکینین مانند و با تأثیر بر متابولیسم‌های سلولی گیاهان و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش ارتفاع در گیاه می‌شود (Dadnia, 2017).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم کاشت و رقم بر ارتفاع بوته لوبیا قرمز

Fig. 1- Mean comparison of interaction effect of plant density and cultivar on plant height of red bean

تعداد برگ

نتایج نشان داد که اثر اصلی عوامل آزمایش و همچنین برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک گوگرددار در سطح یک درصد بر صفت تعداد برگ لوبیا قرمز معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ در رقم یاقوت (به میزان ۱۱۲ برگ در بوته) بود و رقم‌های دادفر و افق به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین تعداد برگ در بین تراکم‌های مورد بررسی مربوط به تراکم ۱۸ بوته در مترمربع بود و تراکم‌های ۲۵ و ۴۰ بوته سبب کاهش این صفت شد، اگرچه تراکم ۲۵ و ۴۰ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مصرف اسید هیومیک گوگرددار تا سطح چهار لیتر در هکتار تأثیر معنی‌داری روی این صفت نداشت، امّا در سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش تعداد برگ در بوته شد (جدول ۳). در اثر برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک گوگرددار مشخص شد که بیشترین تعداد برگ در رقم یاقوت به همراه تمامی سطوح کودی بود که نشان داد که رقم یاقوت تحت تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک قرار نگرفت (شکل ۲). در رقم دادفر مشاهده شد که اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار تأثیر معنی‌داری روی تعداد برگ نداشت. همچنین بیشترین تأثیر سطوح کوددهی مربوط به رقم افق بود که با افزایش در هر سطح اسید هیومیک گوگرددار، تعداد برگ در رقم افق افزایش یافت (شکل ۲).

محققان در آزمایشی اعلام کردند که با کاهش تراکم به‌علت کاهش رقابت درون گونه‌ای، تعداد برگ و تعداد انشعاب در بوته لوبیا افزایش می‌یابد (Jadoski et al., 2000). برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد اسید هیومیک در مراحل ابتدایی رشد می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش تعداد برگ گیاه داشته باشد. افزایش تعداد برگ در مراحل ابتدایی رشدونمو گیاه احتمالاً به‌دلیل گسترش سیستم ریشه‌ای در غلظت‌های بالای اسید هیومیک است که این خود منجر به افزایش جذب عناصر غذایی، رشد بهتر و به‌دنبال آن افزایش تعداد برگ می‌شود (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2019). برخی محققان، از جمله نظریان و الله‌وردی‌زاده (Nazari Deljou & Allahverdizadeh, 2014) در مورد توانایی اسید هیومیک روی افزایش تعداد برگ گیاه عنوان کردند که با افزایش تعداد برگ، میزان سطح فتوسنتزکننده و فعالیت فتوسنتزی افزایش یافته که در نتیجه، عملکرد افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه‌ای گزارش کردند که افزایش تعداد برگ می‌تواند ناشی از اثر مثبت مواد معدنی و فعالیت شبه‌هورمونی اسید هیومیک بر رشد و جذب عناصر غذایی بوته‌های کاهو باشد (Kamari Shahmaleki, 2010) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس فاکتورهای تراکم و اسید هیومیک روی صفات مورد بررسی ارقام لوبیا قرمز

Table 2- Analysis of variance for the plant density and humic acid factors on the examined traits of red bean cultivars

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100-seeds	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
بلوک Block	2	21.85^{ns}	16.53^{ns}	0.93^{ns}	9.79^{ns}	81734.3^{ns}	820125^{ns}	0.008^{ns}	0.056^{ns}	0.109^{ns}
رقم Varieties (V)	2	7882.3^{**}	5615.7^{**}	29.04^{**}	1776.8^{**}	64368414^{**}	27987074^{**}	4.702^{**}	0.046^{ns}	3.841^{**}
تراکم Density (D)	2	177.2^{**}	54.53^{*}	11.49^{**}	228.75^{**}	1229771^{**}	48802523^{**}	2.691^{**}	0.096^{*}	6.29^{**}
اسید هیومیک Humic acid (H)	2	434.09^{**}	314.53^{**}	3.30^{**}	79.60^{**}	14754301^{**}	2317349^{**}	8.856^{**}	1.465^{**}	133.9^{**}
V × D	4	44.40^{**}	29.67^{ns}	0.29^{ns}	13.21^{ns}	129579^{ns}	572977^{ns}	0.482^{**}	0.503^{**}	2.73^{*}
V × H	4	16.63^{ns}	128.90^{**}	0.10^{ns}	13.01^{ns}	2070195^{**}	292763^{ns}	0.481^{**}	0.062^{ns}	3.21^{*}
D × H	4	10.34^{ns}	14.06^{ns}	0.38^{ns}	1.49^{ns}	307364^{**}	119524^{ns}	0.263^{**}	0.035^{ns}	1.07^{ns}
V × D × H	8	8.81^{ns}	9.54^{ns}	0.12^{ns}	1.67^{ns}	113399^{ns}	216110^{ns}	0.141^{*}	0.234^{**}	2.92^{**}
خطا Error	52	11.02	14.76	0.42	12.05	72245	352225	0.066	0.030	0.128
ضریب تغییرات C.V	-	6.49	3.85	21.39	11.73	10.84	8.82	13.20	19.79	12.61

ns ، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

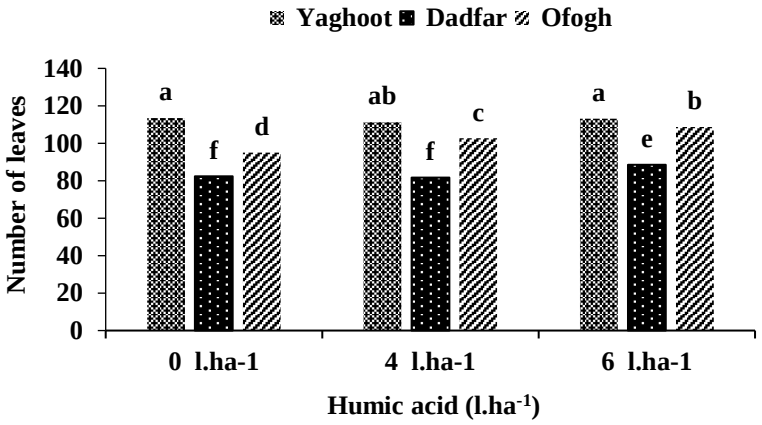
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک روی صفات لوبیا قرمز

Table 3- Mean comparison of the simple effects of cultivar, plant density and humic acid on red bean traits

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد برگ Number of leaves	تعداد دانه در غلاف Number of seeds in a pod	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) Weight of 100-seeds (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)
					رقم Varieties				
یاقوت Yaghoot	71[a]*	112.7[a]	4.1[a]	32.66[b]	3765[a]	7585[a]	2.430[a]	0.844[a]	3.274[a]
دادفر Dadfar	40[c]	102.2[b]	2.0[c]	20.40[c]	766[c]	5602[c]	1.750[b]	0.926[a]	2.597[b]
افق Ofogh	43[b]	84.2[c]	3.1[b]	35.74[a]	2902[b]	6995[b]	1.671[b]	0.897[a]	2.647[b]
					تراکم (بوته در مترمربع) Density ($plant.m^{-2}$)				
19	49[c]	101.3[a]	3.77[a]	32.59[a]	2572[a]	5538[c]	2.241[a]	0.930[a]	3.022[a]
25	51[b]	98.6[b]	2.85[b]	29.44[b]	2233[b]	6457[b]	1.996[b]	0.820[b]	2.817[b]
40	54[a]	99.2[b]	2.51[b]	26.77[c]	2628[a]	8186[a]	1.615[c]	0.916[ab]	2.679[b]
					اسید هیومیک (لیتر در هکتار) Humic acid ($l.ha^{-1}$)				
0	47[c]	97.0[b]	2.77[b]	27.77[b]	1743[c]	6476[b]	1.392[c]	0.628[c]	2.020[c]
4	51[b]	98.6[b]	2.92[b]	29.85[a]	2468[b]	6657[b]	1.924[b]	0.961[b]	2.885[b]
6	55[a]	103.5[a]	3.44[a]	31.18[a]	3221[a]	7049[a]	2.536[a]	1.077[a]	3.613[a]

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Averages that have common letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک و رقم بر تعداد برگ ارقام لوبیا قرمز

Fig. 2- Mean comparison of interaction effect of humic acid and variety on the number of leaves of red bean cultivars

تعداد دانه در غلاف

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر صفت تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بودند، ولی هیچ یک از برهم‌کنش‌های فاکتورهای آزمایش روی صفت مذکور معنی‌دار نبودند (جدول ۲). نتایج آزمایش نشان داد که رقم یاقوت از نظر تعداد دانه در غلاف نسبت به دو رقم دیگر برتری دارد و رقم افق و دادفر به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند. در بین تراکم‌های مورد بررسی، بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تراکم ۱۸ بوته در مترمربع بود و با افزایش تراکم، میزان این صفت کاهش یافت. البته اختلاف معنی‌داری بین تراکم ۲۵ و ۴۰ بوته مشاهده نشد. همچنین، اثر ساده اسید هیومیک گوگرددار نشان داد که تعداد دانه در غلاف لوبیا قرمز تا سطح چهار لیتر در هکتار تحت تأثیر این فاکتور قرار نگرفت، ولی سطح شش لیتر در هکتار اسید هیومیک سبب افزایش ۱۹/۴ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۲). تعداد دانه در غلاف از دیگر اجزای عملکرد دانه لوبیا است که با تغییر تراکم کاشت تغییر می‌کند. این صفت بیشتر توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، امّا می‌تواند تحت تأثیر محیط نیز واقع شود (Ghanbari et al., 2005). نتایج مطالعه هایات و همکاران (Hayat et al., 2003) نیز نشان داد که افزایش تراکم بوته سبب کاهش تعداد دانه در هر غلاف می‌شود. بر این اساس، انتخاب تراکم مناسب بوته جهت دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد ضروری است (Hayat et al,. 2003). محققان در مطالعه‌ای دیگر گزارش نمودند که مصرف اسید هیومیک، افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه لوبیا را در پی داشت (Jahan et al., 2012). در پژوهشی با بررسی محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی در گیاه لوبیا اعلام نمودند که صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Beheshti et al., 2017).

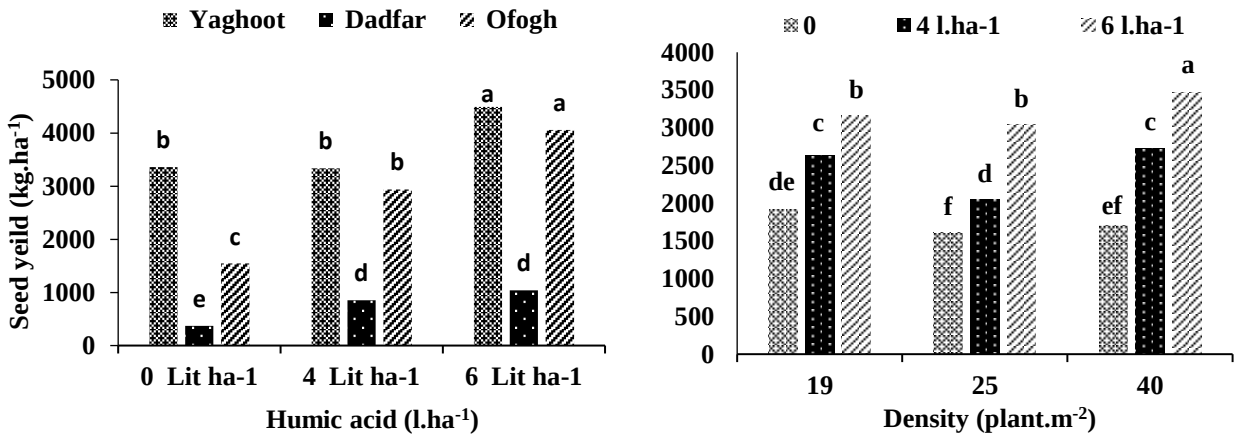
وزن ۱۰۰ دانه

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر صفت وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بودند، ولی هیچ یک از برهم‌کنش‌های فاکتورهای آزمایش روی این صفت معنی‌دار نبودند (جدول ۲). بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در بین رقم‌های مورد بررسی مربوط به رقم افق بود که از نظر اندازه نیز بزرگ‌تر از دو رقم دیگر بود. رقم یاقوت در رتبه دوم و افق در رتبه سوم قرار گرفت. فاکتور تراکم نشان داد که با افزایش تراکم وزن ۱۰۰ دانه کاهش می‌یابد به‌نحوی که در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، وزن ۱۰۰ دانه لوبیا قرمز، ۱۷/۸ درصد کاهش یافت. مشاهده شد که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش وزن ۱۰۰ دانه لوبیا می‌شود، ولی بین سطوح چهار و شش لیتر در هکتار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). اسید هیومیک در سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش ۱۰/۹ درصدی نسبت به عدم کوددهی شد. نتایج تحقیقات (Babaei et al., 2012) نشان‌دهنده تأثیر مثبت معنی‌دار گوگرد بر وزن هزاردانه و عملکرد دانه سویا در سطح یک درصد است. به‌طوری که با کاربرد سه تن گوگرد در هکتار، وزن هزاردانه و عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف گوگرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، تحقیقات نشان داده است که در اثر کمبود گوگرد، فتوسنتز شدیداً کاهش می‌یابد و موجب جلوگیری از طویل شدن ریشه‌ها، افزایش قطر ریشه انتهایی و ریشه‌های موئین می‌گردد که نتیجه نهایی آن، کاهش رشد رویشی و

زایشی و در نهایت، کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی گیاه است (Piri et al., 2011). پژوهشگران در پژوهشی گزارش کردند که با افزایش مصرف هیومیک اسید از صفر به ۴/۵ لیتر در هکتار، وزن هزار دانه نخود به‌طور معنی‌دار و ۱۶/۱ درصد افزایش یافت (Saadati & Baghi, 2014). عدم کفایت مواد فتوسنتزی در دوره پر شدن دانه در تراکم‌های بالا ممکن است دلیلی بر کاهش وزن ۱۰۰ دانه با افزایش تراکم بوته می‌باشد (Majnoun Hosseini et al., 2003).

عملکرد دانه

بر اساس داده‌های موجود در تجزیه واریانس مشخص شد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک، برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک و همچنین تراکم و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه لوبیا قرمز معنی‌دار بودند. (جدول ۲). در بین ارقام مورد بررسی مشاهده شد که رقم یاقوت دارای بیشترین عملکرد دانه به‌میزان ۳۷۶۵ کیلوگرم در هکتار بود و پس از آن، رقم افق به‌میزان ۲۹۰۲ کیلوگرم در هکتار قرار گرفت. اثر ساده تراکم نشان داد که تراکم ۱۸ و ۴۰ بوته بیشترین عملکرد را دارا بودند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. علت افزایش عملکرد در تراکم پایین به احتمال زیاد به‌دلیل عدم رقابت بین گیاهان و در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب بیشتر آن می‌باشد که در نتیجه آن، گیاهان رشد مناسب تری داشته و عملکرد بالاتری به ارمغان می‌آورد. همچنین، علت بالا بودن عملکرد در تراکم بالا، به سبب وجود گیاه بیشتر در واحد سطح می‌باشد. در اثر متقابل رقم و اسید هیومیک روی صفت عملکرد دانه مشاهده شد که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به برهم‌کنش ارقام یاقوت و افق با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. همچنین، مشاهده شد که در رقم یاقوت کاربرد اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار اثر معنی‌داری روی صفت مذکور نداشت (شکل ۳). همچنین در برهم‌کنش تراکم و اسید هیومیک گوگرددار روی عملکرد دانه لوبیا قرمز مشاهده شد که بیشترین سطح عملکرد در همه تراکم‌ها، در حضور اسید هیومیک گوگرددار شش لیتر در هکتار شکل گرفت و در این بین، بیشترین عملکرد دانه مربوط به سطح اسید هیومیک شش لیتر در هکتار در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. همچنین، مشخص شد که بیشترین اختلاف در عملکرد بین سطوح اسید هیومیک نیز در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع می‌باشد و در تراکم ۱۸ بوته این اختلاف به مراتب کمتر است (شکل ۳). محققان در مطالعه‌ای گزارش کردند که با افزایش تراکم لوبیا تا ۵۰ بوته در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و تعداد غلاف در واحد سطح افزایش یافت (Faraji et al., 2010). محققان طی مطالعه‌ای دو ساله روی نخود زراعی در شرایط دیم دریافتند که عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته از ۱۴ تا ۵۶ بوته در مترمربع به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Beeh & Leach, 2009). محلول‌پاشی برگ‌های ارزن با اسید هیومیک، طول ریشه، ارتفاع گیاه، طول خوشه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و محتوای پروتئین خام را افزایش داده است (Saruhan et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر، با بررسی اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات رشدی ذرت مشخص گردید که تیمارهای ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، به‌دلیل شاخص و دوام سطح برگ بالاتر، عملکرد دانه بالاتری را به خود اختصاص دادند (Ghorbani et al., 2010).



شکل ۳- اثر متقابل الف) اسید هیومیک و تراکم بوته و ب) اسید هیومیک و رقم بر عملکرد دانه لوبیا قرمز

Fig. 3- Interaction effect of a) humic acid and plant density and b) humic acid and variety on seed yield of red bean

عملکرد بیولوژیک

نتایج آزمایش نشان داد که اثر ساده هر سه فاکتور رقم، تراکم و اسید هیومیک گوگرددار در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، ولی هیچ یک از اثر متقابل‌ها تأثیر معنی‌داری روی این صفت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که عملکرد بیولوژیک در رقم یاقوت دارای بالاترین میزان (۷۵۸۵ کیلوگرم در هکتار) بود. رقم افق با ۶۹۹۵ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. اثر ساده تراکم نشان داد که با افزایش تراکم، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت که این امر به‌سبب افزایش تعداد بوته در هر مترمربع می‌باشد. در تراکم ۴۰ بوته، عملکرد بیولوژیک نسبت به کمترین تراکم آزمایش یعنی ۱۸ بوته، ۳۲/۳ درصد افزایش داشت. همچنین، مشاهده شد که مصرف اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار روی صفت عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری با عدم مصرف نداشت، ولی سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش ۸/۱۲ درصدی نسبت به عدم مصرف اسید هیومیک گوگرددار شد (جدول ۳). محققان در پژوهشی اعلام نمودند که بیشترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گندم در مقدار مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک حاصل شد (Anwar et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که محلول‌پاشی چهار لیتر در هکتار هیومیک اسید باعث افزایش وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گندم شد، امّا بیشترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و طول سنبله در تیمار محلول‌پاشی دو لیتر در هکتار هیومیک اسید مشاهده شد (Manal et al., 2016). اسید هیومیک به‌واسطه تأثیر شبه هورمونی و بهبود متابولیسم سلولی در افزایش جذب نیتروژن نقش دارد و با تأثیر بر نفوذپذیری غشای سلولی، جذب عناصر غذایی را افزایش داده، شرایط کلی رشد و عملکرد بیولوژیک را بهبود می‌بخشد (Safaee et al., 2016). با افزایش فاصله بین بوته‌ها، به‌دلیل ایجاد فضای بیشتر در اطراف گیاه امکان دریافت نور و در نتیجه، فتوسنتز بیشتر فراهم شده و نسبت به گیاهانی که به هم نزدیک‌تر هستند، رشد بهتری مشاهده شد (Bakry et al., 2011). در حالی‌که در این آزمایش با کم شدن فاصله کاشت عملکرد بیولوژیک گیاه افزایش یافته است، می‌توان این طور توجیه نمود که در این آزمایش تراکم بالاتر بوته‌ها این کاهش را جبران کرده است. نتایج مطالعه برخی محققان نشان داد که با افزایش تراکم لوبیا عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و تعداد غلاف در واحد سطح افزایش یافت (Farajee et al., 2010).

کلروفیل a، b و کل

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده تراکم و اسید هیومیک بر صفات کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار بودند. همچنین، کلروفیل a و کلروفیل کل نیز تحت تأثیر رقم قرار گرفتند، ولی کلروفیل b در این بین معنی‌دار نشد. برهم‌کنش تراکم کاشت و اسید هیومیک گوگرددار نیز بر صفات کلروفیل a، b و کلروفیل کل ارقام مختلف لوبیا قرمز معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم کاشت و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ ارقام لوبیا قرمز (جدول ۴) نشان داد که در رقم یاقوت هنگامی که گیاهان با اسید هیومیک تیمار نشده بودند میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشتند؛ ولی وقتی تیمار اسید هیومیک به گیاهان افزوده شد، با افزایش میزان تراکم، کلروفیل a، b و کلروفیل کل رقم یاقوت کاهش معنی‌داری داشت، که در این رقم بیشترین میزان کلروفیل a و کل مربوط به تراکم‌های ۱۸ و ۲۵ بوته در مترمربع به‌همراه تیمار اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. همچنین در بین تمامی رقم‌ها، بیشترین میزان کلروفیل a و کل نیز مربوط به این سطوح و رقم بود (جدول ۳). در مجموع در هر سه رقم ، در تراکم ۱۸ بوته در مترمربع، اسید هیومیک شش لیتر در هکتار سبب تولید بیشترین میزان کلروفیل a شد و در این بین، رقم یاقوت توانایی تولید کلروفیل a بیشتری در تراکم بالاتر (۲۵ بوته در مترمربع) داشت. میزان کلروفیل کل رقم‌های یاقوت و افق، در عدم کوددهی تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت، ولی با افزایش میزان اسید هیومیک، این میزان در هر سه رقم افزایش معنی‌داری داشت و بیشترین میزان در بالاترین سطح اسید هیومیک و تراکم‌های ۱۸ و ۲۵ بوته رقم یاقوت و تراکم ۱۸ بوته رقم دادفر بود (جدول ۴). اسید هیومیک سبب افزایش ماندگاری بافت‌های فتوسنتزکننده شده و از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیک از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، افزایش کلروفیل برگ را باعث می‌شود (Naderi et al., 2002). محققان در مطالعه‌ای اعلام نمودند که مصرف کودهای آلی سبب افزایش تولید کلروفیل در برگ‌های گیاه لوبیا می‌شود (Astaraei & Ivani, 2008). از طرف دیگر، عوامل محیطی تأثیر بسزایی بر کمیت و کیفیت محصول به‌دست آمده دارد، با این حال کنترل کامل این عوامل امکان‌پذیر نیست، ولی می‌توان با استفاده از روش‌هایی، اثرات محیطی را به‌شکلی مدیریت کرد که گیاه تحت هر شرایطی، حداکثر توانایی خود را بروز دهد که از جمله مهم‌ترین این تکنیک‌ها، انتخاب تراکم گیاهی مطلوب است (Ibrahim, 2012).

جدول ۴- اثر متقابل تراکم کاشت و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ ارقام لوبیا قرمز

Table 4- Interaction effect of density and humic acid on chlorophyll a, b and total chlorophyll of leaves red bean cultivars

رقم Varieties	تراکم Density (plant.m^{-2})	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW^{1}) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})			کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1} FW) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})			کلروفیل a Chlorophyll a ((mg.g^{-1} FW) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})		
		6	4	0	6	4	0	6	4	0
یاقوت Yaghoot	40	3.43^{be}*	2.65^{ghi}	2.94^{dh}	0.96^{dg}	0.59^{ijk}	0.93^{dg}	2.47^{bc}	2.05^{def}	2.00^{ef}
	25	4.19^{a}	3.29^{cf}	2.49^{hi}	1.21^{bcd}	0.88^{fi}	0.27^{i}	2.98^{a}	2.40^{be}	2.22^{cf}
	19	4.25^{a}	3.47^{bcd}	2.72^{fgh}	1.19^{be}	1.01^{cg}	0.51^{kl}	3.05^{a}	2.46^{bcd}	2.20^{cf}
دادفر Dadfar	40	3.10^{cg}	2.49^{hi}	1.24^{k}	1.62^{a}	1.43ab	0.61^{ijk}	1.48^{gh}	1.06^{hij}	0.62^{k}
	25	2.98^{dh}	2.72^{fgh}	2.11^{ij}	0.86^{fj}	0.91^{eh}	0.64^{hk}	2.12^{cf}	1.80f^{g}	1.46^{gh}
	19	3.99^{ab}	2.92^{dh}	1.78^{jk}	0.81^{gi}	0.80^{gi}	0.61^{ijk}	3.18^{a}	2.11^{cf}	1.17^{hi}
افق Ofogh	40	3.47^{bcd}	2.74^{fgh}	1.81^{jk}	0.61^{ijk}	0.83^{gj}	0.62^{hk}	2.37^{cde}	1.45^{gh}	0.99^{ijk}
	25	3.46^{bcd}	2.79^{fgh}	1.29^{ik}	1.12^{cf}	0.88^{fj}	0.59^{jk}	2.34^{cde}	1.91^{f}	0.69^{jk}
	19	3.40^{cde}	2.86^{eh}	1.76^{jk}	1.30^{bc}	1.28^{bc}	0.82^{gi}	2.79^{ab}	2.03^{ef}	1.13^{hi}

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Averages that have common letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مشخص شد که اسید هیومیک و تراکم کاشت توانسته‌اند بر اکثر شاخص‌های مورد بررسی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه لوبیا قرمز اثر مثبت بگذارند. بیشترین عملکرد دانه لوبیا، که مهم‌ترین صفت مورد مطالعه در این آزمایش به‌شمار می‌رفت، در رقم یاقوت همراه با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار مشاهده شد. البته اثر متقابل تراکم و اسید هیومیک روی عملکرد دانه نیز نشان داد که بالاترین میزان عملکرد دانه لوبیا مربوط به تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به همراه اسید هیومیک گوگرددار شش لیتر در هکتار بود. با رعایت کردن سطح مناسب از تراکم، رقم و اسید هیومیک امکان برداشت حداکثر عملکرد از لوبیا قرمز در منطقه مورد نظر خواهیم داشت.

References

Abdzad Gohari, A., & Sadeghipour, O. (2019). Effect of irrigation and humic acid on yield and water use efficiency in common bean. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science), 33*(3), 383-395. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2019.120469

Ahmadi Nouraldinvand, F., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Moshatati, A. (2019). The reaction of vegetative and reproductive growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) to humic acid application with irrigation water in different planting densities. *Iranian Journal of Pulses Research, 10*(2), 104-118. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397

Anwar, S., Iqbal, F., Khattak, W. A., Islam, M., Iqbal, B., & Khan, S. (2019). Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. *Journal of Agricultural and Food Sciences, 3*(1), 558-565.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy, 23*, 112-121.

Astaraei, A. R., & Ivani, R. (2008). Effect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition if cowpea plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 3*(3), 352-356.

Babaei, P., Golchin, A., Besharati, H., & Afzali, M. (2012). Effect of microbial sulfur fertilizer on nutrient uptake and yield of soybean in a calcareous soil. *Iranian Journal Soil Research, 2*(2), 145-151. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/IJSR.2012.126366

Bakry, B. A., Elewa, T. A., El-Karamany, M. F., Zeidan, M. S., & Tawfik, M. M. (2011). Effect of row spacing on yield and its components of some bean varieties under newly reclaimed sand soil condition. *World Journal Agricultural Sciences, 7*(1), 68-72.

Beeh, D.F. & Leach, G.Y. (2009). Effect of plant density and raw spacing on the yield of chickpea grown on the daily downs. *Journal Agricultural*, *29*(2), 241-246.

Beheshti, S., Tadayyon, A., & Fallah, S. (2017). Effect of humic acid on the yield and yield components of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research, 7*(2), 175-187. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V7I2.46533

Clarke, J. M., & Simpson, G. M. (1978). Growth analysis of *Brassica napus* cultivars. Tower. *Canadian Journal Plant Sciences, 58*, 587-595. https://doi.org/10.4141/cjps78-092

Dadnia, M. (2017). Effect of humic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of castor bean (*Ricinus commonis*) under water deficit condition. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science), 11*(1), 85-98. (In Persian)

Emami Bistgani, Z., Siadat, S., Bakhshandeh, A., Khalil Alami, S., & Shirsmaoeli, G. (2014). Effect of plant density on yield, agronomic traits in new variety sunflower. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 27*(103), 69-75. (In Persian). https://doi.org/10.22092/AJ.2014.101207

Farajee, H., Gholizadeh, S., Owliaiee, H., & Azimi Gandomani, M. (2010). Effect of plant density on grain yield of three spotted bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars in Yasouj condition. *Iranian Journal of Pulses Research, 1*(1), 43-50. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1I1.6338

Ganjali, A., Malekzadeh, S., & Bagheri, A. (2000). Investigating plant density and arrangement on the trend of changes in chickpea growth indicators under Faryab conditions in Neishabur region. *Journal of Agricultural Sciences and Industries, 14*(2), 33-41. (In Persian with English Abstract)

Ghanbari, A. A., Lak, M. R., & Dari, H. R. (2005). The effect of planting date on the yield and yield components of pinto bean cultivars. The first national legume conference. November 29 and 30. 2005. Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Ghorbani, S., Khazaei, H. R., Kafi, M., & Banayan Aval, M. (2010). Effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Ecology Agricultural, 2*(1), 123-131. https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7608

Haghparast, M., & Maleki Farahani, S. (2013). Effect of water deficit irrigation and natural products on vegetative characteristics of different chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *Iranian Journal of Pulses Research, 4*(2), 77-86. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1392I2.41272

Hayat, F., Arif, M., & Kakar, K. M. (2003). Effects of seed rates on mung bean varieties under dry land conditions. *International Journal of Agriculture and Biology, 5*(1), 160-161.

Ibrahim, H.M. (2012). Response of some sunflower hybrids to different levels of plant density. *Journal of Apcbee Procedia, 4*, 175-182.

Jadoski, S. O., Carlesso, R., Wolschick, D., Petry, T., & Frizzo, Z. (2000). Plant population and rowspacings for irrigateddry bean. II: Grainyield and yield components. *Brazil Journal of Ciencia Rural, l30*, 567 - 573.

Jahan, M., Sohrabi, R., Doaei, F., & Amiri, M.B. (2012). Effect of soil moisture superabsorbent hydrogel and foliar application of humic acid on some of agro-ecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris*) in Mashhad. *Journal of Physiology of Crops, 2*(3), 71-90. (In Persian with English Abstract)

Kamari Shahmaleki, S., Peyvast, Q., & Olfati, J. (2010). Effects of humic acid on growth characteristics and absorption of nutrient elements of lettuce in thin layer of solution. *Journal of Horticultural Sciences, 24*(2), 149-153.

Kumar, S., Sindhu, S. S., & Kumar, R., (2022). An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences, 3*, 100094.

Lynch, J., Lãuchli, A., & Epstein, E. (2001). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Journal of Crop Science, 31*, 380-387.

Majnoun Hosseini, N. (2008). Cultivation and production of legumes. University Jihad Publish, Iran. 290 p. (In Persian)

Majnoun Hosseini, N. (2014). Pulse crop agronomy and production University Jihad Publish, Iran. 283 p. (In Persian)

Majnoun Hosseini, N., Mohammadi, H., Poustini, K., & Zeinaly Khanghah, H. (2003). Effect of plant density on agronomic characteristics, chlorophyll content and stem remobilization percentage in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 34*(4), 1011-1019. (In Persian with English Abstract)

Manal, F. M., Thalooth, A. T., Amal, A. G., Magda, H. M., & Elewa, T. A. (2016). Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Chemtech Research, 9*(8), 154-161.

Mason, S. C., & Leihner, D. E. (1986). Cassava-cowpea and cassava-peanut intercrop-pin. II. Leaf area index and dry matter accumulation. *Journal of Agronomy, 78*, 47-53.

Mozafari, S., Khorasaninejad, S., & Gorgini Shabankareh, H. (2016). Effects of irrigation regime based on field capacity percent and humic acid on morphophysiological traits of medicinal plant (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Crop Production, 9*(3), 153-175. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/0.22069/EJCP.2016.10754.1849

Naderi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Journal of Soil Biology and Biochemistry, 34*, 1527-1536. (In Persian)

Nakhyeinejad, B., & Moosavi, S. G. R. (2015). Effect of irrigation interval, humic acid and sulfur fertilizer on morphological and yield traits of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Scientific Journal of Plant Ecophysiology, 9*(30), 40-51. (In Persian with English Abstract)

Nakhzari Moghaddam, A., Parsa, N., Sabouri, H., & Bakhtiari, S. (2017). The effect of humic acid, density and supplementary irrigation on quantity and quality of local chickpea (*Cicer arietinum* L.) of Neishabur. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences, 10*(2), 183-192. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.575

Nazari Deljou, M., & Allahverdizadeh, N. (2014). Improvement of growth characteristics, yield and postharvest quality of marigold (*Calendula officinalis* Cv. Crysantha) by foliar application of humic acid. *Journal of Horticultural Science, 28*(2), 260-268. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.20886

Piri, I., Moussavi Nik, M., Tavassoli, A., & Rastegaripour, F. (2011). Effect of irrigation intervals and sulphur fertilizer on growth analyses and yield of *Brassica juncea* L. *African Journal of Microbiology Research, 5*, 22. 3640-3646. https://doi.org/10.5897/AJMR11.249

Saadati, J., & Baghi, M. (2014). Evaluation of the effect of various amounts of humic acid on yield, yield components and protein of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(7), 2306-2313.

Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Khoram, A. (2016). Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology, 9*(3), 805-820. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I3.51879

Salehi, F. (2012). Effect of plant density on seed yield and its components in new red bean lines. *Journal of Applied Crop Research, 27*(103), 23-28. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2015.101200

Saruhan, V., Kusvuran, A., & Babat, S. (2011). The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays, 6*(3), 663-669. https://doi.org/10.5897/sre10.1153

Siahmargue, A., Rasi Serai, M. R., & Naseri, M. Y. (2014). Effect of biological fertilizers on some forage quantity traits in millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Iranian plant of Ecophysialogy Researches, 9*(2), 72–81 (In Persian with English Abstract)

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 249-264
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۶۴-۲۴۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85603.1075

Evaluation of Yield Response and Yield Components of Promising Red Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Resistant to Drought Stress

Behrouz Asadi[1], Seyedeh Soudabeh Shobeiri[2], Ali Akbar Asadi[3]*, Hossein Astaraki[4], Foroud Salehi[5]

Received: 09-12-2023
Revised: 01-02-2024
Accepted: 08-04-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Asadi, B., Shobeiri, S.S., Asadi, A.A., Astaraki, H., & Salehi, F. (2024). Evaluation of yield response and yield components of promising red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes Resistant to Drought Stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 249-264. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85603.1075

Introduction
Considering the limitation of arable land, the most effective factor in increasing the production of beans is to conduct research in the field of agronomic and breeding in order to increase the yield per unit area. In order to determine the effect of genetic or environmental factors on a trait, different genotypes should be studied in multiple environments. The varying responses of genotypes in different environments, coupled with the interaction effects of genotype in the environment, render the selection of genotypes from one environment to another challenging. Therefore, examining genotypes in diverse environments holds significant importance in determining the appropriate breeding strategy for the release of adapted cultivars to the target environments. Considering the role of genetic diversity in the advancement of breeding programs, the study of morphological and phenological characteristics that determine yield is a suitable method to achieve selection criteria for improving yield and improving and introducing compatible and high-yielding cultivars. Seed yield is a complex trait that is controlled by a large number of genes, and selection based on yield alone is often not successful. For this reason, one of the ways to identify high-yielding genotypes is to study traits that have a significant relationship with seed yield, so that by selecting or removing them, the accumulation of desirable genes in improved cultivars can be done. Considering the climatic conditions of different regions of Iran, this research was conducted in order to investigate the yield and yield components of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in 4 major bean growing regions in the country.

Materials and Methods
14 red bean genotypes along with Yaghout, Ofogh and Dadfar varieties (Controls) were studied in randomized complete block design with three replications in four research stations of Khomein, Broujerd, Shahrekord and Zanjan for 2 crop years (2018-2019). At the time of harvest, each plot was harvested separately and the yield of each plot was weighed after threshing. After collecting data related to yield and its components, combined variance analysis, simple variance analysis related to each location and mean comparisons were performed. Also, correlation analysis and step-by-step regression were used to investigate the relationship between yield and its components.

1- M.Sc., Researcher of Seed and Plant Improvement Institute, Arak Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.
2- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute, Zanjan Agricultural and Natural Recourses Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
3- Assistant Professor, Seed and Plant improvement Institute, Zanjan Agricultural and Natural Recourses Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
4- M.Sc., Researcher of Researcher of Seed and Plant improvement Institute, Lorestan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Lorestan, Iran.
5- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Recourses Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Chaharmahal and Bakhtiari, Iran.
* Corresponding Author: asadipm@gmail.com

Results and Discussion

The results showed that there is a significant statistical difference between the studied locations, years and genotypes in terms of all traits at the probability level of 1%. The significance of genotype × location interaction for all traits made it necessary to analyze the variance separately in each investigated location. The significance of double interactions indicates the relative instability of the traits of different genotypes in different times and places. The highest seed yield was observed at Khomein station in G12, Yaghot and G4 genotypes, Borujerd in G14 and G13 genotypes, Zanjan in Yaghot and G12 genotypes and Shahrekord in G12 and G16 genotypes. Based on the days to maturity the Ofogh variety, G9, G16 and to some extent G4 genotypes, and based on its yield and yield components, the G12 genotype and Yaghuot and Dadfar varieties were introduced as desirable genotypes. Correlation analysis showed that there is a positive but non-significant correlation between seed yield and number of pods per plant, number of seeds per pod and number of seeds per plant. Regression analysis showed that the traits of number of seeds per pod, days to maturity, number of pods per plant and 100 grain weight are included in the regression model as effective traits and among these traits, days to maturity with a negative coefficient and the number of pods per plant with a positive coefficient were more effective in seed yield.

Conclusions

This study showed that according to the yield and its components in red beans, it is better to introduce a specific variety for each region. Based on the number of days to maturity, Ofogh (check) and G9, G16, and to some extent G4 genotypes, and based on its yield and components, genotypes G12 and G5 can be reported as favorable genotypes. Besides the seed yield, the yield components including the number of pods per plant, the number of seeds per plant, and the 100 grain weight also played a role in selecting better lines; therefore, indirect selection through the selection of these traits can be effective in increasing seed yield. Finally, it can be concluded that apart from seed yield, yield components including the number of pods per plant, the number of seeds per plant, and the weight of 100 seeds can also be effective in selecting superior genotypes; therefore, indirect selection through these traits can be effective in increasing grain yield

Keywords: Cluster analysis, Indirect selection, Legumes, Regression analysis

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 249-264
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۶۴-۲۴۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85603.1075

ارزیابی واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش مقاوم به تنش خشکی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

بهروز اسدی[۱]، سیده سودابه شبیری[۲]، علی‌اکبر اسدی[۳*]، حسین آسترکی[۴]، فرود صالحی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۰

چکیده

جهت تشخیص میزان تأثیر عوامل ژنتیکی و یا محیطی بر روی یک صفت، ژنوتیپ‌های مختلف بایستی در محیط‌های متعدد مطالعه شوند. این عمل از لحاظ تعیین استراتژی اصلاحی مناسب برای آزادسازی ارقام سازگار به محیط‌های هدف با شرایط محیطی خاص دارای اهمیت می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی مناطق مختلف، این تحقیق در چهار منطقه عمده کشت لوبیا در کشور به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکردی لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) با استفاده از ۱۴ ژنوتیپ لوبیا به همراه ارقام شاهد یاقوت، افق و دادفر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار ایستگاه تحقیقاتی خمین، بروجرد، شهرکرد و زنجان به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹۹) انجام گرفت. نتایج نشان داد که بین مکان‌ها، سال‌ها و ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تمامی صفات، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان برای تمامی صفات، نیاز به تجزیه واریانس جداگانه در هر مکان مورد بررسی را ضروری ساخت. براساس تعداد روز تا رسیدن رقم افق و ژنوتیپ‌های G9، G16 و تا حدودی G4 و براساس عملکرد و اجزای آن ژنوتیپ G12 و ارقام یاقوت و دادفر (به‌ترتیب با میانگین عملکردهای ۳۲۸۸، ۳۱۳۵/۹۵ و ۳۱۱۰/۵۸ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب برای تمامی مناطق معرفی شدند. تجزیه همبستگی نشان داد که بین عملکرد دانه با صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته همبستگی مثبت ولی غیرمعنی‌دار وجود دارد. تجزیه رگرسیون نشان داد که صفات تعداد دانه در غلاف، روز تا رسیدگی، تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه به‌عنوان صفات مؤثر وارد مدل رگرسیونی می‌شوند و از بین این صفات نیز روز تا رسیدگی با ضریب منفی و تعداد غلاف در بوته با ضریب مثبت در عملکرد دانه مؤثرتر بودند. در نهایت، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که غیر از عملکرد دانه، اجزاء عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، و وزن ۱۰۰ دانه نیز در گزینش ژنوتیپ‌های برتر می‌توانند مؤثر باشند، لذا انتخاب غیرمستقیم از طریق این صفات می‌تواند در جهت افزایش عملکرد دانه مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه رگرسیون، تجزیه کلاستر، حبوبات، گزینش غیرمستقیم

مقدمه

حبوبات پس از غلات، دومین منبع غذایی بشر بوده است و در بین حبوبات نیز، لوبیا یکی از مهم‌ترین گیاهان این گروه محسوب می‌شود (Broughton et al., 2003). بی‌شک حبوبات و به‌ویژه لوبیا از منابع مهم تأمین‌کننده پروتئین در اکثر کشورها به‌خصوص کشورهای درحال توسعه بوده و به‌عنوان یک منبع غذایی برای بیش از ۳۰۰ میلیون نفر از جمعیت جهان شناخته شده است، چرا که از نظر اقتصادی از پروتئین حیوانی ارزان‌تر بوده (Beebe & Mc Clafferty, 2006) و با داشتن

۱- کارشناس ارشد، پژوهشگر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
۴- کارشناس ارشد، پژوهشگر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لرستان، ایران.
۵- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چهارمحال و بختیاری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: asadipm@gmail.com)

کربوهیدرات، برخی ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری، جایگاه مهمی در جیره غذایی انسان دارند (Singh et al., 1999). حبوبات در تناوب‌های زراعی می‌توانند به‌عنوان کود سبز و حاصلخیزکننده زمین مورد استفاده قرار گیرند (Khaghani et al., 2009) و در صورت تناوب با غلات و یا به‌عنوان محصولات پوششی، تأثیرات مثبتی بر عملکرد دیگر محصولات زراعی داشته باشند؛ همچنین می‌توانند میزان کربن و نیتروژن خاک را بهبود بخشند (Sainju et al., 2005).

با توجه به محدودیت اراضی زراعی، مؤثرترین عامل در افزایش تولید لوبیا، انجام تحقیقات در زمینه به‌زراعی و به‌نژادی در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی، بدون شک بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فنولوژیکی تعیین‌کننده عملکرد از جمله روش‌های مناسب برای دستیابی به معیارهای انتخاب در جهت بهبود عملکرد و اصلاح و معرفی ارقام است (Asadi et al., 2015). عملکرد بذر، صفت پیچیده‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود و گزینش تنها براساس عملکرد اغلب همراه با موفقیت نمی‌باشد. به همین دلیل، یکی از راه‌های شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول، بررسی صفاتی است که رابطه معنی‌داری با عملکرد بذر دارند تا با گزینش یا حذف آن‌ها نسبت به تجمع ژن‌های مطلوب در ارقام اصلاح شده اقدام گردد (Salehi & Saeidi, 2011). بررسی و تحلیل تنوع ژنتیکی در ذخایر توارثی موجود از مهم‌ترین مراحل پروژه‌های به‌نژادی است که امکان گروه‌بندی و توصیف دقیق نمونه‌ها را فراهم آورده و به‌نژادگر را در تشخیص زیرمجموعه‌ها و نمونه‌هایی که امکان استفاده مؤثر از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی وجود دارد را یاری می‌کند (Asadi et al., 2015). در همین راستا، رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2023) در لوبیا چیتی و بخشی و همکاران (Bakhsi et al., 2021) در لوبیا چشم بلبلی تنوع قابل توجهی را گزارش کردند که می‌توان از این تنوع در برنامه‌های اصلاحی و گزینشی جهت مقابله با تنش خشکی استفاده کرد.

به منظور تشخیص میزان تأثیر عوامل ژنتیکی و یا محیطی بر روی یک صفت، ژنوتیپ‌های مختلف بایستی در محیط‌های متعدد مطالعه شوند. اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط که پاسخ‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد، انتخاب ژنوتیپ‌ها را از یک محیط به محیط دیگر با مشکل مواجه می‌سازند، بنابراین بررسی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف از لحاظ تعیین استراتژی اصلاحی مناسب برای آزادسازی ارقام سازگار به محیط‌های هدف دارای اهمیت می‌باشد (Sharifi et al., 2014). معمولاً ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط محیطی مختلف، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و یک ژنوتیپ ممکن است در یک منطقه بهترین ژنوتیپ محسوب شود، درحالی‌که در مناطق دیگر چنین مزیتی نداشته باشد (Farshadfar, 2000). لوبیا را به‌عنوان گونه‌ای چند شکل می‌شناسند که در رویشگاه‌های مختلف، تعداد و اندازه اندام‌های رویشی و زایشی متفاوتی خواهد داشت (Laing et al., 1983). به همین دلیل، لوبیا از جمله گیاهانی است که تنوع ژنتیکی وسیعی دارد و به‌ویژه اکثر توده‌های آن تفاوت چشمگیری در مورد عملکرد دانه دارند (Gomez et al., 2004). عملکرد، درصد کاهش عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا از جمله صفاتی هستند که در گزینش ژنوتیپ‌های برتر در محیط‌های مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار می‌گیرند (Abebe et al., 1998). تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه، سه جزء مهم تشکیل‌دهنده اجزای عملکرد در لوبیا محسوب می‌شوند (Liebman et al., 1995). تعداد غلاف در لوبیا، بیشترین همبستگی را با عملکرد بوته دارد (Bennett et al., 1977) و ممکن است در شرایط مختلف محیطی تا چهار برابر تغییر کند، بنابراین مهم‌ترین جزء عملکرد محسوب می‌شود (Salehi et al., 2008). کوشکی و مرزوقیان (Kooshki & Marzoghian, 2020) در افزایش عملکرد دانه، افزایش تعداد دانه در بوته را نسبت به دیگر صفات عملکردی مؤثرتر دانستند. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2017) با استفاده از تجزیه رگرسیون گام به گام، به‌ترتیب صفات تعداد دانه در غلاف، دوره پرشدن دانه، تعداد روز تا ظهور سه برگچه اول و بازارپسندی دانه را جهت برنامه‌های اصلاحی لوبیا چیتی پیشنهاد دادند. در برخی از پژوهش‌ها، تعداد غلاف تا ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کند (Fageria & Santos, 2008). در مطالعه ۳۰ رقم لوبیا در شرایط آب‌وهوایی تهران، از میان صفات تعداد دانه در بوته، وزن دانه‌ها، تعداد غلاف و طول غلاف، و صفت تعداد دانه در بوته بیشترین همبستگی مثبت و مستقیم را با عملکرد دانه داشت (Sabokdast & Khyalparast, 2008). در مقایسه بین ۱۰ رقم لوبیا سفید، ارقام دانشکده، امرسون ۷۴، گریت نوردم، و جی ۵۷۱۰ نسبت به سایر ارقام عملکرد بیشتری داشتند و ارقام برتر، تعداد دانه بیشتر با وزن دانه زیادتر تولید کردند (Hashemi Jezi, 2014). با توجه به لزوم بررسی صفات مهم عملکردی و سازگاری ارقام امیدبخش لوبیا در مناطق مختلف کشت دارای شرایط آب‌وهوایی متفاوت در کشور، هدف از اجرای این پژوهش، مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش لوبیا قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) حاصل از برنامه‌های اصلاحی در چهار منطقه عمده کشت لوبیا در کشور بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مقایسه عملکرد و اجزاء عملکرد و بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز، تعداد ۱۴ ژنوتیپ به همراه ارقام شاهد یاقوت، افق و دادفر جمعاً ۱۷ ژنوتیپ (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در چهار منطقه کشور در ایستگاه‌های تحقیقاتی خمین، بروجرد، شهرکرد و زنجان به‌مدت دو سال زراعی (۱۳۹۸- ۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز مورد مطالعه در مناطق مختلف مورد بررسی

Table 1- Red bean genotypes studied in different areas

کد Code	ژنوتیپ Genotype	کد Code	ژنوتیپ Genotype
G1	KS31361	G10	Ofogh
G2	KS31360	G11	KS31148
G3	KS31362	G12	KS31253
G4	KS31359	G13	KS31264
G5	Yaghot	G14	KS31340
G6	KS31358	G15	KS31363
G7	KS31336	G16	KS31339
G8	KS31338	G17	Dadfar
G9	KS31353		

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق پاییزه، شخم سطحی بهاره، دیسک و لولر در هر چهار ایستگاه به‌طور یکسان انجام شد. با توجه به وجود مناطق مختلف در این بررسی، تاریخ کاشت و برداشت در مناطق مختلف یکسان نبود، ولی به‌طور عمومی نیمه دوم خرداد و اواخر شهریور را می‌توان به‌عنوان زمان کشت و برداشت لوبیا در این مناطق در نظر گرفت. عناصر غذایی ماکرو و میکرو براساس آزمون خاک هر ایستگاه به زمین داده شد. از علف‌کش پیش‌کاشت تریفلورالین (TREFLAN 48% EC) به‌میزان ۱/۵ لیتر در هکتار جهت کنترل علف‌های هرز استفاده گردید. کشت به‌صورت ردیفی (جوی و پشته) با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر براساس نقشه آزمایشی انجام شد. فواصل بوته‌ها در روی ردیف، پنج تا هفت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور هر یک از ژنوتیپ‌ها بر روی چهار خط به‌طول پنج متر کشت شد. عملیات داشت در تمامی ایستگاه‌ها بنابر شرایط منطقه و تقریباً به‌صورت یکسان انجام شد.

در طول دوران رشدونمو، یادداشت‌برداری صفات روز تا رسیدگی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه و وزن ۱۰۰ دانه انجام شد. در زمان برداشت، تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی از دو خط میانی انتخاب و اجزاء عملکرد این بوته‌ها تعیین شدند. در زمان برداشت تمامی بوته‌های هر پلات به‌صورت جداگانه برداشت و عملکرد هر پلات پس از خرمن‌کوبی توزین شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوطه، تجزیه واریانس ساده، مرکب و مقایسه‌های میانگین انجام شد. همچنین جهت بررسی ارتباط بین عملکرد و اجزای آن از تجزیه همبستگی و رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. در نهایت، جهت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از تجزیه کلاستر با استفاده از روش مربع فاصله اقلیدسی جهت تعیین فاصله و روش UPGMA جهت گروه‌بندی استفاده شد. جهت انجام محاسبات آماری و رسم نمودارها نیز از نرم افزارهای SAS و SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از آزمون‌های بارتلت و F ماکس هارتلی[1]، یکنواختی واریانس خطای آزمایشی ارزیابی گردید. این آماره‌ها با استفاده از واریانس خطاهای آزمایشی محاسبه شده برای صفات مختلف در نقاط مختلف و در دو سال انجام تحقیق (محیط‌ها) محاسبه شد. برای صفت عملکرد، تست بارتلت و باقی صفات، F ماکس هارتلی غیر معنی‌دار شدند. بنابراین، می‌توان داده‌های مربوط به نقاط مختلف در دو سال مورد بررسی را برای صفات یکنواخت ارزیابی کرد (جدول ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهتر است از چند آزمون برای تست غیریکنواختی واریانس‌ها استفاده کرد و در صورت معنی‌دار نبودن حتی یکی از روش‌ها نتیجه‌گیری شود که واریانس‌های اشتباه‌های درون تیماری یکنواخت می‌باشند (Valizadeh & Moghadam, 2010)؛ بنابراین می‌توان یکنواختی واریانس‌های درون تیماری را برای صفات مورد مطالعه در نظر گرفت.

1- Hartley's Fmax test

جدول ۲- واریانس خطاهای آزمایشی در مکان‌های مورد بررسی در دو سال زراعی و آزمون‌های F max هارتلی و بارتلت برای ارزیابی یکنواختی واریانس‌ها

Table 2- Variance of experimental errors in investigated locations and two crop years and F_{max} Hartley and Bartlett's tests to evaluate the uniformity of variances

سال Years	مکان Locations	روز تا رسیدن Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد بذر در غلاف Seed per pod	عملکرد Yield	وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight
2020	خمین Khomein	2.17	6.74	123.69	0.124	344880	1.38
	بروجرد Broujerd	1.37	6.42	96.07	0.206	217348	1.43
	زنجان Zanjan	1.38	5.22	198.43	0.164	174007.5	2.65
	شهرکرد Shahre kord	2.57	4.31	139.16	0.143	191245.2	1.437
2021	خمین Khomein	2.07	4.78	97.86	0.127	368087.1	1.51
	بروجرد Broujerd	2.61	5.15	162.26	0.213	177651	1.67
	زنجان Zanjan	1.95	4.74	124.72	0.211	2083.61	1.28
	شهرکرد Shahre kord	1.67	3.77	141.84	0.239	6979.8	1.74
ماکس هارتلی F $F_{max\ Hartley}$		1.87	1.79	2.03	1.88	186.3**	2.07
تست بارتلت Bartlets test		34.69**	58.42**	50.23**	27.82**	11.98	19.48**

5-DIC: 5-day Irrigation Cycle, 9-DIC: 9-day Irrigation Cycle

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

** and *: significant at the level of 1 and 5 percent, respectively

آزمون تجزیه واریانس برمبنای امید ریاضی با فرض متغیر بودن فاکتور زمان و مکان و ثابت بودن ژنوتیپ انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل سال × مکان در سطح یک درصد برای تمامی صفات معنی‌دار است (جدول ۳). بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی از نظر تمامی صفات مورد مطالعه (به‌جز تعداد دانه در غلاف) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. معنی‌دار شدن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها بیانگر تنوع ژنتیکی بالا (که لازمه هر برنامه اصلاحی است) در بین ارقام و ژنوتیپ‌های مورد نظر می‌باشد. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2017) پس از انجام تجزیه واریانس مرکب در ژنوتیپ‌های لوبیا، تفاوت معنی‌دار و قابل توجهی را در بین ژنوتیپ‌ها و ارقام برای بیشتر صفات گزارش کردند. بیکر و لئون (Becker & Leon, 1988) تنوع بالایی برای کلیه صفات مورد مطالعه در بین ژنوتیپ‌ها گزارش کردند و اظهار داشتند که مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اطلاعات ارزشمندی درباره اثرات مختلف محیط بر عملکرد و ارزیابی پایداری عملکرد ارقام فراهم می‌کند. از طرف دیگر، اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × مکان و سه‌گانه ژنوتیپ × سال × مکان برای بیشتر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که نشان‌دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌های مورد بررسی در محیط‌ها و سال‌های آزمایش بود. معنی‌دار بودن اثرات متقابل دوگانه نشان‌دهنده ناپایداری نسبی صفات ژنوتیپ‌های مختلف در مکان‌های مختلف است، به‌طوری‌که معنی‌دار بودن ژنوتیپ در مکان برای صفت تعداد روز تا رسیدگی نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مختلف در مکان‌های مختلف طول دوره رشد یکسانی را ندارند. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان، برای تمامی صفات در هر مکان مورد بررسی، تجزیه واریانس جداگانه برای تمامی ژنوتیپ‌ها در هر مکان انجام گرفت (تجزیه شکست اثرات متقابل) (جداول ساده واریانس نشان داده نشده است) و برمبنای آن، مقایسه‌های میانگین برای هر صفت در هر مکان نیز انجام شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز طی دو سال زراعی در محیط‌های مورد بررسی

Table 3- Combined variance analysis of investigated traits in red bean genotypes during two cropping years in the investigated environments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد روز تا رسیدن Days to maturity	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pods	عملکرد دانه Grain yield	وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight
سال Year	1	88.48	588.79	26298	1.414	10413572.2	1243.03
مکان Location	3	6701.99*	1789.7*	24303.6	64.31**	19581820.5	1359.5*
مکان×سال Year × location	3	884.87**	384.77**	11559.9**	2.076**	13432928.5**	151.41**
خطا Error1	16	6.9	13.32	206.6	0.167	175740.3	3.82
ژنوتیپ Genotype	16	887.09**	290.37**	7826.6**	2.309	6010926.6**	1254.14**
سال×ژنوتیپ Genotype × year	16	63.72	16.33	442.7*	0.463*	1344081.1	26.23
مکان×ژنوتیپ Genotype × location	48	185.66**	88**	2458.2**	1.08**	2332715.6	32.95
مکان × سال ×ژنوتیپ Genotype × year × location	48	46.47**	24.63**	677.6	0.242	960888.8**	33.45**
خطا Error2	256	10.16	10.34	263.1	0.283	313380	7.452
ضریب تغییرات (٪) CV%		3.14	20.33	29.4	14.95	23.57	7.87

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

**and *: significant at the probability level of 1 and 5%, respectively

تعداد روز تا رسیدن

با توجه به مدت زمان رسیدگی در ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که میانگین طول فصل رشد برای لوبیا در ایستگاه خمین از تمامی ایستگاه‌ها کمتر و در ایستگاه بروجرد از همه بیشتر بود. نتایج مقایسه‌های میانگین برای صفت تعداد روز تا رسیدن نشان می‌دهد که نتایج در سه ایستگاه خمین، بروجرد و زنجان تا حدودی یکسان هستند و ژنوتیپ‌های G10 (رقم افق)، G9، G16 و تا حدودی G4 (به‌جز ایستگاه بروجرد) نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها زودرس‌تر هستند (جدول ۴). رقم افق (ژنوتیپ G10) در زمره ارقام زودرس می‌باشد و ژنوتیپ‌های G9 و G16 با اختلاف پنج تا شش روز نسبت به رقم افق دیررس‌تر هستند. بنابراین در دو ایستگاه زنجان و بروجرد هیچ‌کدام از ژنوتیپ‌های امیدبخش مورد بررسی از ارقام شاهد زودرس‌تر نبودند. در ایستگاه خمین، ژنوتیپ G4 از نظر زودرسی با رقم افق در یک رده قرار داشتند. در ایستگاه شهرکرد ژنوتیپ‌های G7، G8، G13 و G4 نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها و رقم افق زودرس‌تر بودند و به نظر می‌رسد که تفاوت مشاهده شده در این ایستگاه باعث معنی‌دار شدن اثر متقابل شده باشد. در نهایت، در ایستگاه خمین ژنوتیپ G3، در ایستگاه بروجرد رقم دادفر (ژنوتیپ G17) و ژنوتیپ G6، در ایستگاه زنجان ژنوتیپ‌های G6 و G8 و در ایستگاه شهرکرد رقم دادفر (ژنوتیپ G17) و ژنوتیپ G9 به‌عنوان دیررس‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند.

جدول ۴- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت تعداد روز تا رسیدن در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 5- Average comparisons between red bean genotypes in number of days to maturity at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	98.17 b*	116.17 cd	102.67 de	100.2 bcd
G2	93.17 bc	107 f	95.5 ijk	99.33 cd
G3	106.33 a	113.5 de	111.5 c	110.83 a
G4	77.67 f	118b c	93.8 k	97 ef
Yaghot	82.33 ef	111.5 e	100.17 efg	100.33 bcd
G6	99 b	120.5 b	116.67 b	109.83 a
G7	98.5 b	111.17 e	104.3 d	96.33 f
G8	98.3 b	111.5 e	122 a	96.33 f
G9	84.6 de	100.67 g	95.5 ijk	111.17 a
Ofogh	78.67 ef	93.67 h	90.8 l	99.33 cd
G11	89 cd	104 f	97 hij	101.33 bc
G12	84.6 de	121 b	99.5 fgh	99 de
G13	90 cd	105 f	96.8 hijk	96.67 f
G14	99.17 b	112.17 e	101.17 ef	100.2 bcd
G15	98.5 b	112.5 e	108.8 c	101.67 b
G16	84.1 de	100.8 g	94.8 jk	99 de
Dadfar	85.17 de	124.5 a	98 ghi	111.33 a

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

* Means with different letters are significantly different at the 5% level

تعداد غلاف در بوته

در ایستگاه خمین، ژنوتیپ G4 با میانگین ۲۰/۰۳ دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بود و پس از آن، ژنوتیپ‌های G17 (رقم دادفر) و G12 با تعداد غلاف ۱۶/۹۵ و ۱۶/۷ قرار داشتند (جدول ۵). در ایستگاه بروجرد، ژنوتیپ‌های G13، G6، G17 (رقم دادفر)، G5 (رقم یاقوت) و G3 با میانگین ۳۱/۶۷، ۲۹، ۲۶، ۲۵/۶۷ و ۲۵/۶۷ دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بودند. در ایستگاه زنجان، ژنوتیپ G6 با میانگین ۳۵/۸ دارای بیشترین تعداد غلاف بود و این ژنوتیپ نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر تعداد غلاف دو برابر بیشتر را نشان داد. در ایستگاه شهرکرد نیز ژنوتیپ‌های G17 (رقم دادفر)، G4 و G13 با میانگین ۱۸/۹۸، ۱۸/۱۸ و ۱۸/۰۵ دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بودند. در ایستگاه خمین ژنوتیپ‌های G16، G10 (رقم یاقوت) و G8، در ایستگاه بروجرد ژنوتیپ G1، در ایستگاه زنجان ژنوتیپ G8 و در ایستگاه شهرکرد نیز ژنوتیپ G9 دارای کمترین تعداد غلاف در بوته بودند. مشاهده می‌شود که تنوع در تعداد غلاف‌ها در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد و ژنوتیپ‌های مختلف در ایستگاه‌های متفاوت تعداد غلاف متفاوتی را نشان می‌دهند. رقم دادفر (ژنوتیپ G17) در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه جزء ژنوتیپ‌های دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بود که می‌تواند به‌عنوان یک رقم با پتانسیل عملکرد بالا برای مناطق کشت لوبیا مد نظر باشد. تعداد غلاف در بوته، جزء اصلی و مؤثر افزایش عملکرد در لوبیا می‌باشد، زیرا همبستگی بیشتری با عملکرد نشان داده است (Bennett et al., 1977). دورات و آدامز (Duarte & Adams, 1972) و وسترمن و کرودر (Westermann & Crother, 1977) در مطالعه رابطه علیت بین عملکرد و اجزاء عملکرد در لوبیا مشاهده کردند که در بین اجزاء عملکرد، بیشترین اثر مستقیم و مثبت را تعداد غلاف در بوته دارا بود. دیموا و اسوتلوا (Dimova & Svetleva, 1992) نیز اعلام نمودند که تعداد غلاف در بوته روی وزن دانه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم اثر زیادی دارد. دو جزء دیگر عملکرد، یعنی وزن دانه و تعداد دانه در غلاف نیز تأثیر مستقیم و مثبت روی عملکرد دارند (Zimmermann & waines, 1984).

تعداد دانه در بوته

بیشترین تعداد دانه در بوته در ایستگاه خمین در ژنوتیپ‌های G12، G3 و G4، در ایستگاه بروجرد در ژنوتیپ‌های G6، G13 و G17، در ایستگاه زنجان در ژنوتیپ‌های G6، G12، G1 و G5 و در ایستگاه شهرکرد در ژنوتیپ‌های G17، G13 و G6 مشاهده شد (جدول ۶). رقم یاقوت (ژنوتیپ G5) در دو ایستگاه خمین و زنجان و رقم دادفر (ژنوتیپ G17) در سه ایستگاه خمین، بروجرد و شهرکرد جزء ژنوتیپ‌های دارای بیشترین تعداد دانه در بوته بودند؛ در مقابل رقم افق (ژنوتیپ G10) در هر چهار ایستگاه تعداد دانه در بوته کمتری را نشان داد.

جدول ۵- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت تعداد غلاف در بوته در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 4- Average comparisons between red bean genotypes in number of pods per plant at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	9.85 cd*	10 h	19.77 b	13.87 de
G2	10 cd	20.67 ef	14.53 bcde	13.68 de
G3	10.7 cd	25.67 bcd	15.92 bcd	16.95 abc
G4	20.03 a	20 ef	16.37 bcd	18.18 a
Yaghot	15.8 b	25.67 bcd	17.53 bc	13.68 de
G6	11.08 cd	29 ab	35.8 a	16.98 abc
G7	10.93 cd	21.3 def	9.7 ef	11.05 fg
G8	8 d	14 g	8.97 f	16.52 abc
G9	8.52 d	18 fg	10.4 ef	9.28 g
Ofogh	7.8 d	17.33 fg	9.3 ef	15.5 bcd
G11	9.93 cd	24 cde	14.03 cdef	14.6 cde
G12	16.7 ab	24 cde	18.83 bc	15.3 cd
G13	13.1 bc	31.67 a	18.07 bc	18.05 ab
G14	9.6 cd	21 ef	9.9 ef	16.92 abc
G15	9.55 cd	21.3 def	11.27 def	15.35 cd
G16	7.17 d	17 fg	9.37 ef	12.52 ef
Dadfar	16.95 ab	26 bc	16.23 bcd	18.98 a

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

* Means with different letters are significantly different at the 5% level

جدول ۶- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت تعداد دانه در بوته در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 6- Average comparisons between red bean genotypes in number of seeds per plant at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	22.03 f*	37.23 fgh	96.99 b	45.01 fgh
G2	26.03 ef	46 defgh	60.42 cdef	49.73 cdfg
G3	30.61d ef	43.83 defgh	81.64 bcd	55.37 cdfg
G4	52.9 b	34.3 fgh	82.93 bcd	61.07 bcdf
Yaghot	52.37 b	60.1 cd	91.15 bc	52.68 cdfg
G6	36.33 cde	108.6 a	112.9 a	65.77 abc
G7	41.65 bcd	51.33 def	48.01 ef	39.87 gh
G8	28.28 ef	31.27 gh	36.38 f	60.99 bcdf
G9	26.33 ef	28.37 h	43.93 f	33.57 h
Ofogh	25.73 ef	45.27 defgh	40.41 f	55.56 cdfg
G11	30.6 def	71.53 bc	54.67 def	47.56 dfgh
G12	65.57 a	72.27 bc	97.11 b	63.48 abcd
G13	37.53 cde	85.13 b	90.91 bc	75.57 ab
G14	29.1 def	47.8 defg	43.25 f	52.45 cdfg
G15	32.13 def	57.5 cde	50.38 def	51.75 cdfg
G16	24.45 ef	41.5 efgh	41.75 f	51.46 cdfg
Dadfar	48.25 bc	81.43 b	79.6 bcde	77.44 a

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

* Means with different letters are significantly different at the 5% level

تعداد دانه در غلاف

بیشترین تعداد دانه در غلاف در ایستگاه خمین در ژنوتیپ‌های G12 و G7، در ایستگاه بروجرد در ژنوتیپ‌های G6، G11، G13 و G15، در ایستگاه زنجان در ژنوتیپ‌های G6، G5، G13 و G4 و در ایستگاه شهرکرد در ژنوتیپ‌های G13، G16، G17 و G12 مشاهده شد (جدول ۷). در مقابل، در ایستگاه خمین ژنوتیپ G1، در ایستگاه بروجرد ژنوتیپ G4، در ایستگاه زنجان ژنوتیپ G11 و در ایستگاه شهرکرد ژنوتیپ G14 دارای کمترین تعداد دانه در غلاف بودند.

جدول ۷- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت تعداد دانه در غلاف در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 7- Average comparisons between red bean genotypes in number of grains per pods at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	2.327 h*	2.94 abcd	4.53 bcde	3.25 ef
G2	2.6 gh	2.58 bcd	4.13 de	3.63 abcdef
G3	2.827 efg	2.24 cde	4.83 bcd	3.27 def
G4	2.665 fgh	1.57 e	5 bc	3.37 cdef
Yaghot	3.345 cd	2.47 bcde	5.17 b	3.85 abcd
G6	3.24 cde	3.76 a	6.1 a	3.87 abc
G7	3.797 ab	3.01 abc	4.8 bcd	3.62 abcdef
G8	3.49 bc	2.46 bcde	4.07 e	3.72 abcde
G9	3.078 cdef	1.95 de	4.17 de	3.62 abcdef
Ofogh	3.39 cd	2.9 abcd	4.3 cde	3.58 bcdef
G11	3.09 cde	3.76 a	3.87 e	3.2 ef
G12	3.905 a	3.05 abc	4.97 bc	4.02 ab
G13	2.858 efg	3.43 ab	5 bc	4.18 a
G14	3.041 def	2.66 bcd	4.3 cde	3.1 f
G15	3.38 cd	3.31 ab	4.5 bcde	3.35 cdef
G16	3.37 cd	2.96 abcd	4.47 bcde	4.08 ab
Dadfar	2.848 efg	3.17 abc	4.8 bcd	4.05 ab

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

*Means with different letters are significantly different at the 5% level

عملکرد دانه

بیشترین عملکرد دانه در ایستگاه خمین در ژنوتیپ‌های G12 و G5 و G4، در ایستگاه بروجرد در ژنوتیپ‌های G14 و G13، در ایستگاه زنجان در ژنوتیپ‌های G5 و G12 و در ایستگاه شهرکرد در ژنوتیپ‌های G12 و G16 مشاهده شد. در مقابل، در ایستگاه خمین ژنوتیپ G8، در ایستگاه بروجرد ژنوتیپ G1، در ایستگاه زنجان ژنوتیپ G10 و در ایستگاه شهرکرد ژنوتیپ G2 دارای کمترین عملکرد دانه بودند (جدول ۸). همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، واکنش ژنوتیپ‌های امیدبخش جدید در هر منطقه متفاوت بود و در هر منطقه، رقم خاصی برتری داشت. در بین ارقام شاهد نیز رقم یاقوت در ایستگاه‌های زنجان و تا حدودی شهرکرد و رقم دادفر در ایستگاه‌های شهرکرد و تا حدودی بروجرد می‌توانند به‌عنوان ارقام برتر با عملکرد بالا انتخاب شوند. معمولاً ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه در شرایط محیطی مختلف، واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Farshadfar, 2000) و در رویشگاه‌های مختلف، تعداد و اندازه اندام‌های رویشی و زایشی متفاوتی خواهند داشت (Laing et al., 1983). عملکرد لوبیا صفتی کمّی و پیچیده است که اجزای آن تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن دانه می‌باشد (Bennett et al., 1997; Adams, 1982). تعداد دانه در بوته و شاخص برداشت اثر مستقیم مثبت بالایی روی عملکرد دانه در لوبیا دارند (Sadeghi et al., 2011). در تحقیقی دیگر، اوندر و همکاران (Onder et al., 2013) عملکرد دانه را به‌میزان زیادی تحت تأثیر اثرات مستقیم مثبت عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت دانستند. در تحقیق دیگری با استفاده از تجزیه علیت مشاهده شد که صفات تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و وزن ۱۰۰ دانه بیشترین تأثیر مستقیم مثبت را بر روی عملکرد دانه لوبیا دارند (Ahmed, 2013).

وزن ۱۰۰ دانه

بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در ایستگاه خمین در ژنوتیپ‌های G13 و G10 در ایستگاه بروجرد در ژنوتیپ‌های G10، G13 و G14، در ایستگاه زنجان در ژنوتیپ‌های G11 و G14 و در ایستگاه شهرکرد در ژنوتیپ‌های G12 و G4 مشاهده شد (جدول ۹). رقم افق در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی به‌عنوان رقمی با وزن ۱۰۰ دانه بالا شناخته شد. در مقابل، رقم یاقوت جزء ارقام با کمترین وزن ۱۰۰ دانه بود.

جدول ۸- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت عملکرد دانه (کیلو گرم در هکتار) در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 8- Average comparisons between red bean genotypes in grain yield (kg.h^{-1}) at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	1641.7 efg*	1366.67 f	2275 def	1968.8 g
G2	1378.3 g	2316.67 cde	2845 bcdef	1173.5 j
G3	1293.3 g	2208.33 de	2902.8 bcde	812.17 k
G4	3190.8 ab	1583.33 ef	3540 abc	1395.5 i
Yaghot	3882.5 a	2308.33 cde	4290 a	2063 f
G6	2232.5 cdef	2866.67 abcd	2133.3 def	637.17 l
G7	2535 bcd	2333.3 cde	2940 bcd	1558.3 i
G8	1329.2 g	1861.67 ef	1981.7 ef	1624 h
G9	1435.8 fg	2783.33 bcd	2269.5 def	1422.1 i
Ofogh	1713.3 efg	2821.67 bcd	1911.7 f	2502.7 d
G11	2294.2 cdef	2956.33 abcd	3008.3 bcd	2615.5 c
G12	3925 a	2810b cd	4156.67 a	2964.3 a
G13	1797.5 defg	3108.33 abc	2841.7 bcdef	2286.8 e
G14	2805.8 bc	3200 ab	2751.7 cdef	1608.3 h
G15	2320.8 cde	3666.67 a	2610 cdef	864.67 k
G16	1619.2 efg	2958.33 abcd	2078.3 def	2848.5 b
Dadfar	2921.7 bc	2716.67 bcd	3755 ab	2682.7 c

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

* Means with different letters are significantly different at the 5% level

جدول ۹- مقایسه‌های میانگین بین ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز از نظر صفت وزن ۱۰۰ دانه (گرم) در ایستگاه‌های مورد بررسی

Table 9- Average comparisons between red bean genotypes in 100 grain weight (g) at the investigated stations

ژنوتیپ Genotype	خمین Khomein	بروجرد Broujerd	زنجان Zanjan	شهرکرد Shahre kord
G1	26.03 f*	32.07 g	29.53 f	25.53 g
G2	28.1 ef	38.47 ef	36.06 d	28.17 f
G3	29 e	38.41 ef	40.61 c	35.53 e
G4	28.93 e	27.5 gh	31.93 e	43.05 b
Yaghot	26.28 f	28.85 gh	31.2 f	27.72 f
G6	36.67 bc	23.8 h	24.03 h	24.78 g
G7	38.3 b	44.78 bc	43.87 b	19.95 h
G8	37.22 bc	41.75 ce	43.72 b	38.7 c
G9	36.23 bc	43.25 ce	44.21 b	36.25 d
Ofogh	41.85 a	50.9 a	40.44 b	39.15 c
G11	27.87 ef	32.98 fg	49.79 a	36.03 d
G12	23.58 g	31.57 g	31.75 e	45.02 a
G13	41.8 a	49.57 ab	26.39 g	24.7 g
G14	35.08 c	49.85 ab	50.37 a	20.93 h
G15	31.88 d	40.82 ce	44.91 b	29.92 e
G16	21.58 g	30.75 g	39.18 c	36.03 d
Dadfar	29.65 de	40.58 ce	33.07 e	27.03 f

* میانگین‌های دارای حروف غیرمشابه در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌دار دارند

* Means with different letters are significantly different at the 5% level

تجزیه همبستگی و رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج این بررسی نشان داد که بین عملکرد دانه با صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته همبستگی مثبت ولی غیرمعنی‌دار وجود داشت (جدول ۱۰). بیشترین ضریب همبستگی بین عملکرد دانه با تعداد دانه در غلاف بود. بین وزن ۱۰۰ دانه با تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در گیاه همبستگی منفی معنی‌دار و با تعداد دانه در غلاف همبستگی منفی مشاهده شد. بین تعداد دانه در غلاف با تعداد

دانه در بوته و تعداد غلاف در بوته نیز همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت. تنوع و ارتباط بین صفات عملکرد و اجزای آن در لوبیا توسط محققان مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (Sadeghi et al., 2011; Onder et al., 2013; Akhshi et al., 2015; Rai et al., 2011; Sofi et al., 2011). صالحی و همکاران (Salehi et al., 2008) ارتباط مثبت و غیرمعنی‌داری بین تعداد دانه در بوته با تعداد غلاف در بوته، طول غلاف و شاخص برداشت در لوبیای معمولی گزارش کردند. احمد (Ahmed, 2013) بین عملکرد دانه با تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ارتفاع گیاه، طول غلاف، تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته همبستگی مثبتی را گزارش کرد. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2023) همبستگی بین عملکرد دانه با تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و تعداد دانه در بوته را در لوبیا چیتی مثبت و معنی دار گزارش کردند. امینی (Amini, 2002) بیشترین همبستگی عملکرد دانه را با وزن غلاف در بوته، تعداد غلاف، تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک گزارش کرد. در بررسی‌های اوندرت و همکاران (Onder et al., 2013) بین عملکرد دانه با عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت مشاهده شد، درحالی‌که بین صفات روز تا گل‌دهی، ارتفاع اولین غلاف و ارتفاع گیاه و تعداد غلاف در بوته همبستگی منفی وجود داشت.

برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد دانه، باید وضعیت اجزای آن در حد مطلوب باشد، به همین دلیل لازم است که در تجزیه و تحلیل میزان عملکرد، اجزای آن نیز به‌دقت مورد بررسی قرار گیرند (Hosseinpour et al., 2014). هرچند که میان عملکرد و برخی از اجزای آن رابطه مثبتی وجود دارد، ولی وجود همبستگی‌های منفی میان برخی از این اجزاء باعث شده است که انتخاب همه آن‌ها نتواند در افزایش عملکرد مفید واقع شود (Rharrabti et al., 1998). در حقیقت، تجزیه همبستگی ساده به‌تنهایی نمی‌تواند در توجیه روابط صفات با عملکرد دانه کارآیی لازم را داشته باشد، لذا از رگرسیون گام‌به‌گام به‌منظور تعیین بهترین مدل برای توجیه تغییرات عملکرد دانه استفاده شد (جدول ۱۱). در این روش، متغیرهایی که دارای همبستگی بالاتری با متغیر تابع هستند و دارای سهم بیشتری در توجیه تغییرات آن می‌باشند، زودتر وارد مدل می‌شوند (Mohammadi et al., 2000). نتایج نشان داد که صفات تعداد دانه در غلاف، روز تا رسیدگی، تعداد غلاف در بوته و وزن ۱۰۰ دانه به‌عنوان صفت مؤثر وارد مدل رگرسیونی گردیدند و از بین این صفات نیز تنها صفات روز تا رسیدگی با ضریب منفی و تعداد غلاف در بوته با ضریب مثبت در سطح پنج درصد معنی‌دار بودند. البته باید اذعان داشت که میزان ضریب تبیین تعدیل شده در این بررسی پایین بود و در مجموع، این چهار صفت، ۳۲/۷ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند. همان‌طور که واضح است صفت تعداد دانه در غلاف در مقایسه با صفت تعداد غلاف در بوته تأثیر کمتری بر عملکرد دانه داشته است. نتایج همبستگی صفات مختلف با عملکرد دانه و تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام به‌ترتیب نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه صفات تعداد غلاف در بوته، روز تا رسیدگی، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه بر عملکرد دانه بودند؛ بنابراین با توجه به صفات مهم اشاره شده در بالا، می‌توان با آگاهی از کنترل ژنتیکی این صفات، از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی بهره برد.

تجزیه کلاستر

تجزیه کلاستر برحسب میانگین داده با استفاده از روش Between group linkage انجام گرفت. جهت تعیین فاصله بین ژنوتیپ‌ها از مربع فاصله اقلیدسی براساس صفات اندازه‌گیری شده استفاده شد. جهت انتخاب بهترین گروه‌بندی از تجزیه واریانس چند متغیره برمبنای طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. در این تجزیه، گروه‌ها به‌عنوان تیمار و ژنوتیپ‌های داخل گروه‌ها به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شدند. در حالت‌های مختلف برش دندروگرام، گروه‌بندی انجام شد که مقادیر آماره ویلکس لامبدا و F حالت‌های مختلف برش در جدول ۱۲ نشان داده شده است. در هر حالت برشی که در آن بیشترین مقدار F به‌دست آمد، بهترین نوع گروه‌بندی بود. در این حالت، اختلافات بین گروه‌ها خیلی بیشتر از اختلاف درون گروه‌ها بوده و گروه‌بندی صحیح‌تری انجام می‌شود. در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها با استفاده از این روش، ژنوتیپ‌ها در سه گروه مجزا قرار گرفتند، به‌طوری‌که ارقام یاقوت و دادفر به همراه ژنوتیپ‌های G12، G13 و G6 در گروه اول، ژنوتیپ‌های G1، G2، G3 و G4 در گروه دوم و بقیه ژنوتیپ‌ها به همراه رقم افق در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۱). با توجه به قرارگیری ژنوتیپ‌ها در کنار دو رقم معرفی شده خوب با پتانسیل عملکرد بالا (یاقوت و دادفر) می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب برای تمامی مناطق پیشنهاد کرد. بااین‌حال با معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × مکان در اکثر صفات بهتر است که برای هر منطقه ژنوتیپ مطلوب معرفی گردد.

جدول ۱۰- نتایج تجزیه همبستگی بین صفات مورد مطالعه در لوبیا

Table 10- Results of correlation analysis for different traits

	تعداد روز تا رسیدن Days to maturity	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pods	وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight
تعداد روز تا رسیدن Days to maturity	1				
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	0.31	1			
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	0.371	0.935**	1		
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pods	0.197	0.532*	0.722**	1	
وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight	-0.162	-0.72**	-0.755**	-0.418	1
عملکرد دانه Grain yield	-0.285	0.381	0.325	0.409	-0.104

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

** and *: Significant at the probability level of 1% and 5%, respectively

جدول ۱۱- نتایج رگرسیون گام‌به‌گام برای عملکرد دانه، به‌عنوان متغیر وابسته، و دیگر صفات به‌عنوان متغیر مستقل

Table 11- Results of stepwise regression for grain yield, as dependent variable, and other traits as independent variable

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of square	ضریب تبیین تعدیل شده R^2 Adjust
رگرسیون Regression	4	48591.07*	0.327
باقی‌مانده Residual	13	158740.6	
صفات وارد شده به مدل Attributes entered into the model	**ضریب رگرسیون Regression coefficient**	**ضریب رگرسیون استاندارد شده Standardized regression coefficient**	**عامل تورم واریانس Variance inflation factor**
مقدار ثابت Constant	1957.38±2223.97	-	-
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pods	532.73±380.18	0.33	1.4
تعداد روز تا رسیدن Days to maturity	-40.16*±17.32	-0.49	1.12
تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	96.87*±45.77	0.67	2.56
وزن ۱۰۰ دانه 100-grain weight	30.45±19.97	0.44	2.1

** و *: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: Significant at the probability level of 1 and 5%, respectively

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت کشت گیاه لوبیا در نظام‌های زراعی و کشاورزی پایدار و سهم آن در تأمین بخشی از پروتئین مورد نیاز جوامع انسانی، دستیابی به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد مطلوب و دارای صفاتی مانند زودرسی، تیپ بوته مناسب و بازارپسند و دارای تحمل به تنش خشکی حائز اهمیت است. براساس صفت تعداد روز تا رسیدن، رقم افق به همراه ژنوتیپ‌های G9، G16 و تا حدودی G4 و براساس عملکرد و اجزای آن، ژنوتیپ G12 و ارقام یاقوت و دادفر را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب گزارش کرد، ولی بهتر است که با توجه به نتایج این تحقیق

برای هر منطقه، رقم خاصی را معرفی کرد. در برنامه‌های اصلاحی، بررسی لاین‌های امیدبخش، انتخاب ژنوتیپ برتر و معرفی رقم به‌منظور افزایش تولید در واحد سطح صورت می‌گیرد. مفهوم افزایش عملکرد در واقع افزایش کارائی فیزیولوژیک گیاه می‌باشد که با وجود شرایط محدود بیشترین عملکرد را تولید می‌کند. براساس نتایج این بررسی غیر از عملکرد دانه، اجزاء عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، و وزن ۱۰۰ دانه نیز در گزینش ژنوتیپ‌های بهتر نقش داشتند؛ لذا انتخاب غیرمستقیم از طریق انتخاب این صفات می‌تواند در جهت افزایش عملکرد دانه مؤثر باشد. نتایج حاصل از این تحقیق و نیز بررسی‌های محققان مختلف نشان می‌دهد که مؤثرترین اجزاء عملکرد لوبیا جهت دست‌یابی به عملکرد بالا در شرایط آزمایشی متفاوت (مکان‌ها و سال‌های مختلف)، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف است. رابطه بین وزن ۱۰۰ دانه با عملکرد نیز بسته به نوع ژنوتیپ‌ها و مکان‌های مورد بررسی مثبت و یا منفی گزارش شده است. با توجه به اینکه هدف از این گونه بررسی‌ها، شناسایی مهم‌ترین اجزاء عملکرد جهت استفاده در مسیر اصلاح عملکرد دانه و افزایش میزان آن می‌باشد، بنابراین توصیه می‌شود که محققان از طریق سه صفت تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه جهت افزایش میزان عملکرد دانه اقدام نمایند.

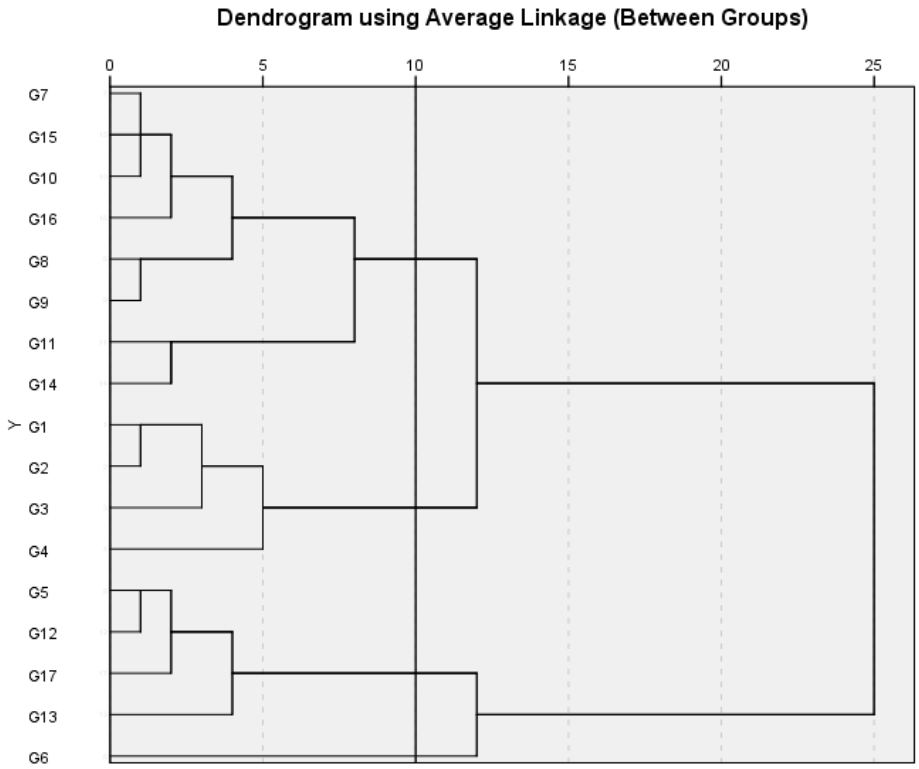
سپاسگزاری

این مقاله، حاصل پروژه پژوهشی انجام یافته در سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی با شماره مصوب ۹۸۰۱۷۳-۰-۶۱-۰۳-۰۲۰ می‌باشد.

جدول ۱۲- مقادیر F و آماره‌های ویلکس لامبدا برای حالت‌های مختلف گروه‌بندی برمبنای صفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌ها

Table 12- F values and Wilkes Lambda statistics for different grouping modes based on traits measured in genotypes

تعداد گروه‌ها Number of Groups	آماره لامبدا Wilks Lambda	Fمقدار F Value
2	0.109	17.897
3	0.010	18.163
4	0.003	12.304



شکل ۱- تجزیه کلاستر ژنوتیپ‌های لوبیا قرمز براساس صفات عملکرد و اجزاء آن

Fig. 1- Cluster analysis of red bean genotypes based on yield traits and its components

References

Abebe, A., Brick, M. A. & Kirkby, R. A. (1998). Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. *Field Crop Research, 58*, 15-23. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00082-3

Adams, M. W. (1982). Plant architecture and yield breeding. *Iowa State Journal of Research, 56*(3), 225-254.

Ahmed, S. (2013). Correlation and path analysis for agro-morphological traits in Rajmash beans under Baramulla-Kashmir region. *African Journal of Agricultural Research, 8*, 2027-2032. https://doi.org/10.5897/AJAR2012.0014

Akhshi, N., Firouzabadi, F. N., Cheghamirza, K., & Dorri, H. (2015). Coefficient analysis and association between morpho-agronomical characters in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cercetari Agronomice in Moldova, 48*, 29-37. https://doi.org/10.1515/cerce-2015-0050

Amini, A., Ghanadha, M. R., & Abd-mishani, C. (2002). Genetic diversity and correlation between different traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Agricultural Science, 33*, 605-615. https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111161

Asadi, B., Vaeazi S. H., & Fathi Haftshjani, A. (2015). Genetic diversity and classification of chitti bean genotypes using multivariate analysis methods. *Seed and Plant Improvement Journal, 4*(1), 641-652 (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.111281

Bakhshi, B., Pouresmaeil, M., & Keshtgar Khajedad, M. (2021). Assessment of agromorphological traits diversity in cowpea landraces originated from arid and warm regions of Iran. *Iranian Journal of Pulses Research, 12*(2), 85-103. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v12i2.87704

Becker, H. C., & Leon, J. (1988). Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding, 101*, 1-25, https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x

Beebe, S. & Mc Clafferty, B. (2006). Biofortified Bean. Centro Agronomico Tropical (CIAT)-Cali, Colombia. 2 p. In: www.harvestplus.org/pdfs/bean.pdf

Bennett, J. P., Adams, M. W., & Burga, C. (1997). Pod yield component variation and inter correlation in (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by planting density. *Crop Science, 17*, 73-75. https://doi.org/10.2135/cropsci1977.0011183X001700010021x

Broughton, W. J., Hernandez, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., & Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.): Model food legumes. *Plant Soil, 252*, 55-128. https://doi.org/10.1023/A:1024146710611

Cokkizgin, A., Colkesen, M., Idikut, L., Ozsisli, B., & Girgel, U. (2013). Determination of relationships between yield components in bean by using path coefficient analysis. *Greener Journal of Agricultural Sciences, 3*, 085-089. https://doi.org/10.1023/A:1024146710611

Dimova, D., & Svetleva, D. (1992). Inheritance and correlation of some quantitative characters in 348rench bean in relation to increasing the effectiveness of selection. *Abstract Plant Breeding, 63*(3), 344. https://doi.org/10.3390/agronomy11040682

Duarte, R. A., & Adams, M. W. (1972). A Path coefficient analysis of some yield component Interrelations in field bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science, 12*, 579-582. https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183X001200050009x

Fageria, N. K., & Santos, A. B. (2008). Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition, 31*, 983-1004. https://doi.org/10.1080/01904160802096815

Farshadfar, E. (2000). Application of Biometrical Genetics in Plant Breeding. Razi University Press, Kermanshah, Iran. 396 pp. (In Persian). (In Persian with English Abstract)

Ghanbari, A. A., Mozafari, H., & Hassanpour Darvishi, H. (2017). Identification of effective traits on the yield in bean genotypes using multivariate statistical methods, *Journal of Crop Breeding, 9*(22), 53-62.

Gomez, O. J., Blair, M. W., Frankow-lindberg, B. E., & Gullberg, U. (2004). Molecular and phenotypic diversity of common bean landraces from Nicaragua. *Crop Science, 44*, 1412-1418. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.1412

Hashemi Jezi, S. M. (2014). Investigation and Comparison of Performance and Determination of Compatibility of White Bean Cultivars in Chaharmahal and Bakhtiari Province. the First National Legume Conference, Mashhad, Iran. (In Persian). http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2013.772351

Hosseinpour, T., Ahmadi, A., Mohammadi, F., & Drikvand, R. (2012). The effect of seed rate on grain yield and its components of wheat cultivars in rain fed conditions. *Agronomy Journal, 104*, 101-110. http://dx.doi.org/10.22092/AJ.2014.103236

Khaghani, S., Bihamta, M. R., & Changizi, M. (2009). Quantitative and qualitative comparison of white and red beans under normal irrigation and drought stress. *Environmental Stress Plant Science, 1*(2), 169-182. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.563.568

Kooshki, M. H., & Marzooghian, A. (2020). The evaluation of elite lines obtained from red common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) local populations. *Iranian Journal of Pulses Research, 10*(2), 77-89. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.66654

Laing, D. R., Kretchmer, P. J., Zuluaga, S., & Jones, P. G. (1983). Field bean. In: Potential productivity of field crops under different environments, Ed. International Rice Research Institute, 227-248. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute.

Liebman, M., Corson, S., Rowe, R. J., & Halteman, W. A. (1995). Dry bean response to nitrogen fertilizer in two tillage and residue management systems. *Agronomy Journal, 87*, 538-546. https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030024x

Mohammadi, A., Bihamta, M. R., & Dorri, H., (2017). Determination of phenotypic correlation coefficients and causality analysis of some traits of broad bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Agriculture, Water, Soil and Plant Research, 8*(2), 135-144. (In Persian with English Abstract)

Mohammadi, H., Ahmadi, A., Moradi, F., Abbasi, A., Poustini, K., Joudi, M., & Fatehi, F. (2011). Evaluation of critical traits for improving wheat yield under drought stress, *Iranian Journal of Field Crop Science, 42*(2), 373-385. (In Persian)

Önder, M., Kahraman, A., & Ceyhan, E. (2013). Correlation and path analysis for yield and yield components in common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ratarstvo i Povrtarstvo, 50*, 14-19. http://dx.doi.org/10.5937/ratpov50-3958

Rahimi, H., Eshghizadeh, H. R., Razmjoo, J., Zahedi, M., Ghadiri, A., & Asadi, M. (2023). Evaluation of yield and some morpho-physiological characteristics of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Pulses Research, 14*(1), 19-33. (In Persian with English abstract). http://dx.doi.org/10.22067/ijpr.v14i1.2206-1026

Rai, N., Singh, P., Verma, A., Yadav, P., & Choubey, T. (2010). Hierarchical analysis for genetic variability in pole type French bean. *Indian Journal of Horticulture, 67*, 150-153.

Rharrabti, S., Elhani, V., Martos, N., & Garcia, L. Del Moral. F. (1998). Relationship between some quality traits and yield of durum wheat under southern Spain conditions. *CIHEAM-Option Mediterranean, 40*, 529-531.

Sabokdast, M., & Khyalparast, F. A. (2008). Study of relationship between grain yield and yield component in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Production and Processing, 11*(42), 123-133.

Sadeghi, A., Cheghamirza, K., & Dorri, H. R. (2011). The study of morphoagronomic traits relationship in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biharean Biologist, 5*, 102-108.

Sainju, U. M., Whitehead, W. F., & Singh, B. P. (2005). Biculture legume–cereal cover crops for enhanced biomass yield, carbon, and nitrogen. *Agronomy Journal, 97*(5), 1403-1412. https://doi.org/10.2134/agronj2004.0274

Salehi, M., & Saeidi, G. H. (2011). Genetic variation of some agronomic traits and yield component in breeding lines of sesame. *Journal of Crop Breeding, 4*(9), 77-92. (In Persian with English Abstract)

Salehi, M., Akbari, R., & KHorshidi Benam, M. A. (2008). Study on response of yield and seed yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to delay in planting in Miyaneh region. *Journal of Crop Production and Processing, 12*(43), 105-115.

Sharifi, P., Astereki, H., & Safari Motlagh, M. R. (2014). Evaluation of genotype, environment and genotype × environment interaction effects on some of important quantitative traits of faba bean (*Vicia faba* L.), *Journal of Crop Breeding, 6*(13), 73-88. (In Persian with English Abstract)

Singh, S. P., Teran, H., Munoz, C. G., & Takegami, J. C. (1999). Two cycles of recurrent selection for seed yield in common bean. *Crop Science, 39*, 391-397. https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X0039000200015x

Sofi, P., Zargar, M., Debouck, D., & Graner, A. (2011). Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm under temperate conditions of Kashmir valley. *Journal of Phytology, 3*, 47-52.

Vlizadeh, M., & Moghadam, M. (2010). Experimental Designs in Agriculture. Fourth Ed. Privar Publishers, Iran.

Westermann, D. T., & Crother, S. S. E. (1977). Plant population effects on the seed yield components of beans. *Crop Science, 17*, 493-496. https://doi.org/10.2135/cropsci1977.0011183X001700040002x

Zimmermann, M. J. O., & Waines, J. G. (1984). Heritability of gain yield of common bean on sloe crop and intercrop with maize. *Crop Science, 25*(4), 641-644. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400040004x

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 265-278
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۷۸-۲۶۵
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

The Effect of Nitrogen Fertilizer Application and Planting Pattern on Yield and Competition Indices of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)

Elham Raftari[1*], Ali Nakhzari Moghaddam[2], Mehdi Mollashahi[2], Ebrahim Gholamalipour Alamdari[3]

Received: 11-02-2024
Revised: 18-04-2024
Accepted: 18-05-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Gholamalipour Alamdari, E. (2024). The effect of nitrogen fertilizer application and planting pattern on yield and competition indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 265-278. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

Introduction
Intercropping, the agricultural practice of cultivating two or more crops in the same space at the same time, is an old and commonly used cropping practice which aims to match efficiently crop demands to the available growth resources. The practice of growing two or more crops simultaneously in the same field is called intercropping and it is a common feature in traditional farming of small landholders. It provides farmers with a variety of returns from land and labour, often increases the efficiency with which scarce resources are used and reduces the failure risk of a single crop that is susceptible to environmental and economic fluctuation. Intercropping of chickpea with linseed reduced the chickpea yield by 60.3%, although linseed occupied only 33% of the total area. The loss of chickpea yield was compensated by the additional yield of linseed, and thus the system productivity of chickpea + linseed intercropping was increased by 43.4% compared with sole chickpea. Of this increase in system productivity, 65.3 and 34.7% were contributed by higher seed yield and higher minimum prices of linseed, respectively as compared to chickpea. The objectives of the present study were to study the competition indices of chickpea and quinoa intercropping such as land equivalent ratio, relative crowding coefficient, aggressivity, chickpea equivalent yield and effects of nitrogen and different intercropping arrangements on yield of sole chickpea, sole quinoa and intercropping yield of two plants. The objectives of the present study was to determine the best appropriate treatment of sole cropped, replacement and additive series of chickpea and quinoa in terms of yield and investigation of competition indices in intercropping replacement and additive chickpea and quinoa.

Materials and Methods
In order to study the effect of planting pattern and nitrogen application on yield and competitive indicators of chickpea and quinoa, a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) was conducted with three replications at Gonbad Kavous University farm during the 2020-2021 growing season. Nitrogen factor was included three levels of non-application and application of 25 and 50 kg N.ha^{-1} and the treatments of intercropping were included 9 levels of sole cropped of chickpea and quinoa, 67% chickpea + 33% quinoa, 50% chickpea + 50% quinoa, 33% chickpea + 67% quinoa, 100% chickpea + 33% quinoa, 100% chickpea + 50% quinoa, 100% chickpea + 67% quinoa and 100% chickpea + 100% quinoa. For analysis variance of data software of SAS Ver. 9.4 was used and treatment mean differences were separated by the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion
Results showed that the effects of planting pattern and nitrogen consumption on yield were significant at confidence level of 1%. The maximum total yield belonged to the treatment sole cropped of chickpea with 3529 kg.ha^{-1}, which was not significantly different from the 67% chickpea + 33% quinoa treatment. With increase of nitrogen fertilizer consumption, total yield was increased. The lowest chickpea crop equivalent yield related to the treatment sole cropped of chickpea and mixed crop was 33% increase of quinoa to chickpea crop with 3529 and 3551 kg.ha^{-1}, respectively, and

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Assistant Professors and Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran, respectively.
* Corresponding Author: raftari.elham@gonbad.ac.ir

the highest was related to sole cropped of quinoa with 8876 $kg.ha^{-1}$. Land equivalent ratio was higher than one in all the additive mixed cropping treatments and alternative mixed cropping treatments. The maximum proportion of land belonging to the treatment of 100% chickpeas + 67% quinoa was 1.10. The relative coefficient of total density in all treatments was more than one, which indicates the desirability of mixed cultivation of chickpea and quinoa. The examination of the aggressivity index showed that quinoa was dominant in the mixed cropping treatments, increasing and replacing the plant. As a result, the dominance index of quinoa was positive despite the favorable yield of both plants.

Conclusions

Of the two plants of chickpea and quinoa, quinoa plant produced more yield than chickpea plant. The maximum total yield belonged to the treatment sole cropped of chickpea with 3529 $kg.ha^{-1}$, which was not significantly different from the 67% chickpea + 33% quinoa treatment. With increasing of nitrogen fertilizer consumption, yield was increased. According to the results, it seems that it is not possible to increase the density of two plants in mixed cultivation to obtain the maximum yield.

Keywords: Aggressivity, Intercropping, Land equivalent ratio, Chickpea equivalent yield

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 265-278
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۷۸-۲۶۵
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86819.1083

تأثیر الگوی کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر عملکرد و شاخص‌های رقابت نخودزراعی (*Cicer arietinum* L.) و کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

الهام رفتاری[1*]، علی نخزری مقدم[2]، مهدی ملاشاهی[2]، ابراهیم غلامعلی‌پورعلمداری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر عملکرد و شاخص‌های رقابت نخودزراعی و کینوا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه گنبدکاووس در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ اجرا گردید. عامل الگوی کاشت در نُه سطح شامل کشت خالص کینوا و نخودزراعی، کشت مخلوط جایگزین ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد کینوا به‌جای نخودزراعی، کشت مخلوط افزایش ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ کینوا به نخودزراعی و عامل نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف، مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. نتایج نشان داد که حداکثر عملکرد دانه به تیمار کشت خالص نخودزراعی با ۳۵۲۹ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت. با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد کل افزایش یافت. کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت خالص نخودزراعی و کشت مخلوط افزایش ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی به‌ترتیب با ۳۵۲۹ و ۳۵۵۱ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا با ۸۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود. نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در تمام تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمارهای کشت مخلوط جایگزین بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن کشت مخلوط بود. کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، شاخص چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد. در مجموع، تیمار کشت خالص نخود زراعی از نظر عملکرد دانه و تیمار کشت خالص کینوا از نظر عملکرد معادل نخودزراعی برتر از تیمارهای دیگر بودند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد معادل نخودزراعی، غالبیت، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین

مقدمه

در سال‌های اخیر با روشن‌تر شدن مشکلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های زراعی، توجه محققان بیش از پیش به حفظ ثبات و باروری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است (Bedoussac & Justes, 2010). کشت مخلوط عبارت از تولید دو یا چند گیاه به‌طور هم زمان در یک قطعه زمین در یک سال می‌باشد؛ این روش کشت، به‌عنوان یک روش افزایش محصول در کشورهای پر جمعیت برای فراهم کردن غذای بیش‌تر رایج شده است (Agegneh et al., 2006). در بوم‌نظام کشت مخلوط، هر دو جمعیت گیاهی برای بهره‌برداری از منابع یکسان یا مشابه رقابت دارند. در این خصوص، مفاهیم ریاضی می‌توانند به محققان در خلاصه‌بندی، تفسیر و تشریح نتایج رقابت‌های گیاهی کمک کنند. این مفاهیم می‌توانند جوانب مختلف رقابت در جوامع گیاهی از قبیل شدت رقابتی، تأثیرات رقابتی و بازده رقابت را تفسیر کنند. همچنین، می‌توانند برای تفسیر اطلاعات پیچیده به محقق کمک کنند و امکان مقایسه نتایج تحقیقات مختلف را فراهم سازند (Lithourgidis et al., 2011). کشت مخلوط باعث حداکثر استفاده از منابع رشدی در بعد زمان و مکان می‌شود (Gao et al., 2009). از مهم‌ترین فواید کشت مخلوط، افزایش تولید در واحد سطح نسبت به تک‌کشتی به‌دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک است. در میان گیاهان زراعی، حبوبات توانایی و قابلیت سازگاری زیادی در الگوهای کاشت مختلف دارند و می‌توانند ظرفیت تولید را افزایش دهند (Banik et al., 2006). کشت مخلوط حبوبات با گیاهان غیرحبوبات علاوه‌بر استفاده صحیح و بهینه و عادلانه از منابع مثل زمین و نیروی کار، باعث افزایش بهره‌وری در واحد سطح و تقویت بهره‌وری کل در واحد سطح و زمان شد (Najafi & Keshtegar, 2014).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
(*- نویسنده مسئول: raftari.elham@gonbad.ac.ir)

همه عناصر غذایی موجود در کودهای مصرف شده مزارع ممکن است در طول دوره رشد گیاه مورد استفاده قرار نگیرند (Fallah, 2011)، به‌طوری‌که امروزه آلودگی منابع آبی توسط نیترات حاصل از زراعت‌های فشرده و به‌کارگیری کودهای نیتروژنه به‌عنوان مشکلی بسیار مهم در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود (Choi et al., 2007). آچاکزی و بنگلزای (Achakzai & Bangulzai., 2006) با بررسی تأثیر مقادیر صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر تولید غلاف در ژنوتیپ‌های مختلف نخودفرنگی گزارش کردند که حداکثر عملکرد غلاف تر با ۱۱۹۰۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد.

برای تشریح رقابت و سودمندی اقتصادی سیستم کشت مخلوط، شاخص‌هایی چون نسبت برابری زمین[1]، ضریب نسبی تراکم[2]، شاخص غالبیت[3]، نسبت رقابتی[4]، کاهش واقعی عملکرد[5]، سودمندی کشت مخلوط[6]، عملکرد معادل[7] و بهره‌وری سیستم[8] (Dhima et al., 2007) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نسبت برابری زمین، نسبت زمین لازم برای تک‌کشتی را در مقایسه با کشت مخلوط توصیف می‌کند. اگر نسبت برابری زمین بیش از یک باشد، کشت مخلوط بر تک‌کشتی مزیت دارد. اگر کم‌تر از یک باشد، کشت خالص ترجیح داده می‌شود و اگر مساوی یک باشد، کشت مخلوط با تک کشتی یکسان می‌باشد (Mazaheri, 1998). در بررسی کشت مخلوط جایگزین ذرت (*Zea mays*) و ماش سبز (*Vigna radiata*) برتری خاصی بر کشت خالص از نظر نسبت برابری زمین نشان نداد، امّا در کشت مخلوط افزایشی نسبت برابری زمین بیش از یک بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2009).

ضریب نسبی تراکم غلبه نسبی یک گیاه را بر گیاه دیگر در کشت مخلوط نشان می‌دهد (Banik et al., 2006). اگر ضریب نسبی تراکم بیش از یک باشد، کشت مخلوط سودمند است، اگر کم‌تر از یک باشد، سودمند نیست و اگر برابر یک باشد، در کشت مخلوط حالت موازنه یا تعادل برقرار است (Dhima et al., 2007).

با استفاده از شاخص غالبیت، رابطه رقابتی بین دو گیاه در کشت مخلوط تعیین می‌شود (Willey, 1979). اگر این ضریب برابر صفر باشد، نشان می‌دهد که بین دو گونه هیچ رقابتی وجود ندارد. علامت‌های مثبت و منفی به‌ترتیب نشان‌دهنده غالب و مغلوب بودن گونه‌ها است (Mazaheri, 1998). در تمام الگوهای کشت مخلوط ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L) شاخص غالبیت ماشک گل‌خوشه‌ای مثبت و شاخص غالبیت گندم منفی بود (Atis et al., 2012). در بررسی غلات (ذرت، سورگوم و ارزن) گیاه غالب و بادام زمینی گیاه مغلوب در سیستم کشت مخلوط بود (Ghosh, 2004).

نسبت رقابتی در مقایسه با ضریب نسبی تراکم و غالبیت، شاخص بهتری برای تعیین توانایی رقابت گیاهان است (Dhima et al., 2007). جو در کشت مخلوط با نخودفرنگی، بالاترین توانایی رقابت برای جذب عناصر غذایی در مقایسه با نخودفرنگی را داشت (Banik et al., 2006). با بررسی شاخص‌های رقابتی و اقتصادی کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) تحت سری‌های جایگزین در سطوح نیتروژن نشان داده شد که عملکرد از دست رفته واقعی، شاخص تولید سیستم و شاخص‌های اقتصادی شامل مزیت پولی و مزیت مخلوط برای همه نسبت‌ها مثبت شد و نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم برای تمام نسبت‌های مخلوط بیش از یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی هر یک از دو گیاه بود. مثبت بودن مقادیر شاخص غالبیت و بزرگ‌تر از یک بودن مقادیر نسبت رقابت برای گیاه کلزا بیانگر برتری رقابتی کلزا نسبت به نخودفرنگی یا استفاده بهتر از نهاده‌ها در کشت مخلوط بود (Fallah et al., 2014).

برای تعیین رقابت درون و برون گونه‌ای گیاهان و رفتار هر گونه در سیستم کشت مخلوط از کاهش (یا سودمندی) عملکرد واقعی نیز استفاده می‌شود. این شاخص، اطلاعات حقیقی بیش‌تری در مورد رقابت نسبت به شاخص‌های دیگر می‌دهد. علامت مثبت، نشان‌دهنده افزایش عملکرد واقعی و علامت منفی، نشان‌دهنده کاهش عملکرد واقعی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌باشد. عملکرد واقعی ذرت و لوبیا در کشت مخلوط ۵۰ درصد لگوم (لوبیا و نخود) و ۱۰۰ درصد ذرت کاهش نشان داد، در حالی‌که در کشت مخلوط ۵۰ درصد نخود و ۵۰ درصد ذرت، عملکرد واقعی ذرت افزایش و عملکرد واقعی نخود کاهش یافت (Yimaz et al., 2008).

در تعیین سودمندی کشت مخلوط، علامت مثبت نشانه سودمندی اقتصادی کشت مخلوط و علامت منفی نشان‌دهنده کاهش سودمندی اقتصادی کشت مخلوط می‌باشد. محققین

1- Land Equivalent Ratio (LER)
2- Relative Crowding Coefficient (RCC)
3- Aggressivity (A)
4- Competitive Ratio (CR)
5- Actual Yield Loss (AYL)
6- Intercropping Advantage (IA)
7- Equivalent Yield (EY)
8- System productivity index (SPI)

گزارش کردند که بالا بودن مقادیر نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم در تیمارهای کشت مخلوط بیانگر سودمندی اقتصادی سیستم کشت مخلوط بوده و سبب افزایش مقادیر شاخص سودمندی می‌شود (Lithourgidis et al., 2011).

برای تعیین عملکرد معادل کشت مخلوط از قیمت گیاهان استفاده می‌شود. عملکرد معادل جو در کشت مخلوط دو ردیف بادام‌زمینی و یک ردیف جو با ۲۰/۶ تن در هکتار نسبت از سایر تیمارهای کشت مخلوط بیش‌تر بود (Awal et al., 2007).

شاخص دیگری که معمولاً در ارزیابی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط کاربرد دارد، شاخص بهره‌وری سیستم است که داده‌های آن با استاندارد کردن محصول زراعت ثانوی بر مبنای محصول زراعت اصلی محاسبه می‌گردد (Agegnehu et al., 2006). در بررسی لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2013)، بیش‌ترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم با ۲/۹۲ مربوط به کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای و ۲۵ درصد جو بود.

با توجه به محدودیت تولید اراضی کشور به‌دلیل حاصلخیزی و بارندگی کم و تأثیر مثبت کشت مخلوط بر تولید گیاهان زراعی که باعث می‌شود از مساحت کمتر محصول و درآمد بیشتری داشت و با توجه به اینکه در رابطه با کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا، تحقیقی در ایران انجام نشده است، این بررسی با هدف تعیین مناسب‌ترین تیمار کشت خالص، مخلوط جایگزین یا افزایشی نخودزراعی و کینوا از نظر عملکرد و ارزیابی شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط جایگزین و افزایشی نخودزراعی و کینوا در منطقه گنبد کاووس انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبدکاووس به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است.

عامل نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف و مصرف ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره و الگوی کاشت در نه سطح شامل کشت خالص نخودزراعی، کشت مخلوط جایگزین ۶۷ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد نخودزراعی و ۵۰ درصد کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۵۰ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا، کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی و ۱۰۰ درصد کینوا و کشت خالص کینوا بودند. یکی از معایب کشت مخلوط، تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان است. کینوا گیاهی است که برای رشدونمو نیاز به نیتروژن دارد، امّا نخود بخش اعظم نیاز خود به نیتروژن را از طریق هم‌زیستی تأمین می‌کند، لذا حداکثر مقدار نیتروژن بیش از نیاز نخود و کمتر از نیاز کینوا انتخاب شد. در این بررسی از رقم آزاد نخودزراعی که از خصوصیات بارز این رقم علاوه‌بر پرمحصولی، تحمل در برابر بیماری برق‌زدگی، تیپ بوته ایستاده و صفت دانه درشتی است و رقم Titicaca کینوا که رقمی زودرس، قهوه‌ای رنگ، مقاوم به شوری و خشکی است، استفاده شد. تعداد ردیف‌های کاشت در کشت خالص چهار خط، کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد چهار خط به‌صورت نخودزراعی-کینوا- نخودزراعی- کینوا، کشت مخلوط جایگزین ۶۷ درصد نخودزراعی و ۳۳ درصد کینوا و ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا پنج خط به‌صورت کینوا- نخودزراعی- نخودزراعی– کینوا- نخودزراعی و کینوا- نخودزراعی- کینوا- کینوا- نخودزراعی و در کشت مخلوط افزایشی هشت خط به‌صورت یک در میان به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم بود. طول هر کرت چهار متر و عمق کاشت بذر نخودزراعی حدود سه سانتی‌متر و کینوا یک سانتی‌متر بود. کشت به‌صورت کپه‌ای و در هر کپه نخود سه بذر و کینوا پنج تا شش بذر کاشته شد که پس از رشد کافی و رفع خطر تغذیه پرندگان فقط یک بوته باقی گذاشته شد. فواصل بین کرت‌ها یک متر و فواصل بین بلوک‌ها یک و نیم متر در نظر گرفته شد. در زمان کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار مصرف گردید. کشت در اواخر آذر ماه ۱۳۹۹ انجام شد. کود نیتروژن خالص (با منشأ اوره ۴۶ درصد) با توجه به میزان تعیین شده در تیمارها به‌صورت پایه و سرک (هر یک ۵۰ درصد) مصرف شد. کود سرک در زمان پر شدن دانه نخودزراعی همزمان با کاهش تثبیت نیتروژن مصرف شد. در کشت خالص، فاصله بوته روی ردیف برای نخودزراعی و کینوا ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول دوره رشد، با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی (وجین دستی) مبارزه شد. برای کنترل آفات از سم دیازینون به‌مقدار یک لیتر در هکتار همراه با استامی‌پراید به‌مقدار ۰/۳۷۵ کیلوگرم در هکتار در دو نوبت (شروع غلاف‌دهی و شروع پر شدن دانه نخود) و برای کنترل بیماری‌ها از سم داکونیل به‌مقدار دو کیلوگرم در هکتار در یک نوبت (گل‌دهی) در ۲۰۰ لیتر آب استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه در عمق صفر تا سی سانتی‌متر

Table 1- Soil characteristics of Gonbad Kavous University farm in the range of test

عمق نمونه‌برداری Depth of sample (cm)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH -	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن N (%)
0-30	0.78	0.77	7.94	409	11	0.08

برای تعیین عملکرد، ردیف‌های حاشیه و نیم متر از دو طرف ردیف‌های وسط حذف و بقیه برداشت گردید. سطح برداشت در تیمارهای کشت خالص، افزایشی و جایگزین ۵۰:۵۰ برابر ۲/۴ مترمربع و در تیمارهای کشت مخلوط ۲:۱ و ۱:۲ برابر ۳/۶ مترمربع بود. در تیمارهای کشت مخلوط، نسبت برابری زمین نخودزراعی و کینوا به‌طور مجزا محاسبه و سپس با هم جمع گردید (Agegnehu et al., 2006). برای محاسبه عملکرد معادل، نخودزراعی به‌عنوان گیاه اصلی و کینوا به‌عنوان گیاه همراه در نظر گرفته شد، لذا عملکرد معادل نخودزراعی تیمارها محاسبه شد. همچنین، برای بررسی رقابت و سودمندی اقتصادی کشت مخلوط از معادله‌های جدول ۲ استفاده شد:

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری Ver. 9.4 SAS انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه میانگین تأثیر نیتروژن و الگوی کاشت بر عملکرد دانه و عملکرد معادل نخودزراعی

عملکرد دانه

اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل الگوی کاشت × نیتروژن مصرفی بر این صفت تأثیرگذار نبود (جدول ۳). مقایسه عملکرد دانه در تیمارهای الگوی کاشت نشان داد که حداکثر عملکرد دانه کل به تیمار کشت خالص نخودزراعی با ۳۵۲۹ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این امر به‌دلیل عملکرد بالای نخودزراعی نسبت به کینوا اتفاق افتاد. در تیمارهای کشت مخلوط هم عملکرد دو گیاه نسبت به کشت خالص افزایش زیادی نداشت که بتواند بیش از کشت خالص نخودزراعی محصول تولید کند. گیاه نخودزراعی به‌دلیل داشتن همکاری با باکتری *ریزوبیوم* و خاصیت تثبیت نیتروژن توسط این باکتری می‌تواند تا حدودی نیتروژن مورد نیاز خود را تأمین کند. هنگامی که گیاه نخود به‌طور خالص کشت می‌شود، نیتروژن تثبیتی توسط باکتری تقریباً به‌طور کامل در اختیار خود گیاه قرار می‌گیرد که این امر در مقایسه با کشت مخلوط برتری خوبی برای افزایش تولید در کشت خالص می‌باشد. کشت مخلوط جو و باقلا باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی شد (Agegnehu et al., 2006). با بررسی کشت مخلوط لوبیا به ذرت، افزایش عملکرد کل با افزایش درصد لوبیا به ذرت در کشت مخلوط افزایشی گزارش شد (Morgado & Willey, 2006). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه نخودزراعی از تیمارهای مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار و عدم کاربرد کود نیتروژن به‌ترتیب با ۳۰۹۵ و ۲۲۳۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). با وجود اینکه نخودزراعی یک گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن اتمسفر است، نیتروژن تأثیر زیادی بر عملکرد داشت. با ورود گیاه نخود به فاز زایشی گیاه، مواد غذایی تولیدی توسط اندام‌های هوایی را که قبلاً بخشی از آن را در اختیار گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن قرار می‌داد را به‌طور کامل برای تولید اندام اقتصادی خود صرف می‌کند. این امر باعث می‌شود که ارتباط بین گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و گیاه قطع شده و گیاه به نیتروژن احتیاج پیدا کند. ازاین‌رو، دادن کود نیتروژن به نخود در این مرحله باعث افزایش عملکرد گیاه می‌گردد. در خصوص کشت مخلوط وقتی گیاهی غیر از گیاه لگوم در کنار گیاه لگوم کشت می‌شود از نیتروژن تثبیتی توسط گیاه لگوم استفاده می‌نماید. با توجه به این رخداد، دادن کود نیتروژن در کشت مخلوط برای حصول عملکرد مطلوب امری اجتناب‌ناپذیر است. این امر بیانگر عدم تأمین کافی نیتروژن از طریق تثبیت بیولوژیک است. تأثیر مثبت افزایش مصرف نیتروژن بر وزن خشک علوفه ذرت با بررسی مقادیر صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به عدم مصرف کود گزارش شده است (Baser Kouchebagh et al., 2012). مورگانو و ویلی (Morgado & Willey, 2006) با بررسی کشت مخلوط لوبیا و ذرت بیان داشتند که با افزایش مصرف کود نیتروژن در کشت مخلوط، عملکرد دو گیاه به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمار عدم مصرف نیتروژن بهبود یافت.

جدول ۲- شاخص‌های رقابت و معادلات آن‌ها در کشت مخلوط

Table 2- Competition indices and their equations in intercropping

معادله Equation	شاخص Index
LER= (Yab / Yaa) + (Yba / Ybb)	نسبت برابری زمین Land Equivalent Ratio
K = Ka × Kb $Ka = \frac{(Yab \times Zba)}{(Yaa - Yab)(Zab)}$	ضریب نسبی تراکم Relative Crowding Coefficient برای گیاه a
Aa= (Yab / Yaa × Zab) – (Yba / Ybb × Zba)	غالبیت Aggressivity غالبیت برای گیاه a Aa
CRa = (LERa / LERb) × (Zba / Zab) CRb = (LERb / LERa) (Zab / Zba)	نسبت رقابتی Competitive Ratio نسبت رقابتی a CRa نسبت رقابتی b CRb
AYL = AYLa + AYLb AYLa = ((Yab / Zab) / (Yaa / Zaa)) – 1	کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی Actual Yield Loss برای گیاه a AYLa
IA= IAa + IAb IAa = AYLa × Pa	سودمندی کشت مخلوط Intercropping Advantage برای گیاه a IAa
EYb = Yb + Yaa × (Pa / Pb)	عملکرد معادل Equivalent Yield عملکرد معادل گیاه b EYb
SPI = (Sa / Sb) × Yb + Ya	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index

Zab: نسبت گیاه a در کشت مخلوط، Zba: نسبت گیاه b در کشت مخلوط، Zaa: نسبت گیاه a در کشت خالص، Zbb: نسبت گیاه b در کشت خالص، Pa: قیمت محصول گیاه a، Sa: عملکرد متوسط گیاه a در کشت خالص، Ya: عملکرد متوسط گیاه a در کشت مخلوط، Yab: عملکرد گیاه a در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گیاه a در کشت خالص، Yba: عملکرد گیاه b در کشت مخلوط، Ybb: عملکرد گیاه b در کشت خالص، Pb: قیمت محصول گیاه b، Sb: عملکرد متوسط گیاه b در کشت خالص، Yb: عملکرد متوسط گیاه b در کشت مخلوط

Zab: The ratio of plant a in mixed crop, Zba: The ratio of plant b in mixed crop, Za: The ratio of plant a in sole crop, Zbb: The ratio of plant b in sole crop, P: Plant product price a, Sa: Average yield of plant a in sole crop, Ya: Average yield of plant a in mixed crop, Yab: The yield of plant a in mixed crop, Yaa: The yield of plant a in sole crop, Yba: The yield of plant a in mixed crop, Ybb: The yield of plant b in sole crop, Pb: Plant product price b, Sb: Average yield of plant b in sole crop and Yb: Average yield of plant b in mixed crop

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و عملکرد معادل نخودزراعی تحت تأثیر الگوی کاشت و نیتروژن

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of grain yield and pea equivalent yield under planting pattern and nitrogen

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد معادل نخودزراعی Chickpea equivalent yield
تکرار Replication	2	135994	1077308
الگوی کاشت Planting pattern (P)	8	3526393**	32607117**
نیتروژن Nitrogen (N)	2	5063809**	24287811**
نیتروژن × الگوی کاشت P × N	16	47640ns	193393ns
خطا Error	52	123893	550445
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	13.03	11.86

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

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

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و عملکرد معادل نخودزراعی تحت تأثیر الگوی کاشت

Table 4- Mean comparison for yield and chickpea equivalent yield under planting pattern

صفات Traits / الگوی کاشت Planting pattern	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg.ha^{-1})	عملکرد معادل نخودزراعی (کیلوگرم در هکتار) Chickpea equivalent yield (kg.ha^{-1})
کشت خالص نخودزراعی Sole cropped of chickpea	3529a*	3529f
۶۷٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	3316ab	6346d
۵۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	3071bc	7342c
۳۳٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	2857c	8126b
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 100% chickpea + 33%quinoa	1532f	3551f
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 100% chickpea + 50% quinoa	2113e	5088e
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	2473d	6063d
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۱۰۰٪ کینوا 100% chickpea +100% quinoa	2979c	7386c
کشت خالص کینوا Sole cropped of quinoa	2441de	8876a
LSD (%5)	333	701.8

* حروف غیر مشابه در ستون‌های عملکرد و عملکرد معادل، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

* Different alphabet in yield and equivalent yield columns indicate significant difference at $p \leq 0.05$ based on LSD.

عملکرد معادل نخودزراعی

کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی با ۳۵۵۱ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا با ۸۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). عملکرد معادل نخودزراعی در تیمارهای کشت مخلوط به‌خصوص کشت‌های مخلوط افزایشی نسبت به کشت خالص نخودزراعی افزایش نشان داد. عامل اصلی بالا بودن عملکرد معادل نخودزراعی در کشت مخلوط بالا بودن عملکرد نخود زراعی بود. قیمت کینوا ۳۶۴ درصد (۳/۶۴ برابر) بیش از نخود زراعی بود. بالا بودن عملکرد معادل یک گیاه (جو) نسبت به گیاه دیگر (نخودفرنگی) را می‌توان به سازگاری گیاه جو و تولید عملکرد بالا در این گیاه نسبت به گیاه نخودفرنگی نسبت داد (Nakhzari Moghaddam et al., 2016).

بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی به‌ترتیب با ۷۰۸۲ و ۵۲۲۰ کیلوگرم در هکتار با مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص و عدم مصرف نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۵). مصرف نیتروژن تأثیر مثبتی بر عملکرد معادل داشت.

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین در تمام تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمارهای کشت مخلوط جایگزین بالاتر از یک بود. حداکثر نسبت برابری زمین متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۱/۱۰ بود (جدول ۶). حداکثر نسبت برابری زمین نخودزراعی متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۰/۶۹و حداقل نسبت برابری زمین نخودزراعی مربوط به تیمار ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۰/۲۵بود و همچنین حداکثر نسبت برابری زمین کینوا متعلق به تیمار۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۰/۸۲ و حداقل نسبت برابری زمین کینوا به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۰/۳۱ تعلق داشت. بالا بودن نسبت برابری زمین در کشت مخلوط به این دلیل می‌باشد که از یک قطعه زمین تعیین شده دو عملکرد به‌دست می‌آید که ممکن است از نظر عملکرد و اقتصادی یا دیگر دلایل، برتری مطلوبی نسبت به کشت خالص داشته باشد. در بررسی حاضر برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در حد ۱۰ درصد بود که با نتایج بررسی حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2003) که بالاترین مقدار LER با ۱/۳۷ از تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ارزن و ۵۰ درصد لوبیا چشم بلبلی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم اوره گزارش شد، مطابقت دارد. در بررسی کشت مخلوط کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) با کنجد و ماش (*Vigna radiata* L. R. Wilczek.)، مقدار LER در تمام تیمارها بالاتر از یک بود (Rastgoo et al., 2015).

ضریب نسبی تراکم

ضریب نسبی تراکم نخودزراعی در تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا حداکثر و برابر با ۰/۸۴ و حداکثر ضریب نسبی تراکم کینوا متعلق به تیمار ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا با ۲/۲۸ بود. ضریب نسبی تراکم کل در تمام تیمارها بیش از یک بود. ضریب نسبی تراکم از نظر عددی کوچک بود که به نظر می‌رسد در کشت مخلوط این دو گیاه نمی‌توان تراکم را خیلی زیاد در نظر گرفت، هرچند می‌شود که تراکم کینوا را کمی بیشتر در نظر گرفت. هدف از کشت مخلوط، به‌دست آوردن عملکرد بیش‌تر و دست‌یابی به سود بالاتر است. یکی از ارکان اصلی رسیدن به این هدف مهم، تعیین مطلوب‌ترین تراکم برای کشت دو گیاه می‌باشد. هرچه تراکم بالاتر باشد، به‌دلیل ایجاد رقابت برای دریافت نور و سایر مواد غذایی، عملکرد کل کاهش پیدا می‌کند. در حالت عکس هم هرچه تراکم کم‌تر در نظر گرفته شود، به‌دلیل کاهش بوته در مترمربع، عملکرد نهایی کاهش پیدا می‌کند. مطلوب‌ترین تراکم، تراکمی است که کم‌ترین رقابت درون گونه‌ای و برون گونه را ایجاد کند و دو گیاه از مجاورت هم سود ببرند. لامعی‌هراونی (Lamei Heravani, 2012) در تحقیقی که برای ارزیابی فنی و اقتصادی کشت مخلوط خلر با جو و تریتیکاله انجام داد، گزارش کرد که مقادیر ضریب نسبی تراکم جو و تریتیکاله در تمامی تیمارهای کشت مخلوط بیش از ضریب نسبی تراکم گیاه علوفه‌ای خلر بود.

شاخص غالبیت

نتایج حاصل از محاسبه شاخص چیرگی (غالبیت) نشان داد که کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمار کشت مخلوط جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، علامت چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی با تراکم کم کینوا، این گیاه از منابع رشدی از جمله فضا به‌خوبی استفاده کرد و نسبت به فضای اشغال شده عملکرد بیشتری تولید کرد که نتیجه آن غالبیت کینوا بر نخودزراعی بود. هنگامی که یک گیاه غیر لگوم در مجاورت گیاه لگوم در کشت مخلوط قرار می‌گیرد؛ علاوه‌بر کودی که به‌صورت سرک داده می‌شود، می‌تواند از نیتروژن تثبیت شده توسط گیاه لگوم نیز حداکثر استفاده را ببرد و شاخص غالبیت بالاتری داشته باشد. در کشت مخلوط جو و نخود فرنگی، جو (به‌دلیل ارتفاع بسیار زیاد نسبت

به نخود فرنگی) گیاه غالب و نخود فرنگی گیاه مغلوب بود (Banik et al., 2006). نخزری‌مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2016) با بررسی کشت مخلوط جو و نخود فرنگی مشاهده کردند که گیاه جو گیاه غالب و نخود فرنگی گیاه مغلوب بود. نتایج بررسی رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2018) نشان داد که نخودفرنگی در تیمارهای افزایشی و تیمار جایگزین ۶۷ درصد نخود فرنگی و ۳۳ درصد کاهو گیاه غالب بود در نتیجه، علامت غالبیت نخودفرنگی مثبت شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر عملکرد کل و عملکرد معادل نخودزراعی

Table 5- The mean comparisons for effect of nitrogen on total yield and equivalent chickpea yield

صفات Traits / نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha^{-1})	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار) Total yield (kg.ha^{-1})	عملکرد معادل نخودزراعی (کیلوگرم در هکتار) Equivalent chickpea yield (kg.ha^{-1})
0	2238^{c}*	5220^{c}
25	2771^{b}	6467^{b}
50	3095^{a}	7082^{a}
LSD (%5)	192.2	405.2

* حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD می‌باشد.

* Different alphabet in each column indicate significant difference at p≤0.05 based on LSD.

جدول ۶- مقایسه نسبت برابری زمین، ضریب نسبی تراکم و شاخص غالبیت نخودزراعی و کینوا در آرایش‌های مختلف کاشت

Table 6- Comparison of land equivalent ratio, relative crowding coefficient and aggressivity of chickpea and quinoa under different intercropping arrangements

شاخص Index	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio			ضریب نسبی تراکم Relative crowding coefficient			غالبیت Aggressivity	
تیمار Treatment	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa
۶۷٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	0.63	0.47	1.09	0.84	1.77	1.48	-0.47	0.47
۵۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	0.42	0.66	1.09	0.73	1.97	1.45	-0.48	0.48
۳۳٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	0.25	0.82	1.07	0.68	2.28	1.55	-0.47	0.47
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 100% chickpea + 33% quinoa	0.69	0.31	1.01	0.74	1.35	1.00	-0.32	0.32
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 100% chickpea+ 50% quinoa	0.60	0.46	1.06	0.75	1.74	1.31	-0.50	0.50
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	0.54	0.56	1.10	0.78	1.91	1.50	-0.50	0.50
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۱۰۰٪ کینوا 100% chickpea + 100% quinoa	0.41	0.68	1.09	0.69	2.17	1.49	-0.56	0.56

نسبت رقابتی

بالاترین نسبت رقابتی مربوط به کینوا از تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۱۰۰ درصد کینوا با ۱/۶۸ به‌دست آمد (جدول ۷). بررسی نسبت رقابتی نخودزراعی و کینوا نشان داد که در تمام تیمارها، کینوا قدرت رقابتی بیش‌تری نسبت به نخودزراعی داشت. گیاهان برای به‌دست آوردن مواد غذایی به‌طور مداوم در حال رقابت با سایر گیاهان هستند. این امر به‌طور طبیعی باعث می‌شود که گیاه برای دست‌یابی به مواد غذایی به‌طور مداوم به توسعه ریشه و دیگر اندام‌های جاذب مواد غذایی بپردازد. گیاه نخود به‌دلیل فراهم بودن مواد غذایی در کنار ریشه به‌واسطه حضور باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن نیاز

چندانی به توسعه ریشه و رقابت با دیگر گیاهان ندارد، امّا در طرف مقابل، گیاه کینوا به‌دلیل نداشتن چنین ویژگی منحصربه‌فردی باید برای ادامه حیات خود، اندام‌های جاذب مواد غذایی را توسعه دهد. این امر باعث می‌شود که کینوا بتواند به‌طور مؤثرتری با سایر گیاهان رقابت کند و نسبت رقابتی بالاتری نسبت به نخود داشته باشد. تفاوت در نسبت رقابتی گیاهان توسط بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) نیز گزارش شده است. بررسی نسبت رقابتی جو و نخودفرنگی بیانگر توانایی رقابتی بیش‌تر جو نسبت به نخودفرنگی بود. این نسبت در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد جو و ۲۵ درصد نخود فرنگی و ۵۰ درصد جو و ۵۰ درصد نخود فرنگی بیش از ۲۵ درصد جو و ۷۵ درصد نخود فرنگی بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2016). بررسی نسبت رقابتی نخودفرنگی و کاهو نشان داد که در تیمارهای افزایشی و تیمار جایگزین ۶۷ درصد نخودفرنگی و ۳۳ درصد کاهو، کاهو نسبت رقابتی بیش‌تری نسبت به نخودفرنگی داشت. همچنین، بالاترین نسبت رقابتی مربوط به کاهو از تیمار ۱۰۰ درصد نخودفرنگی + ۱۰۰ درصد کاهو با ۱/۵۱ به‌دست آمد (Raftari et al., 2018).

کاهش یا سودمندی عملکرد واقعی

بررسی شاخص کاهش (سودمندی) عملکرد واقعی نشان داد که کاهش عملکرد واقعی فقط در تیمار جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی و ۶۷ درصد کینوا منفی بود و در بقیه تیمارها مثبت بود (جدول ۷). با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش تراکم دو گیاه در کشت مخلوط برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد، مطلوب به نظر نمی‌رسد، به این دلیل که با افزایش تراکم دو گیاه فقط رقابت بین آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، افزایش تراکم در واحد سطح منجر به کاهش عملکرد در هر بوته شد. در کشت خالص، عملکرد نهایی صرفاً مربوط به همان گیاه است که تا حصول عملکرد ممکن است تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله آفات و بیماری‌ها، خشکسالی، سرمازدگی و دیگر عوامل قرار گیرد. این عوامل اگر کنترل نشوند باعث کاهش عملکرد نهایی خواهند شد. از آنجا که نیاز غذایی و عوامل خسارت‌زا در گیاهان مختلف با یکدیگر تفاوت دارد، پس کشت دو گیاه از دو خانوده متفاوت می‌تواند سودمند باشد. به این صورت که اگر یکی از گیاهان به دلایل ذکر شده دچار خسارت شود، گیاه همراه می‌تواند با عملکرد مطلوب خود، کاهش عملکرد دیگری را جبران کند. لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2012) با بررسی کشت مخلوط خلر با جو و تریتیکاله اعلام کردند که در کلیه تیمارهای کشت مخلوط، مقادیر کاهش عملکرد واقعی گیاهان جو و تریتیکاله مثبت بود که نشان‌دهنده آن است که محصول واقعی این گیاهان در کشت مخلوط بیش از محصول پیش‌بینی شده بود، بیش‌ترین کاهش عملکرد واقعی مربوط به گیاه خلر بود که از تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد جو و ۷۵ درصد خلر به مقدار ۰/۱۷۱- به‌دست آمد.

سودمندی کشت مخلوط

با بررسی این شاخص مشاهده گردید که کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا باعث افزایش سودمندی اقتصادی کشت مخلوط گردید. بیش‌ترین سودمندی اقتصادی کشت مخلوط مربوط به گیاه کینوا با ۱۶۴۸۷ و کم‌ترین آن مربوط به گیاه نخودزراعی با ۲۶۵۱- بود که از تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا حاصل شد (جدول ۷). هنگامی که دو گیاه در مجاورت یکدیگر کشت می‌شوند از منابع غذایی به‌طور مطلوبی استفاده می‌کنند. دو گیاه نخودزراعی و کینوا به‌دلیل داشتن الگوی رشدی مختلف می‌توانند از مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک استفاده کنند. نخود ریشه‌های سطحی زیادی دارد و کینوا دارای ریشه عمقی است که این امر در سودمندی کشت مخلوط تأثیر به‌سزایی دارد. در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی عملکرد و شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای انجام شد، گزارش گردید که کشت مخلوط سودمندی اقتصادی داشت. بیش‌ترین میزان سودمندی کشت مخلوط متعلق به تیمار افزایشی ۱۵:۱۰۰ با ۴/۴۱ بود (Ahmadi et al., 2010).

شاخص بهره‌وری سیستم

در تمام تیمارهای کشت مخلوط، شاخص بهره‌وری سیستم بالا بود. این شاخص در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا حداکثر و برابر ۳۸۸/۴ بود (جدول ۷). کم‌ترین مقدار این شاخص به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا با ۳۵۳/۱ تعلق داشت. این امر بیانگر سودمندی بالای کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا در این نسبت کشت است. شاخص بهره‌وری سیستم به‌میزان تولید محصول در مقابل هزینه‌های مربوط به تولید اطلاق می‌گردد. هرچه هزینه‌های تولید پایین‌تر و عملکرد محصول بالاتر باشد، شاخص بهره‌وری سیستم بالاتر خواهد بود. در کشت مخلوط نخود و کینوا هرچه تعداد بوته کشت شده از گیاه دوم بیش‌تر باشد، در نتیجه عملکرد نهایی هم بالاتر خواهد بود. در بررسی لامعی هراتی (Lamei Heravani, 2013) کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای و ۲۵ درصد جو، بیش‌ترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم با ۲/۹۲ را داشت.

جدول ۷- مقایسه نسبت رقابتی، کاهش عملکرد واقعی و سودمندی کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا در آرایش‌های مختلف کشت

Table 7- Comparison of competitive ratio, actual yield loss, intercropping advantage and system productivity index chickpea and quinoa under different intercropping arrangements

شاخص Index	نسبت رقابتی Competitive ratio		کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss			سودمندی کشت مخلوط Intercropping advantage			شاخص بهره‌وری سیستم system productivity index
تیمار Treatment	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	نخودزراعی Chickpea	کینوا Quinoa	کل Total	کل Total
۶۷٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 67% chickpea + 33% quinoa	0.67	1.50	-0.06	0.41	0.35	-663	16487	15825	386.5
۵۰٪ نخودزراعی + ۵۰٪ کینوا 50% chickpea + 50% quinoa	0.64	1.57	-0.15	0.33	0.17	-1684	13088	11404	383.5
۳۳٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 33% chickpea + 67% quinoa	0.62	1.62	-0.24	0.23	-0.01	-2651	9114	6464	378.6
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۳۳٪ کینوا 100% chickpea + 33% quinoa	0.74	1.35	-0.08	0.24	0.16	-876	9707	8831	353.1
۱۰۰٪ نخودزراعی +۵۰٪ کینوا 100% chickpea + 50% quinoa	0.64	1.56	-0.10	0.40	0.30	-1099	16026	14926	375.8
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۶۷٪ کینوا 100% chickpea + 67% quinoa	0.64	1.56	-0.10	0.40	0.30	-1091	16070	14979	388.4
۱۰۰٪ نخودزراعی + ۱۰۰٪ کینوا 100% chickpea + 100% quinoa	0.59	1.68	-0.19	0.37	0.18	-2036	14792	12755	385.3

نتیجه‌گیری

از بین دو گیاه نخودزراعی و کینوا، بیش‌ترین عملکرد را گیاه نخود به خود اختصاص داد. تولید حداکثر توسط نخود را می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی و توانایی گیاه در جذب مواد و عوامل ضروری رشدی نسبت داد. حداکثر عملکرد کل به تیمار کشت خالص نخودزراعی تعلق داشت که با تیمار ۶۷ درصد نخودزراعی + ۳۳ درصد کینوا اختلاف معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد کل به‌ترتیب از تیمارهای ۵۰ کیلوگرم در هکتار و عدم کاربرد کود نیتروژن به‌دست آمد. با افزایش مصرف کود نیتروژن، عملکرد در هر دو گیاه افزایش یافت. کم‌ترین عملکرد معادل نخودزراعی مربوط به تیمار کشت خالص نخودزراعی و کشت مخلوط افزایش ۳۳ درصد کینوا به نخودزراعی و بیش‌ترین آن مربوط به کشت خالص کینوا بود. حداکثر نسبت برابری زمین متعلق به تیمار ۱۰۰ درصد نخودزراعی + ۶۷ درصد کینوا بود، بنابراین از نظر نسبت برابری زمین، کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا مناسب بود. ضریب نسبی تراکم کل در تمام تیمارها بیش از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن کشت مخلوط نخودزراعی و کینوا است. بررسی شاخص غالبیت نشان داد که کینوا در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی و تیمار کشت مخلوط جایگزین گیاه غالب بود در نتیجه، علامت چیرگی کینوا با وجود مطلوب بودن عملکرد هر دو گیاه مثبت شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، دو گیاه رشد خوبی بدون مزاحمت برای گیاه دیگر داشتند که باعث شد، هر دو گیاه تولید خوبی داشته باشند. برای رسیدن به نتایجی با ثبات بیش‌تر، لازم است آزمایش‌هایی با تراکم و کود نیتروژن متفاوت مورد ارزیابی قرار گیرند.

References

Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Atis, I., Kotgen, K., Hatipoglu, R., Yilmaz, S., Atak, M., & Can, E. (2012). Plant density and mixture ratio effects the competition between vetch and wheat. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 498-505.

Awal, M. A., Pramanik, M. H. R., & Hossen, M. A. (2007). Interspecies competition growth and yield in barley peanut intercropping. *Asian Journal of Plant Science*, 6(4), 577-584. https://doi.org/10.3923/ajps.2007.577.584

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., & Ghosh, S. S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weeds mothering. *European Journal of Agronomy*, 24, 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Baser Kouchebagh, S., Mirshekari, B., & farahvash, F. (2012). Improvement of corn yield by seed biofertilization and urea application. *World Applied Sciences Journal*, 16(9), 1239-1242.

Bedoussac, L., & Justes, E. (2010). Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and Soil*, 330, 37-54. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0303-8

Choi, W. J., Han, G. H., Lee, S. M., Lee, G. T., Yoon, K. S., Choi, S. M., & Ro, H. M. (2007). Impact of land-use types on nitrate concentration and N^{15} in unconfined groundwater in rural areas of Korea. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 120(2-4), 259–268. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.002

Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., & Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2-3),: 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Fallah, S. A. (2011). Recovery of nitrogen residue by the canola (*Brassica napus*) in rotation forage maize – canola. *Journal of Agroecology*, 1(2), 83–75. (In Persian with English Abstract)

Fallah, S. A., Baharlouie, S., & Abbasi Suraki, A. (2014). Evaluation of competitive and economic indices in canola and pea intercropping at different rates of nitrogen fertilizer. *Journal of Agroecology*, 6(3), 571-581. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V6I3.23941

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, H., & Liu, Zh. (2009). Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, 111(1-2), 65-73.

Ghosh, P. K. (2004). Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. *Field Crops Research*, 88, 227-237.

Hosseini, S. M. B., Mazaheri, D., Jahansouz, M. R., & Yazdi Samadi, B. (2003). The effects of nitrogen levels on yield and yield components of forage millet (*Pennisetum americanum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in intercropping system. *Journal of Pajouhesh Va Sazandegi*, 16(2), 60-67. (In Persian with English Abstract)

Lamei Heravani, J. (2012). Technical and economical evaluation of mixed cropping *Lathyrus* with barley and triticale under dryland conditions in Zanjan province. *Journal of Crop Production and Processing* 2(4): 93-103.

Lamei Heravani, J. (2013). Assessment of dry forage and crude protein yields, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed conditions of Zanjan. *Seed and Plant Production Journal* 29(2):169-184. (In Persian with English Abstract)

Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordasc, C. A., & Damalas, C. A. (2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34(4): 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007

Morgado, L., & Willey, R. W. (2003). Effects of plant population and nitrogen fertillizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 38(11): 1257-1264.

Najafi, S., & Keshtehgar, A. (2014). Effect of intercropping on increase yield. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 8(5): 549-552.

Nakhzari Moghaddam, A., Dehghanpour Inchehbron, O., & Rahemi Karizaki, A. (2016). The effects of nitrogen levels and intercropping pattern on forage yield and competition indices of barley and pea. *Electronic Journal of Crop Production* 9(1): 199-214. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2016.2964

Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., & Hosseini Moghaddam, H. (2018). The effect of nitrogen fertilizer and planting pattern on yield and competition indices of pea (*Pisum sativum* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Agroecology*. 10(2): 504-515. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V10I2.61305

Rastgoo, S., Aynehband, A., & Fateh, E. (2015). Competitiveness of sesame and mung bean crops in both monocropping and intercropping systems. *Journal of Agroecology* 7(3): 356-367. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/110.22067/JAG.V7I3.31213

Willey, R. M. (1979). Intercropping, its importance and research needs, competition and yield advantages. *Journal of Crop Science* 32: 1-10.

Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize legume intercropping over solitary cropping through competition incides in the east Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 32: 111-119.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 279-300
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۰۰-۲۷۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86972.1084

Effect of Growth Period Duration on Faba Bean (*Vicia faba* L.) Varieties with Conventional and Multivariate Methods and Sensory Evaluation of Green Seed Quality

Arman Kazemi[1], Peyman Sharifi[2*], Nosaibeh Nezamdust[3]

Received: 23-02-2024
Revised: 24-04-2024
Accepted: 06-05-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Kazemi, A., Sharifi, P., & Nezamdust, N. (2024). Effect of growth period duration on faba bean varieties with conventional and multivariate methods and sensory evaluation of green seed quality. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 279-300. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86972.1084

Introduction
Faba bean (Vicia faba L.) is one of the oldest cultivated legumes, widely grown in temperate regions and at high altitudes in tropical areas. This crop thrives in wet and cool conditions, while hot and dry weather can severely damage its yield. Therefore, the sowing date must be carefully selected to avoid excessive heat, particularly during the flowering period. In field data analysis, the 'environment' refers to any recommended management practice for producers, such as sowing date, planting density, or fertilizer application. GGE biplot (Genotype plus Genotype-by-Environment biplot) and PLSR (Partial Least Squares Regression) can be used to analyze these datasets. The purpose of this study is to evaluate the interaction between variety and sowing date by multiplicative models such as SREG and GGE biplot and to evaluate the quality of varieties using a sensory panel.

Materials and Methods
The present experiment was carried out in a split plot based on randomized complete block design with three replications in Soamesera, Gilan province. The main factor in this experiment was sowing date (11 November, 11 December, 10 January and 9 February) and the split factor was faba bean varieties (Guilan landrace, Barakat, Feiz, Shadan and Mahta). Evaluation of the effect of sowing date was caried out by analysis of variance, mean comparison, GGE biplot and PLSR methods by GEA-R software. A sensory panel was used to evaluate the quality of taste in the fresh seeds of bean varieties obtained from the first sowing date by Kruskal-Wallis and Mann-Whitney U using SPSS software.

Results and Discussion
Analysis of variance showed that the effect of variety were significant on all traits including days to emergence, days to pod formation, plant height, green pod length, stems per plant, seeds per pod, pods per plant, hundred seed weight, green pod yield, biological yield and harvest index. The effect of sowing date was significant on all traits except stems per plant. The interaction effect of two factors was also significant on all traits except days to emergence and stems per plant. For traits with significant interaction between two factors, the mean comparison of variety (sub factor) was carried out at each level of sowing date (main factor). Days to pod formation, plant height and pods per plant in all varieties had a downward trend from the first to the fourth sowing date. Feiz had the longest length of green pods and the highest number of seeds per pod in all of sowing dates. Mahta and Shadan with smaller seed size had more pods per plant than other varieties. Shadan and Faiz had more hundred seed weight compared to other varieties in the late sowing dates. The highest seed yield was obtained in Shadan (431.65 $g.m^{-2}$) on 11 November and the lowest yield was obtained in the Guilan landrace (75.65 $g.m^{-2}$) on 9 February. With the delay in sowing, the seed yield decreased in Barkat, Feiz and Guilan landrace, but in Mahta and Shadan, with the delay in sowing, the seed yield decreased until the third sowing date, and again increased on the fourth sowing date. GGE biplot analysis showed that Barkat, Feiz and Shadan had the

1 and 2- M.Sc. Graduated Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran, respectively.
3- M.Sc. Graduated, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
* Corresponding Author: sharifi@iaurasht.ac.ir

highest; and Mahta and Guilan landrace had the lowest seed yield. Also, Faiz and Guilan landrace had more stable yield in different sowing dates. Based on another view of GGE biplot, the best genotype for first sowing date was Guilan landrace; for second sowing date, Feiz; for third sowing date, Barket; and for fourth sowing date, Shadan and Faiz. In PLSR approach was investigated the relationship between the dependent variable (seed yield, Y) and the climatic explanatory variables (X variables). The results showed that the genotypes had different responses to different sowing dates and also their climatic needs were different, so that Mahta, Shadan and Barkat were more under the influence of temperature factors at the end of the growing season, and Faiz and Guilan landrace were more under the influence of temperature factors at the beginning of the growing season, as well as the amount of precipitation and evaporation in whole period of growth. Wide temperature range (difference between high and low temperature) at the end of the growing season has a negative effect on the yield of Feiz and Guilan landrace, while low temperature at the beginning of the growing season has a positive effect on these genotypes. Evaluation of the quality of taste with a sensory panel in the fresh seeds showed that Feiz had the highest rank of taste among the varieties.

Conclusions

In conclusion, although Guilan landrace and Feiz had more stability of yield in comparison with other varieties, considering the higher yield of Faiz compared to Guilan landrace and also its superiority in the sensory panel, this variety can be considered as a substitute for Guilan landrace faba bean in Guilan province. Also, the results of this study show the significant reaction of the seed yield of all five varieties to the sowing date and the necessity of timely sowing to achieve high yield. According to the results of this study, the best time to sowing broad beans in all five varieties was on the 11 November and 11 December; and in case of delay in sowing, Feiz are more recommendable than other varieties.

Keywords: GGE biplot, Partial least squares regression, Performance, Sensory panel, Sowing delay

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 279-300
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۰۰-۲۷۹
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86972.1084

اثر طول دوره رشد بر ارقام باقلا (*Vicia faba* L.) با روش‌های مرسوم و چندمتغیره و ارزیابی حسی کیفیت دانه تر

آرمان کاظمی[۱]، پیمان شریفی[۲*]، نسیبه نظام‌دوست[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

چکیده

هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن محدوده‌ای از زمان است که در آن، ضمن استفاده از عوامل مساعد محیطی برای سبز شدن و استقرار و رشد رویشی، مراحل نمو گیاه با شرایط نامساعد محیطی نیز برخورد نکند. ازاین‌رو، برای شناسایی رقم مناسب در استان گیلان، تحقیق حاضر در شهرستان صومعه‌سرا اجرا شد. فاکتور اصلی، تاریخ کاشت (۲۰ آبان، ۲۰ آذر، ۲۰ دی و ۲۰ بهمن) و فاکتور فرعی ارقام باقلا (*Vicia faba L.*) (توده بومی گیلان، برکت، فیض، شادان و مهتا) بودند. بیشترین عملکرد دانه (۴۳۱/۶۵ گرم در مترمربع)، از رقم شادان در تاریخ کاشت ۲۰ آبان به‌دست آمد. GGE بای‌پلات نشان داد که در تاریخ‌های مختلف کاشت، ارقام برکت، فیض و شادان، بیشترین و رقم مهتا و توده بومی گیلان، کمترین عملکرد دانه را داشتند و رقم فیض و توده بومی گیلان دارای ثبات عملکرد بیشتری بودند. رگرسیون کمترین مربعات جزئی نشان داد که ارقام مهتا، شادان و برکت بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در آخر فصل رشد و رقم فیض و توده بومی گیلان بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در ابتدای فصل رشد و همچنین میزان بارندگی و تبخیر در کل دوره رشد بودند. در مجموع، با توجه به عملکرد بالاتر رقم فیض نسبت به توده بومی گیلان (به‌عنوان رقم رایج در منطقه) و همچنین برتری آن در ارزیابی حسی، این رقم می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای توده بومی باقلا در استان گیلان در نظر گرفته شود. همچنین در صورت تأخیر در کاشت، رقم فیض با توجه به عملکرد بالاتر و ثبات بیشتر، نسبت به ارقام دیگر قابل توصیه‌تر است.

واژه‌های کلیدی: پنل حسی، تأخیر در کاشت، رگرسیون کمترین مربعات جزئی، عملکرد، GGE بای‌پلات

مقدمه

باقلا (*Vicia faba L.*)، یکی از بقولات زراعی بسیار قدیمی است که به‌طور وسیعی در مناطق معتدله و ارتفاعات بلند مناطق گرمسیری کشت می‌شود (Sheikh & Feizbakhsh, 2019). این گیاه، شرایط مرطوب و سرد را می‌پسندد و هوای گرم‌وخشک به محصول آسیب می‌رساند، بنابراین تاریخ کاشت آن باید طوری تنظیم شود که گرمای بیش از حد هوا به‌ویژه در دوره گل‌دهی، به گیاه آسیب نرساند. هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن محدوده‌ای از زمان است که در آن، ضمن استفاده از عوامل مساعد محیطی برای سبز شدن و استقرار و رشد رویشی، مراحل نمو گیاه با شرایط نامساعد محیطی نیز برخورد نکند (Khajehpoor, 2011). پدیده‌شناسی یا فنولوژی[۲]، روابط بین وقایع دوره‌های بیولوژیکی مرتبط با چرخه زندگی گیاهان و تغییرات محیط را بررسی می‌کند و به کمک آن، می‌توان تأثیر تغییرات فصلی را بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاهان ارزیابی نمود (Sheikh & Jafarnode, 2020).

باقلا برای رشد مطلوب، به دمای متوسط ۲۷-۲۱ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد و به کشت زودهنگام زمستانه واکنش خوبی نشان می‌دهد. در باقلا، مهم‌ترین مرحله فنولوژیک، مرحله گل‌دهی یعنی عبور گیاه از مرحله رویشی به زایشی است. یکی از عوامل کاهنده عملکرد دانه در کاشت زودهنگام باقلا، این است که با توجه به حساسیت زیاد باقلا به سرما در مراحل گل‌دهی نسبت به سایر مراحل رویشی و زایشی، چنانچه گل‌دهی باقلا در بهمن‌ماه انجام شود، تنش سرما موجب کاهش باروری گل‌ها و همچنین کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Sheikh & Feizbakhsh, 2019). از طرفی دیگر، تأخیر در کاشت به‌دلیل

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: sharifi@iaurasht.ac.ir)

2- Phenology

افزایش دما در مرحله باروری باعث ایجاد اختلالات رشد جنین، ریزش گل‌ها و کاهش تعداد بذر در غلاف و در نتیجه، کاهش قابل ملاحظه‌ای در تولید این گیاه می‌شود (Peyvast, 2002). دمای پایین در مرحله گیاهچه‌ای و زایشی موجب استقرار کند و تولید دانه اندک شده و در نهایت، منجر به عملکرد پایین محصول می‌شود. همچنین کاشت باقلا به‌صورت پاییزه در مناطق مرتفع، با خطر کاهش عملکرد حتی در رقم‌های متحمل به یخبندان روبه‌رو است (Sanghera et al., 2011). بنابراین، تاریخ کاشت باقلا از طریق آزمایش‌ها باید طوری در منطقه تعیین شود که گرمای هوا، به‌ویژه در دوره گل‌دهی به گیاه آسیب نرساند (Hashemabadi & Sedaghathoor, 2006).

پژوهش‌های زیادی در زمینه واکنش ژنوتیپ‌های مختلف باقلا از نظر رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد به تاریخ‌های کاشت مختلف انجام شده است. در پژوهشی، جافرنوده و همکاران (Jafarnodeh et al., 2017) با ارزیابی ۵۲ ژنوتیپ باقلا نشان دادند که در ژنوتیپ‌هایی که گل‌دهی آن‌ها دیرتر آغاز می‌شود، در اثرروبرو شدن بخشی از دوره پرشدن دانه با آب‌وهوای گرم فصل بهار، عملکرد دانه کاهش می‌یابد. حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2014) نشان دادند که تأخیر در کاشت باقلا، به‌دلیل برخورد محصول با دمای آخر فصل، سبب تسریع در رشد آن می‌شود و مدت زمان رسیدن به مراحل فنولوژیک کاهش می‌یابد. ایشان همچنین نشان دادند که چون باقلا گیاهی روزبلند است، با افزایش طول روز، شتاب بیشتری در مراحل فنولوژیک آن رُخ می‌دهد. عجم نوروزی و وزین (Ajam Norozi & Vazin, 2011) نیز با ارزیابی اثر تاریخ‌های کاشت مختلف بر باقلا در گرگان، گزارش کردند که تأخیر در کاشت به‌دلیل تأثیر درجه حرارت و طول روز بر گل‌دهی گیاه با عنایت به روزبلند بودن باقلا، باعث کاهش زمان از کاشت تا گل‌دهی شد. با تأخیر در کاشت، کاهش طول دوره رشد رویشی و زایشی توسط بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2012) و کاهش طول دوره از کاشت تا گل‌دهی توسط خلیل و همکاران (Khalil et al., 2010) نیز گزارش شده است. زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2014) در مطالعه اثر دو تاریخ کاشت ۲۴ آبان و ۲ دی بر باقلا در گرگان اظهار داشتند که با تأخیر در کاشت، ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته و تعداد گره در ساقه کاهش یافت که نتیجه آن، کاهش تعداد غلاف و عملکرد دانه بود. ربیعی و جیلانی (Rabiee & Jilani, 2014) با بررسی اثر سه تاریخ کاشت اظهار داشت که بیشترین عملکرد غلاف سبز و عملکرد دانه خشک در تاریخ کاشت ۱۰ و ۲۵ مهر به‌دست آمد. شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2016) نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه در اولین تاریخ کاشت (۲۶ آبان) به‌دست آمد و تأخیر در کاشت سبب کاهش عملکرد دانه گردید، به‌نحوی‌که میزان عملکرد دانه در آخرین تاریخ کاشت (۱۱ بهمن) تنها به اندازه ۳۶/۶ درصد تاریخ کاشت اول (۲۰ آبان) بود. در پژوهشی دیگر، با ارزیابی شش ژنوتیپ باقلا در چهار تاریخ کاشت نشان داده شد که اثر تاریخ کاشت بر همه صفات مطالعه شده معنی‌دار بود. بیشترین زمان رسیدن دانه‌ها ۱۷۵ روز بود که از کاشت در اوایل آذر حاصل شد. همچنین برای همه ژنوتیپ‌ها تأخیر در کاشت، سبب کاهش عملکرد دانه شد (Sharifi, 2019).

شناخت برهم‌کنش بین ژنوتیپ‌ها با محیط‌های گوناگون از مطالعات مهم در علوم زراعت و به‌نژادی گیاهی است. در تجزیه و تحلیل داده‌های مزرعه‌ای حاصل از آزمایش‌ها، محیط می‌تواند هرگونه عملیات مدیریتی مانند تاریخ کاشت، تراکم کاشت، کاربرد کود و ... باشد (Balalić et al., 2012). پژوهشگران از برخی از روش‌های چند متغیره برای بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه زراعی به این عوامل از جمله تاریخ‌های کاشت مختلف استفاده کرده‌اند. در روش بای‌پلات اثرات اصلی ژنوتیپ به‌علاوه‌برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط[1] (GGE بای‌پلات)، یا بای‌پلات رگرسیون مکانی[2] (SREG) می‌توان امکان شناسایی بهترین رقم را برای هر محیط فراهم آورد، هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را مشاهده نمود و امکان رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را براساس عملکرد در یک محیط ویژه انجام داد (Yan, 2001). در این نوع بای‌پلات، به‌راحتی می‌توان تمامی داده‌های دوطرفه حاصل از پژوهش‌ها، مانند برهم‌کنش‌های ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ در صفت، ژنوتیپ در تیمار، آزمایش‌های دای‌آلل و ... را به‌صورت گرافیکی نشان داد (Sharifi, 2019). محیط مجموعه عامل‌های غیرژنتیکی است که بر روی بیان صفات تأثیر می‌گذارد و به محیط بزرگ[3] و محیط کوچک[4] تقسیم می‌شود. محیط بزرگ دربرگیرنده شرایط آب‌وهوایی، خاکی و مدیریتی است که خود عواملی همچون اختلاف در طول روز، دما، رطوبت، بارندگی، سطوح مختلف مواد غذایی مانند نیتروژن، فسفات، پتاسیم و یا ریز مغذی‌ها، انواع مختلف خاک، تعداد آبیاری، تعداد روز از زمان کاشت و تراکم گیاهان را در بر می‌گیرد. محیط کوچک به عامل‌های ناهمگون درون یک محیط بزرگ، درون یک کرت آزمایشی و حتی درون یک تک گیاه گفته می‌شود (Roy, 2000). تعداد ژنوتیپ‌ها در چنین مطالعاتی بسته به نوع مطالعه متغیر است، به‌طوری‌که در مراحل اولیه ارزیابی لاین‌های

1- Genotype plus Genotype Environment Biplot (GGE)
2- Site Regression GGE biplot, SREG
3- Macroenvironment
4- Microenvironment

امیدبخش، ممکن است تعداد آن‌ها زیاد باشد و در ارزیابی‌های پیشرفته‌تر، تعداد آن‌ها به چند ژنوتیپ کاهش داده شود که اثر تیمارهای مختلف بر روی آن‌ها بررسی می‌شوند، به‌طوری‌که در جدیدترین نوآوری مربوط به تجزیه بای‌پلات، یان (Yan, 2024) برای تلفیق اطلاعات بای‌پلات‌های چند آزمایشی[1] و چند صفتی[2]، از چهار ژنوتیپ استفاده نمود. در مدل رگرسیون کمترین مربعات جزئی[3] (PLSR)، با هدف الصاق اهمیت بیولوژیکی به تفسیر برهم‌کنش، از اطلاعات عوامل اقلیمی (حداقل، حداکثر و میانگین دما و بارش) استفاده می‌شود (Vargas et al., 1998). از روش GGE بای‌پلات برای تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و معرفی ژنوتیپ پایدار و بهترین ژنوتیپ برای هر تاریخ کاشت در ارقام و لاین‌های امیدبخش کلزا (*Brassica napus* L.) (Kheybari et al., 2020)، سویا (*Glycine max* L.) (Kandil et al., 2012) و گندم (*Triticum Aestivum*) (Taghizadeh et al., 2017 Elbasyoni, 2018; Saeidnia et al., 2023) استفاده کردند. هو و همکاران (Hu et al., 2018) از رویکرد PLSR برای تشخیص فاکتورهای کنترل‌کننده عملکرد دانه گندم زمستانه استفاده کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند فاکتورهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه را شناسایی کند. همچنین بالالیک و همکاران (Balalić et al., 2008) برهم‌کنش هیبرید × تاریخ کاشت را در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) با استفاده از مدل‌های GGE بای‌پلات و PLSR ارزیابی کردند و سهم عوامل آب‌وهوایی را در این برهم‌کنش شناسایی کردند.

از آنجا که باقلا به‌صورت تازه‌خوری نیز مصرف می‌شود، برای ارزیابی کیفیت طعم، معمولاً از پنل حسی[4] یا ارزیابی حسی[5] استفاده می‌شود. پنل‌های حسی، روشی برای بررسی تمام جنبه‌های محصولات هستند که ارزیابی محصولات را از نظر ظاهر، طعم، حس دهان و مزه فراهم می‌کنند و به سه دسته آموزش‌دیده، نیمه‌آموزش‌دیده و مصرفی طبقه‌بندی می‌شوند. یک پنل آموزش‌دیده، متشکل از تعداد اندکی از اعضاء (۵ تا ۱۰ نفر) است که باید با دقت انتخاب و آموزش داده شوند. پنل نیمه‌آموزش‌دیده، معمولاً از حدود ۲۵ تا ۳۰ عضو تشکیل می‌شود که تا حدی با کیفیت و طبقه‌بندی محصول مورد نظر آشنا هستند. اعضای پنل مصرف‌کننده، نماینده گروه‌های مصرف‌کننده بالقوه هستند که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند و معمولاً به بیش از ۸۰ عضو برای تشکیل یک پنل مصرف‌کننده نیاز است (Akkad et al., 2019). پژوهش‌هایی در زمینه بهره‌گیری از پنل حسی در ارزیابی کیفیت باقلا انجام شده است. توسیلو و همکاران (Tuccillo et al., 2022) عطر و طعم باقلا را با روش‌های شیمیایی و حسی ارزیابی کردند و رویکرد PLSR را برای درک رابطه بین مواد شیمیایی و داده‌های حسی اِعمال کردند. آکاد و همکاران (Akkad et al., 2023) تجزیه و تحلیل عطر و طعم و مطالعات حسی را در چهار رقم باقلا انجام دادند و اثرات حسی را برآورد کردند. شاران و همکاران (Sharan et al., 2022) چگونگی فرآوری مواد و شرایط کاربرد را در ایجاد طعم باقلا با استفاده از پنل حسی و روش‌های شیمیایی ارزیابی کردند و نشان دادند که شرایط کاربرد و چگونگی فرآوری باعث تغییر رایحه باقلا شد، به‌طوری‌که در هنگام تغییر pH از خنثی به اسیدی، مزه باقلا نیز از "شیرینی" به "ترشی" میل کرد. کارول‌کوسکی و همکاران (Karolkowski et al., 2022) با استفاده از یک پنل آموزش‌دیده، خواص حسی ژل‌های تهیه شده از سه رقم باقلا را تجزیه و تحلیل کردند و یک آزمایش مصرف‌کننده برای ارزیابی مقبولیت آن‌ها انجام دادند و با این کار اطلاعاتی درباره خواص حسی ارقام مختلف باقلا ارائه دادند و به اطلاعاتی دست یافتند که می‌تواند به بهبود مقبولیت آن‌ها برای انسان کمک کند.

هدف از این مطالعه، شناسایی رقم مناسب باقلا برای کاشت در استان گیلان با توجه به زمان‌های مختلف کاشت آن است. برای ارزیابی برهم‌کنش رقم × تاریخ کاشت از مدل‌های ضربی مانند SREG و PLSR استفاده کردند. هدف دیگر این مطالعه، ارزیابی کیفیت ارقام با استفاده از پنل حسی بود.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به‌صورت کرت خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در شهرستان صومعه‌سرا در ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و در سال زراعی ۱۴۱۴۰۲- ۱۴۰۱ اجرا شد. فاکتور اصلی تاریخ کاشت در چهار سطح (۲۰ آبان، ۲۰ آذر، ۲۰ دی و ۲۰ بهمن) و فاکتور فرعی ارقام باقلا در پنج سطح (شادان، فیض، مهتا، برکت و توده بومی گیلان) بودند. دلیل انتخاب فواصل یک‌ماهه برای تاریخ کاشت، بررسی مواجهه ارقام با شرایط محیطی ابتدای فصل، در تاریخ‌های کاشت زودهنگام و همچنین شرایط محیطی انتهای فصل، در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام و ارزیابی تأثیرگذاری این شرایط بر صفات مورد مطالعه بود. ارقام فیض، شادان و مهتا به‌تازگی معرفی شده‌اند (Sheikh & Feizbakhsh, 2019; Sheikh &

1- Multi-trial
2- Multi-trait
3- Partial least squares regression, PLSR
4- Sensory Panel
5- Sensory evaluation

Jafarnode, 2020). هر کرت شامل چهار ردیف به‌طول چهار متر با فاصله ردیف‌های ۳۰ سانتی‌متری و فاصله ۲۵ سانتی‌متری بوته‌ها در روی هر ردیف بود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و صاف کردن زمین پیش از اجرای آزمایش صورت گرفت و پس از آماده‌سازی زمین، نقشه طرح پیاده شد. در طول دوره رشد، وجین علف‌های هرز براساس شرایط ۴-۳ بار به‌صورت دستی انجام شد. با توجه به مواجه نشدن با آفات و بیماری‌ها، هیچ‌گونه سم‌پاشی در طی دوره رشد انجام نشد. کاشت به‌صورت دیم انجام پذیرفت.

برخی از اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش شامل کمینه، بیشینه و میانگین دما، میزان بارندگی و همچنین کمینه و بیشینه دمای زمین از اول مهر تا ۳۰ خرداد در سال زراعی ۱۴۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در شهرستان صومعه‌سرا در جدول ۱ ارائه شده است.

صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در هنگام رسیدگی اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، برداشت در یک مترمربع از هر واحد آزمایشی در خارج از حاشیه انجام پذیرفت. برای ثبت مراحل نمو فنولوژیک براساس روش فهر و کاوینس (Fehr & Cavienss, 1977)، ابتدا ۱۰ بوته سالم و نماینده کرت در هر واحد آزمایشی انتخاب و با نخ رنگی علامت‌گذاری شدند و سپس در بازدیدهایی با فاصله هر دو روز یک بار طی فصل رشد، مراحل نمو فنولوژیک بر روی این ۱۰ بوته، یادداشت‌برداری شد و زمان رسیدن به مراحل نمو (سبزشدن، گل‌دهی، غلاف‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی کامل) ثبت شد. در این روش، نخستین روزی که ۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله نموی شدند، ثبت مرحله انجام گرفت. صفات تعداد روز تا سبز شدن و تعداد روز تا غلاف‌دهی مورد تجزیه قرار گرفتند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با روش توکی (Tukey) یا اختلاف معنی‌دار حقیقی (HSD) با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. علاوه‌بر روش‌های مرسوم شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با روش توکی برای ارزیابی اثر فاکتورهای مورد مطالعه و برهم‌کنش آن‌ها بر صفات اندازه‌گیری شده، از برخی از روش‌های چندمتغیره مانند تجزیه GGE بای‌پلات (برپایه تجزیه مؤلفه‌های اصلی) و رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) نیز بهره گرفته شد. از روش تجزیه GGE بای‌پلات، برای مشخص کردن پاسخ ژنوتیپ‌ها به تاریخ‌های کاشت مختلف و از روش رگرسیون کمترین مربعات جزئی، برای ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه از طریق پارامترهای آب‌وهوایی بهره گرفته شد. در این رویکرد، واکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها (متغیر وابسته، Y)، به تاریخ‌های کاشت مختلف با توجه به متغیرهای آب‌وهوایی (به‌عنوان متغیرهای توضیحی یا X) ارزیابی می‌شود (Aastveit & Martens, 1986). برای این منظور، پارامترهای آب‌وهوایی شامل کمینه، بیشینه و میانگین دما، مقدار بارندگی، تبخیر و همچنین کمینه و بیشینه دمای زمین در طی چهار مرحله رشدی (از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گل‌دهی، گل‌دهی تا غلاف‌دهی و غلاف‌دهی تا رسیدگی) در هرکدام از تاریخ‌های کاشت به‌عنوان متغیرهای توضیحی استفاده شدند (جدول ۵). در چهار مرحله رشدی برای هر تاریخ کاشت، میزان پارامترهای فوق اندازه‌گیری شد و از آن‌ها در تجزیه رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) بهره گرفته شد. تجزیه‌های GGE بای‌پلات و PLSR با استفاده از نرم‌افزار GEA-R[1] انجام شد (Pacheco et al., 2015).

ارزیابی حسی ارقام توسط ۲۰ نفر انجام شد. افراد حاضر در این پژوهش که با کیفیت محصول باقلا آشنا بودند، پس از مصرف دانه‌های تر برداشت شده از تاریخ کاشت اول، نمرات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ را به‌ترتیب به طعم و مزه خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی دادند. بنابراین در این بخش، فقط یک صفت، یعنی طعم و مزه، توسط ارزیاب‌ها ارزیابی شد. این روش امتیازدهی[2] به‌دلیل سادگی و سهولت در تجزیه و تحلیل آماری، بیشترین استفاده را در بین تمام روش‌های حسی دارد (Akkad et al., 2023). امتیازهای داده شده توسط افراد ارزیاب با آماره ناپارامتری کروسکال- والیس[3] و به دنبال آن با آزمون من-ویتنی[4] با استفاده از نرم‌افزار SPSS مورد قضاوت آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها

تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم بر همه صفات شامل تعداد روز تا سبز شدن، تعداد روز تا غلاف‌دهی، ارتفاع بوته، طول غلاف سبز، تعداد ساقه در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد غلاف سبز، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود. اثر تاریخ کاشت بر همه صفات به‌جز تعداد ساقه در بوته معنی‌دار بود. برهم‌کنش دو فاکتور نیز بر همه صفات به‌جز تعداد روز تا سبز

1- Genotype - Environment Analysis with R
2- Scoring
3- Kruskal-Wallis
4- Mann-Whitney U

شدن و تعداد ساقه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج تجزیه واریانس، برای صفات با برهم‌کنش معنی‌دار دو فاکتور، برش‌دهی برهم‌کنش تاریخ کاشت در رقم انجام شد و مقاسه میانگین رقم (فاکتور فرعی) در هر سطح تاریخ کاشت (فاکتور اصلی) انجام شد. برای صفاتی که برهم‌کنش دو فاکتور معنی‌دار نبود، اثرات اصلی فاکتورها (تاریخ کاشت و رقم) بررسی شدند. برخی از پژوهشگران، پس از اجرای طرح به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی، چنانچه میانگین مربعات بلوک کوچک‌تر از میانگین مربعات خطا باشد، میانگین مربعات و درجه آزادی بلوک را در میانگین مربعات و درجه آزادی خطا ادغام می‌نمایند تا دقت مقایسه‌ها افزایش یابد (Yazdi Samadi et al., 1998). بر این اساس، از آنجا که در این پژوهش، طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی بود و برای صفات تعداد روز تا غلاف‌دهی، ارتفاع بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد غلاف سبز و عملکرد دانه، میانگین مربعات بلوک کوچک‌تر از میانگین مربعات خطا (در اینجا خطای اصلی) بود، میانگین مربعات و درجه آزادی بلوک در میانگین مربعات و درجه آزادی خطای اصلی ادغام شد و به همین دلیل در جدول تجزیه واریانس، برای این صفات اثر بلوک از منابع تغییرات حذف شد. برای صفت وزن ۱۰۰ دانه، خطای فرعی بیشتر از خطای اصلی بود که دلیل آن می‌تواند ناشی از برهم‌کنش شدید فاکتور فرعی (رقم) با بلوک باشد. راه حل در چنین مواردی، تفکیک خطای فرعی به اجزای آن یعنی برهم‌کنش رقم × بلوک و تاریخ کاشت × رقم × بلوک است و استفاده از برهم‌کنش تاریخ کاشت × رقم × بلوک به‌عنوان خطا برای آزمودن اثرات رقم، رقم × بلوک و تاریخ کاشت × رقم است (Yazdi Samadi et al., 1998). ازاین‌رو، در جدول تجزیه واریانس برای این صفت، منبع تغییرات جدیدی (بلوک × رقم) اضافه شد که از تفکیک خطای آزمایشی به دو جزء حاصل شده است. برهم‌کنش رقم × بلوک برای این صفت معنی‌دار نشد.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی صومعه‌سرا از مهر تا خرداد سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱

Table 1- Meteorological data from 22 September to 20 June of Soamesera (2022-2023)

ماه Month	کمینه دما Air minimum temperatue (°C)	بیشینه دما Air maximum temperatue (°C)	میانگین دما Air average temperatue (°C)	کمینه دمای زمین Grand minimum temperatue (°C)	بیشینه دمای زمین Grand maximum temperatue (°C)	مقدار بارندگی Precipitation (mm)
مهر 22 Septembere - 21 October	16.96	25.92	21.44	16.09	27.67	120.40
آبان 22 October - 20 Novembr	10.29	19.90	15.10	9.26	21.47	102.50
آذر 21 Novembr - 20 December	7.54	14.09	10.82	6.96	15.08	108.80
دی 21 December - 19 January.	2.76	11.80	7.28	2.03	12.46	77.10
بهمن 20 January - 18 February	1.95	11.36	6.66	1.04	11.99	109.40
اسفند 19 February - 19 March	7.22	18.61	12.91	6.68	18.20	76.10
فروردین 20 March - 19 April	9.32	20.37	14.85	9.01	20.57	53.90
اردیبهشت 20 April - 20 May	13.24	23.03	18.13	12.17	23.37	116.20
خرداد 21 May - 20 June	19.26	29.33	24.29	17.98	30.50	62.80

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تاریخ کاشت و ارقام باقلا بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 2- Analysis of variance of the effects of sowing date and faba bean varieties on measured traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares
		تعداد روز تا سبز شدن Days to emergence	طول غلاف سبز Green pod length	تعداد ساقه در بوته Stems per plant	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index		تعداد روز تا غلاف‌دهی Days to pod formation	ارتفاع بوته Plant height	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	عملکرد غلاف سبز Green pod yield	عملکرد دانه Seed yield		وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight
بلوک Block	2	2.02^{ns}	10.66^{ns}	1.07^{ns}	4.29^{ns}	8351.62^{ns}	0.002^{ns}	-	-	-	-	-	-	2	70.35**
تاریخ کاشت Sowing date	3	409.73**	85.19**	1.42^{ns}	804.19**	1772071.03**	0.006*	3	2355.43**	10761.87**	2.49*	2953.04**	240280.30**	3	20444.79**
خطای کرت اصلی Errore a	6	2.01	4.55	0.58	2.47	5229.22	0.001	8	8.58	77.14	0.41	844.82	331.01	6	2.79
رقم Variety	4	53.82**	187.24**	2.07**	48.65**	38839.61**	0.044**	4	175.39**	273.55**	15.96**	279.53**	16960.77**	4	2446.47**
تاریخ کاشت × رقم Sowing date × variety	12	3.48^{ns}	3.99*	0.18^{ns}	14.21**	32895.67**	0.015**	12	20.20*	209.08**	0.63**	209.03**	8042.45**	12	1044.91**
بلوک × رقم Block × variety	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	4.53ns
خطا Errore	32	2.02	1.99	0.25	1.90	3623.73	0.001	32	7.35	40.54	0.24	634.62	243.38	24	3.37
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		7.29	9.15	17.59	14.37	8.59	11.19		2.77	5.93	11.97	7.66	6.15		1.78

ns: معنی‌دار نیست؛ * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns: not significant; * and **: significant at 1% and 5% probability level, respectively.

تعداد روز تاسبز شدن

مقایسه میانگین‌های تعداد روز تا سبز شدن نشان داد که کمترین زمان سبز شدن در تاریخ کاشت اول (۲۰ آبان) (۱۲ روز) و بیشترین زمان در تاریخ کاشت سوم (۲۰ دی) (۲۴/۲ روز) رخ داد (جدول ۳). بین تاریخ کاشت دوم (۲۰ آذر) و چهارم (۲۰ بهمن) اختلاف معنی‌داری از نظر این صفت وجود نداشت. با عنایت به جدول ۱ می‌توان دریافت که در تاریخ کاشت سوم، پارامترهای آب‌وهوایی به‌ویژه کمینه دمای زمین، میانگین دما و کمینه دما در کمترین میزان خود بودند که منجر به تأخیر در سبز شدن بذرها در این تاریخ کاشت شده است. نتایج مقایسه میانگین بین ارقام از نظر تعداد روز تا سبز شدن نشان داد که ارقام فیض، بومی گیلان و برکت زودتر از دو رقم دیگر سبز شدند (جدول ۴). بین ارقام شادان و مهتا اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد روز تا سبز شدن وجود نداشت. در تطابق با نتیجه حاضر، عجم نوروزی و همکاران (Ajam Norouzi et al., 2007) نیز نشان دادند که حداکثر طول مدت از کاشت تا سبز شدن مربوط به تاریخ کاشت دی‌ماه بود. ایشان دلیل این رخداد را در کمینه بودن دما در این ماه دانستند که با نتیجه پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در ارتباط با اختلاف ارقام از نظر تعداد روز تا سبز شدن، نخ زری مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2014) عنوان داشتند که بذور درشت باقلا به‌دلیل تفاوت عمق کاشت زودتر سبز می‌شوند که در پژوهش حاضر نیز ارقام دارای بذرهای درشت‌تر زودتر سبز شدند.

تعداد روز تا غلاف‌دهی

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت نشان داد که برای صفت تعداد روز تا غلاف‌دهی نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ آبان، رقم مهتا با ۱۱۴ روز، بیشترین و توده بومی گیلان با ۱۰۶/۶۶ روز، کمترین تعداد روز تا غلاف‌دهی را داشتند. در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ارقام شادان با ۱۱۰/۳۳ و برکت با ۱۰۲/۶۶ روز، به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد روز تا غلاف‌دهی را داشتند. در تاریخ کاشت ۲۰ دی، رقم شادان با ۱۰۱ و رقم برکت با ۸۸/۶۶ روز، به‌ترتیب بیشترین و کمترین تعداد روز تا غلاف‌دهی را به خود اختصاص دادند. در تاریخ کاشت ۲۰ بهمن، توده بومی گیلان با ۷۲/۶۶، کمترین و رقم شادان با ۸۷/۶۶ روز، بیشترین تعداد روز تا غلاف‌دهی را داشتند (جدول ۵). این جدول همچنین نشان می‌دهد که تعداد روز تا غلاف‌دهی در همه ارقام (بومی گیلان، برکت، فیض، شادان و مهتا) از تاریخ کاشت اول به چهارم روند نزولی داشت، به‌طوری‌که تعداد روز تا غلاف‌دهی از تاریخ کاشت ۲۰ آبان به ۲۰ بهمن، در توده بومی گیلان، از ۱۰۶ به ۷۲؛ در رقم برکت، از ۱۰۸ به ۷۹؛ در رقم فیض، از ۱۰۹ به ۸۷ و در رقم مهتا، از ۱۱۴ به ۸۴ روز رسید. علت این امر می‌تواند کوتاه شدن دوره رشد رویشی با تأخیر در کاشت باشد، به‌طوری‌که در تاریخ‌های کاشت دیرهنگام، با افزایش دما به‌دلیل تأمین حرارت تجمعی مورد نیاز گیاه جهت تکمیل چرخه حیاتی در مدت زمان کوتاه‌تری، طول دوره نمو می‌تواند کاهش یابد (Khajehpoor, 2011). همچنین خلیل و همکاران (Khalil et al., 2010) در این راستا بیان داشتند که کاهش تعداد روز تا رسیدگی در کاشت تأخیری، ممکن است به‌دلیل درجه حرارت بالایی باشد که محصول را مجبور می‌کند تا چرخه زندگی خود را سریع‌تر به اتمام رسانده، در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد به‌شدت کاهش یابد. از میانگین ماهیانه اطلاعات هواشناسی (جدول ۱) و اطلاعات هواشناسی دوره‌های رشدی مختلف در تاریخ‌های کاشت (جدول ۶) نیز به‌خوبی چنین نتایجی دیده می‌شود.

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد روز تا سبز شدن در واریته‌های باقلا در تاریخ‌های کاشت مختلف

Table 3- Mean comparison of days to emergence in faba bean varieties atdifferent sowing date

تاریخ کاشت Sowing date	تعداد روز تا سبز شدن Days to emergence
۲۰ آبان 11 November	12[c*]
۲۰ آذر 11 December	20.66[b]
۲۰ دی 10 January	24.2[a]
۲۰ بهمن 9 February	21[b]

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشند.

* In each column, means with common letter are not significant difference at 0.05 probability level.

جدول ۴- بررسی مقایسه میانگین تعداد روز تا سبز شدن و تعداد ساقه در بوته در ارقام مختلف باقلا

Table 4- Mean comparison analysis of days to emergence and stems per plant in different faba bean varieties

رقم Variety	تعداد روز تا سبز شدن Days to emergence	تعداد ساقه در بوته Stems per plant
توده محلی گیلان Guilan landrace	18.25[b*]	3.51[a]
برکت Barakat	18.25[b]	2.78[b]
فیض Feiz	17.33[b]	2.86[b]
شادان Shadan	21.75[a]	2.5[b]
مهتا Mahta	21.75[a]	2.5[b]

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف متترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ می‌باشند.

* In each column, means with common letter are not significant difference at 0.05 probability level.

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته ارقام در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ آبان، رقم شادان با ۱۴۷/۵ سانتی‌متر، بیشترین و رقم برکت با ۱۳۳/۸ سانتی‌متر، کمترین ارتفاع بوته را داشتند. در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ارقام فیض و برکت، به‌ترتیب با ۱۳۴/۸ و ۹۵/۶ سانتی‌متر، دارای بیشترین و کمترین ارتفاع بوته بودند. در تاریخ کاشت ۲۰ دی، توده بومی گیلان با ۸۹/۶ سانتی‌متر، بیشترین و رقم مهتا با ۷۲/۱ سانتی‌متر، کمترین ارتفاع بوته را داشتند. در آخرین تاریخ کاشت (۲۰ بهمن)، بیشترین (۹۳ سانتی‌متر) و کمترین (۸۳/۳ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به‌ترتیب مربوط به ارقام شادان و مهتا بود. در تاریخ‌های کاشت اول، سوم و چهارم، اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر ارتفاع بوته وجود نداشت (جدول ۵). تفاوت ارتفاع بوته در بین ارقام در تاریخ کاشت سوم نشان داد که واکنش ارقام به عوامل آب‌وهوایی (جدول ۱) در تاریخ کاشت دوم به‌شدت متفاوت بود. در تمام ارقام، از تاریخ کاشت ۲۰ آبان تا تاریخ کاشت ۲۰ بهمن، روند کاهشی در ارتفاع بوته دیده شد که با نتایج سایر پژوهشگران دیگری همچون کیان‌بخت و همکاران (Kiyanbakht et al., 2015)، خلیل و همکاران (Khalil et al., 2010) و زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2014) مطابقت دارد. از جمله دلایل افزایش ارتفاع بوته در تاریخ‌های کاشت زودتر، استفاده بهینه از شرایط محیطی و در نتیجه، افزایش تعداد گره و طول میان‌گره در ساقه است که در نتیجه طولانی‌تر شدن دوره رشد رویشی در تاریخ کاشت‌های زودتر حاصل می‌شود (Zeinali et al., 2014).

طول غلاف سبز

برش‌دهی برهم‌کنش دو فاکتور نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ آبان، رقم فیض با ۲۱/۶۶ سانتی‌متر، بیشترین و رقم شادان با ۱۵/۴ سانتی‌متر، کمترین طول غلاف‌سبز را داشتند. در تاریخ‌های کاشت ۲۰ آذر، ۲۰ دی و ۲۰ بهمن، ارقام فیض و توده بومی گیلان به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول غلاف سبز را داشتند (جدول ۵). رقم فیض در هر چهار تاریخ کاشت، بلندترین طول غلاف سبز را دارا بود و توده بومی گیلان نیز به‌غیر از تاریخ کاشت اول، در تاریخ‌های کاشت بعدی دارای کمترین طول غلاف سبز بود. به نظر می‌رسد که برای توده بومی گیلان، بزرگ‌تر بودن اندازه دانه در تاریخ کاشت اول (۲۰ آبان ماه)، منجر به طول غلاف بیشتر شد، در حالی‌که با تأخیر در کاشت، به‌دلیل کاهش اندازه دانه، طول غلاف کاهش یافت. نخزری مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2014) نیز چنین نتیجه‌ای را نشان دادند.

تعداد ساقه در بوته، دانه در غلاف و غلاف در بوته

با توجه به معنی‌دار نبودن اثر تاریخ کاشت و برهم‌کنش دو فاکتور بر تعداد ساقه در بوته، اثر اصلی رقم (جدول ۴) بر این صفت ارزیابی شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تعداد ساقه در بوته در توده بومی گیلان بیشتر از چهار رقم دیگر بود و اختلاف معنی‌داری بین ارقام برکت، فیض، شادان و مهتا از نظر این صفت وجود نداشت.

جدول ۵- برش‌دهی برهم‌کنش ارقام باقلا در تاریخ‌های کاشت برای تعدادی از صفات

Table 5- Slicing interaction of faba bean varieties in sowing dates for some of traits

تاریخ کاشت Sowing date	رقم Variety	تعداد روز تا غلاف‌دهی Days to pod formation	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	طول غلاف سبز (سانتی‌متر) Green pod length (cm)	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد غلاف سبز (گرم در مترمربع) Green pod yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield ($g.m^{-2}$)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
۲۰ آبان 11 November	توده محلی گیلان Guilan landrace (1)	106.66^{c*}	142.66^{a}	16.33^{ab}	4.00^{bc}	17.93^{b}	145.00^{a}	394.27^{a}	467.25^{a}	1059.10^{ab}	0.37^{a}
	برکت Barakat (2)	108.00^{bc}	133.86^{a}	20.40^{ab}	5.47^{ab}	19.80^{b}	130.00^{b}	387.15^{a}	471.70^{a}	1159.67^{ab}	0.33^{a}
	فیض Feiz (3)	109.33^{b}	135.26^{a}	21.66^{a}	5.80^{a}	18.00^{b}	140.00^{a}	409.40^{a}	504.55^{a}	987.90^{b}	0.41^{a}
	شادان Shadan (4)	109.33^{b}	147.53^{a}	15.40^{b}	3.46^{c}	17.20^{b}	115.00^{c}	431.65^{a}	553.55^{a}	1294.95^{a}	0.33^{a}
	مهتا Mahta (5)	114.00^{a}	143.66^{a}	15.60^{b}	3.80^{bc}	27.00^{a}	110.00^{c}	407.40^{a}	529.55^{a}	1199.72^{ab}	0.34^{a}
۲۰ آذر 11 December	1	103.00^{b}	115.53^{b}	12.46^{b}	2.33^{c}	9.20^{ab}	153.00^{b}	269.67^{dc}	311.50^{c}	757.39^{bc}	0.36^{bc}
	2	102.66^{b}	95.66^{c}	20.40^{a}	5.53^{a}	6.80^{b}	147.10^{c}	311.73^{b}	354.22^{bc}	685.30^{c}	0.52^{a}
	3	104.66^{b}	134.80^{a}	23.60^{a}	6.36^{a}	7.60^{b}	167.80^{a}	391.60^{a}	512.82^{a}	950.52^{a}	0.41^{b}
	4	110.33^{a}	117.93^{b}	13.93^{b}	3.86^{b}	11.40^{a}	99.10^{d}	297.08^{c}	392.49^{b}	868.64^{ab}	0.34^{bc}
	5	106.33^{ab}	122.00^{ab}	14.86^{b}	3.86^{b}	12.33^{a}	92.20^{c}	232.65^{d}	313.10^{c}	761.84^{bc}	0.31^{c}
۲۰ دی 10 January	1	92.00^{ab}	89.60^{a}	9.33^{d}	2.40^{b}	4.13^{b}	41.00^{c}	92.56^{c}	112.14^{c}	323.96^{c}	0.28^{bc}
	2	88.66^{b}	83.06^{a}	16.20^{b}	4.86^{a}	3.60^{b}	40.33^{c}	284.80^{a}	403.17^{a}	599.86^{a}	0.47^{a}
	3	97.00^{ab}	89.13^{a}	20.53^{a}	5.86^{a}	3.00^{b}	64.00^{b}	154.86^{b}	210.04^{b}	466.36^{b}	0.33^{b}
	4	101.00^{a}	87.26^{a}	12.26^{c}	3.53^{b}	6.13^{a}	80.00^{a}	168.21^{b}	225.17^{b}	477.04^{b}	0.35^{b}
	5	100.33^{ab}	72.13^{a}	10.66^{cd}	3.26^{b}	3.53^{b}	34.00^{d}	90.78^{c}	128.16^{c}	401.39^{bc}	0.22^{c}
۲۰ بهمن 9 February	1	72.66^{c}	84.60^{a}	9.00^{b}	2.26^{b}	3.26^{b}	90.66^{c}	75.65^{c}	112.14^{b}	352.44^{bc}	0.21^{b}
	2	79.33^{bc}	87.53^{a}	16.00^{a}	4.20^{a}	3.20^{b}	94.33^{c}	128.16^{b}	161.09^{b}	364.90^{bc}	0.37^{ab}
	3	82.00^{ab}	86.30^{a}	17.56^{a}	4.33^{a}	2.36^{b}	115.00^{a}	131.72^{b}	178.89^{b}	288.36^{c}	0.45^{a}
	4	87.66^{a}	93.00^{a}	11.53^{b}	3.86^{a}	7.80^{a}	100.66^{b}	226.95^{a}	339.09^{a}	459.24^{ab}	0.49^{a}
	5	84.66^{ab}	83.33^{a}	10.46^{b}	3.40^{a}	7.66^{a}	93.00^{c}	144.18^{b}	288.36^{a}	543.79^{a}	0.26^{b}

* برای هر صفت، در هر تاریخ کاشت، ارقام دارای حروف مشترک با یکدیگر در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار ندارند.

* For any trait in any of sowing date, varieties with common letter shows threr is no significant difference at 0.05 probability level.

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت بر تعداد دانه در غلاف نشان داد که رقم فیض در هر چهار تاریخ کاشت، بیشترین تعداد دانه در غلاف را داشت. در تاریخ کاشت اول، رقم شادان و در سه تاریخ کاشت بعدی توده بومی گیلان کمترین تعداد دانه در غلاف را داشتند (جدول ۵). به نظر می‌رسد که تعداد دانه در غلاف بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی باشد و شرایط محیطی نقش کمتری در آن داشته باشد.

مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته برای ارقام در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد که در تاریخ‌های کاشت اول و دوم، رقم مهتا و در تاریخ‌های کاشت سوم و چهارم، رقم شادان بیشترین تعداد غلاف در بوته را داشتند. در تاریخ کاشت اول، رقم شادان؛ در تاریخ کاشت دوم، رقم برکت و در تاریخ‌های کاشت سوم و چهارم، رقم فیض کمترین تعداد غلاف در بوته را داشتند (جدول ۵). با تأخیر در کاشت، از تعداد غلاف در بوته در همه ارقام کاسته شد، هرچند که میزان این کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود، به‌طوری‌که رقم شادان که در تاریخ کاشت اول، در مقایسه با دیگر ارقام، کمترین تعداد غلاف در بوته را داشت، در تاریخ‌های کاشت سوم و چهارم، دارای بیشترین تعداد غلاف در بوته بود. در ارتباط با تأثیر کاهنده تأخیر در تاریخ کاشت بر روی تعداد غلاف در بوته، هاشم آبادی و صداقت حور (Hashemabadi & Sedaghathoor, 2006) استقرار مناسب گیاه و افزایش طول بوته را به‌دلیل استفاده بهتر از شرایط محیطی عامل اصلی افزایش تعداد انشعاب و تعداد غلاف در بوته در تاریخ‌های کاشت زودهنگام دانستند. در واقع، تأخیر در کاشت، با استقرار ضعیف گیاهان سبب کاهش تعداد ساقه و تعداد غلاف در بوته شد. بنابراین، همان‌طور که دیده شد تأخیر در کاشت سبب کاهش طول دوره رشد، تعداد ساقه‌های فرعی، ارتفاع بوته و تعداد غلاف در بوته شد.

وزن ۱۰۰ دانه

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت بر وزن ۱۰۰ دانه نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ آبان، رقم مهتا با ۱۱۰ گرم و توده بومی گیلان با ۱۴۵ گرم به‌ترتیب کمترین و بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را داشتند. در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ارقام مهتا و فیض، به‌ترتیب کمترین (۹۲/۲ گرم) و بیشترین (۱۶۷/۸ گرم) وزن ۱۰۰ دانه را به خود اختصاص دادند. در تاریخ‌های کاشت ۲۰ دی و ۲۰ بهمن، توده بومی گیلان به‌ترتیب با ۴۱ و ۹۰/۶۶ گرم کمترین وزن ۱۰۰ دانه را داشت. در تاریخ کاشت ۲۰ دی، رقم شادان با ۸۰ گرم و در تاریخ کاشت چهارم، رقم فیض با ۱۱۵ گرم بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را داشتند (جدول ۵). نکته‌ای که درباره این صفت می‌توان دریافت، این است که در تاریخ کاشت اول، توده بومی گیلان بالاترین وزن ۱۰۰ دانه و در تاریخ‌های کاشت سوم و چهارم، کمترین وزن ۱۰۰ دانه را داشت که می‌توان گفت این ژنوتیپ نسبت به تاریخ کاشت بسیار حساس بوده و با رخداد سرما در تاریخ کاشت سوم، دچار کاهش شدیدی در وزن ۱۰۰ دانه شد. همچنین ارقام شادان و فیض در تاریخ‌های کاشت تأخیری، وزن ۱۰۰ دانه بیشتری در مقایسه با دیگر ارقام داشتند و به عبارتی، شرایط نامساعد محیطی چندان نتوانسته بود که این صفت را در این دو رقم تحت تأثیر قرار دهد. در تطابق با این یافته، بزازی و همکاران (Bazazi et al., 2012) و زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2014) نشان دادند که با تأخیر در کاشت، وزن ۱۰۰ دانه و طول دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش به کوتاه شدن طول دوره رشد رویشی و زایشی نسبت داده شد. در این راستا، وجید و همکاران (Wajid et al., 2002) کوتاهی دوره رشد و به‌ویژه روبرو شدن بوته‌ها در دوره پر شدن دانه با تنش‌هایی همچون خشکی و گرما را با کاهش وزن ۱۰۰ دانه مرتبط دانستند. به نظر می‌رسد که کمینه، بیشینه و میانگین پایین دما در ماه‌های دی و بهمن و بارندگی اندک در ماه دی (جدول ۱) که مصادف با دوره سبز شدن بذور و استقرار گیاهچه‌ها برای تاریخ کاشت سوم بود و همچنین بارندگی اندک در طی دوره گل‌دهی تا غلاف‌دهی و غلاف‌دهی تا رسیدگی (جدول ۶) برای بوته‌های باقلای حاصل از این تاریخ کاشت، روی صفت وزن ۱۰۰ دانه تأثیر گذاشته باشد.

عملکرد غلاف سبز

مقایسه میانگین عملکرد غلاف سبز ارقام در هر سطح تاریخ کاشت نشان داد که در تاریخ کاشت اول، رقم فیض با ۵۲۹/۵۵، بیشترین و توده بومی گیلان با ۴۶۷/۲۵ گرم در مترمربع، کمترین عملکرد غلاف سبز را داشتند. در تاریخ‌های کاشت دوم (۲۰ آذر) نیز ارقام فیض با ۵۱۲/۸۲ و توده بومی گیلان با ۳۱۱/۵ گرم در مترمربع به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد غلاف سبز بودند. در تاریخ کاشت سوم (۲۰ دی)، بیشترین (۴۰۳/۱۷ گرم در مترمربع) و کمترین (۱۱۲/۱۴ گرم در مترمربع) عملکرد غلاف سبز، به‌ترتیب مربوط به ارقام برکت و توده بومی گیلان بود. در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ بهمن)، رقم شادان با ۳۳۹/۰۹ و توده بومی گیلان با ۱۱۲/۱۴ گرم در مترمربع، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد غلاف سبز را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). توده بومی گیلان در هر چهار

تاریخ کاشت، کمترین عملکرد غلاف سبز را دارا بود و رقم فیض در دو تاریخ کاشت اول (۲۰ آبان) و دوم (۲۰ آذر) بیشترین عملکرد غلاف سبز را داشت. خلیل و همکاران (Khalil et al., 2010) نیز کاهش عملکرد غلاف سبز را با تأخیر در کاشت گزارش کردند.

عملکرد بیولوژیک

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت بر عملکرد بیولوژیک نشان داد که در تاریخ کاشت اول، ارقام شادان و فیض با ۱۲۹۴/۹۵ و ۹۸۷/۹ گرم در مترمربع، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک را داشتند. در تاریخ کاشت دوم، رقم فیض با ۹۵۰/۵۲ و رقم برکت با ۶۸۵/۳ گرم در مترمربع به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک بودند. در تاریخ کاشت سوم، بیشترین (۵۹۹/۸۶ گرم در مترمربع) و کمترین (۳۲۳/۹۶ گرم در مترمربع) عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب مربوط به ارقام برکت و توده بومی گیلان بود. در تاریخ‌کاشت چهارم، رقم مهتا با ۵۴۳/۷۹ و رقم فیض با ۲۸۸/۳۶ گرم در مترمربع، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک را داشتند. در همه ارقام، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تأخیر در کاشت، تقریباً روند کاهشی داشت؛ تنها در تاریخ کشت چهارم در مقایسه با تاریخ کاشت سوم، بر میزان آن در رقم مهتا افزوده شد (جدول ۵). در تطابق با نتیجه حاضر، حسن‌زاده و همکاران (Hassanzadeh et al., 2014) نیز نشان دادند که حداکثر عملکرد بیولوژیک مربوط به تاریخ کاشت ۷ آذر بود و با تأخیر در کاشت، مقدار آن کاهش یافت. در پژوهشی دیگر، کیان‌بخت و همکاران (Kiyanbakht et al., 2015) نشان دادند که با هر روز تأخیر در کاشت، عملکرد بیولوژیک ارقام مورد مطالعه کاهش یافت.

شاخص برداشت

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت بر شاخص برداشت نشان داد که در تاریخ کاشت اول اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر شاخص برداشت وجود نداشت، با این وجود ارقام فیض و برکت به‌ترتیب دارای بیشترین (۰/۴۱) و کمترین (۰/۳۳) شاخص برداشت بودند. در تاریخ کاشت دوم، رقم برکت با ۰/۵۲ و رقم مهتا با ۰/۳۰، به‌ترتیب بیشترین و کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. در تاریخ کاشت سوم، بیشترین و کمترین شاخص برداشت، به‌ترتیب مربوط به ارقام برکت و مهتا بود. در تاریخ کاشت چهارم، رقم شادان با ۰/۴۹ و توده بومی گیلان با ۰/۲۱، به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین شاخص برداشت بودند (جدول ۵). شاخص برداشت در توده بومی گیلان از تاریخ کاشت اول به چهارم روند کاهشی داشت. در برخی از ارقام با تأخیر در کاشت، شاخص برداشت افزایش یافت. دلیل این امر می‌تواند ناشی از این باشد که زیاد بودن طول دوره رشد رویشی در کشت زودهنگام، منجر به تولید گیاهان قوی‌تر و در نتیجه، وزن بوته بیشتر خواهد شد؛ امّا ممکن است، عملکرد دانه به اندازه وزن بوته افزایش نیابد، لذا شاخص برداشت در این تاریخ‌های کاشت زودهنگام کمتر از تاریخ‌های کاشت با تأخیر باشد. در این راستا، نخزری مقدم و همکاران (Nakhzari Moghaddam et al., 2014) اظهار داشتند با تأخیر در کاشت، طول دوره رشد رویشی و زایشی کاهش یافت، هرچند طول دوره رشد زایشی، کمتر از طول دوره رویشی تحت تأثیر قرار گرفت.

عملکرد دانه

برش‌دهی برهم‌کنش رقم در تاریخ کاشت نشان داد که رقم شادان در تاریخ کاشت ۲۰ آبان، بیشترین (۴۳۱/۶۵ گرم در مترمربع) و رقم برکت، کمترین (۳۸۷/۱۵ گرم در مترمربع) عملکرد دانه را داشتند. در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ارقام فیض (۳۹۱/۶ گرم در مترمربع) و مهتا (۲۳۲/۶۵ گرم در مترمربع) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه بودند. در تاریخ کاشت ۲۰ دی، بیشترین (۲۸۴/۸ گرم در مترمربع) و کمترین (۹۰/۷۸ گرم در مترمربع) عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به ارقام برکت و مهتا بود. در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ بهمن)، ارقام شادان (۲۲۶/۹۵ گرم در مترمربع) و توده بومی گیلان (۷۵/۶۵ گرم در مترمربع)، به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در مجموع، بیشترین عملکرد دانه در رقم شادان با ۴۳۱/۶۵ گرم در مترمربع در تاریخ کاشت اول (۲۰ آبان) و کمترین میزان آن در توده بومی گیلان با ۷۵/۶۵ گرم در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ بهمن) به‌دست آمد (جدول ۵).

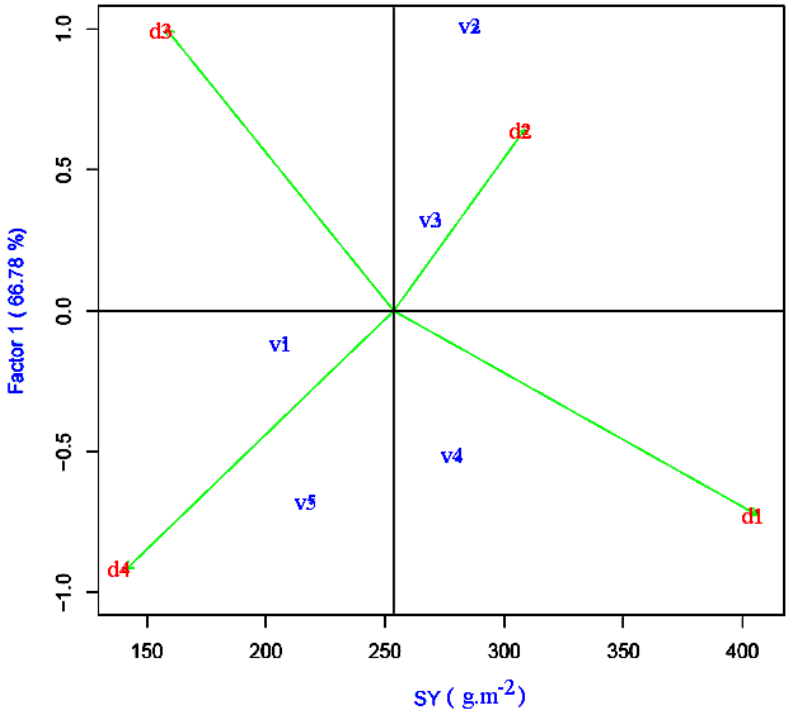
نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه در ارقام برکت، فیض و توده بومی گیلان کاهش یافت، امّا در ارقام مهتا و شادان، با تأخیر در کاشت عملکرد دانه تا تاریخ کشت سوم روند کاهشی داشت و در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ بهمن) مجدد افزایش یافت. علت آن را می‌توان ناشی از ویژگی‌های ژنوتیپی متفاوت این دو رقم در مقایسه با سایر ارقام دانست که توانستند در کشت دیرهنگام تا حدودی از پتانسیل ژنتیکی خود بهره ببرند. ارقام باقلا دارای پتانسیل تولید بالایی در تاریخ‌های کاشت مطلوب می‌باشند، لذا در انتخاب یک رقم باقلا برای کشت در هر منطقه، عوامل زراعی متعددی از جمله زمان رسیدگی فیزیولوژیک، استحکام ساقه و

مقاومت به بیماری‌ها باید مورد توجه قرار گیرند (Al-Rifaee et al., 2004). در تطابق با نتیجه این تحقیق، جافرنوده و همکاران (Jafarnodeh et al., 2017) با ارزیابی ۵۲ ژنوتیپ باقلا نشان دادند که حداقل زمان تا مرحله گل‌دهی ۹۶ روز، حداکثر زمان ۱۲۲ روز و میانگین زمان در ژنوتیپ‌های باقلا ۹۸ روز بود و ژنوتیپ‌هایی که دیرتر وارد مرحله گل‌دهی شدند، عملکرد دانه کمتری داشتند.

تجزیه‌های تکمیلی برای بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه

تجزیه GGE بای‌پلات

در محور عمودی نمودار GGE بای‌پلات (اثر اصلی ژنوتیپ (G) + برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GE))، مؤلفه اصلی اول و در محور افقی آن، عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع نشان داده شده است (شکل ۱). توضیح اینکه، محیط در ارزیابی ارقام و ژنوتیپ‌ها می‌تواند دربرگیرنده شرایط آب‌وهوایی، خاکی و مدیریتی باشد (Roy, 2000) که در این پژوهش، تاریخ‌های کاشت مختلف به‌عنوان محیط در نظر گرفته شدند. در این نمای نمودار GGE بای‌پلات، ارقام برکت، فیض و شادان که در سمت راست محور افقی قرار داشتند، بیشترین میزان عملکرد دانه را داشتند، حال آنکه دو رقم مهتا و توده بومی گیلان در سمت چپ محور افقی، از عملکرد کمتری برخوردار بود. از طرفی دیگر، با توجه به فاصله کمتر دو رقم فیض و توده بومی گیلان به این محور، این دو ژنوتیپ تأثیر کمتری از فاکتورهای اقلیمی در تاریخ‌های کشت مختلف پذیرفتند و دارای ثبات عملکردی بیشتری در تمامی تاریخ‌های کشت مختلف بودند. در بین این دو ژنوتیپ، رقم فیض با توجه به عملکرد بالاتر آن بر توده بومی گیلان، که طی سال‌های طولانی سازگار با شرایط اقلیمی استان گیلان شده است، برتری داشت و می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای این رقم در استان گیلان در نظر گرفته شود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم فیض در مقایسه با ارقام دیگر زودتر سبز شد. همچنین این رقم در تاریخ کاشت اول و دوم از نظر صفات طول غلاف سبز، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد غلاف سبز و شاخص برداشت؛ در تاریخ کاشت سوم از نظر صفات طول غلاف و تعداد غلاف در بوته و در تاریخ کاشت چهارم از نظر طول غلاف سبز، تعداد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت، نسبت به ارقام دیگر برتر بود.



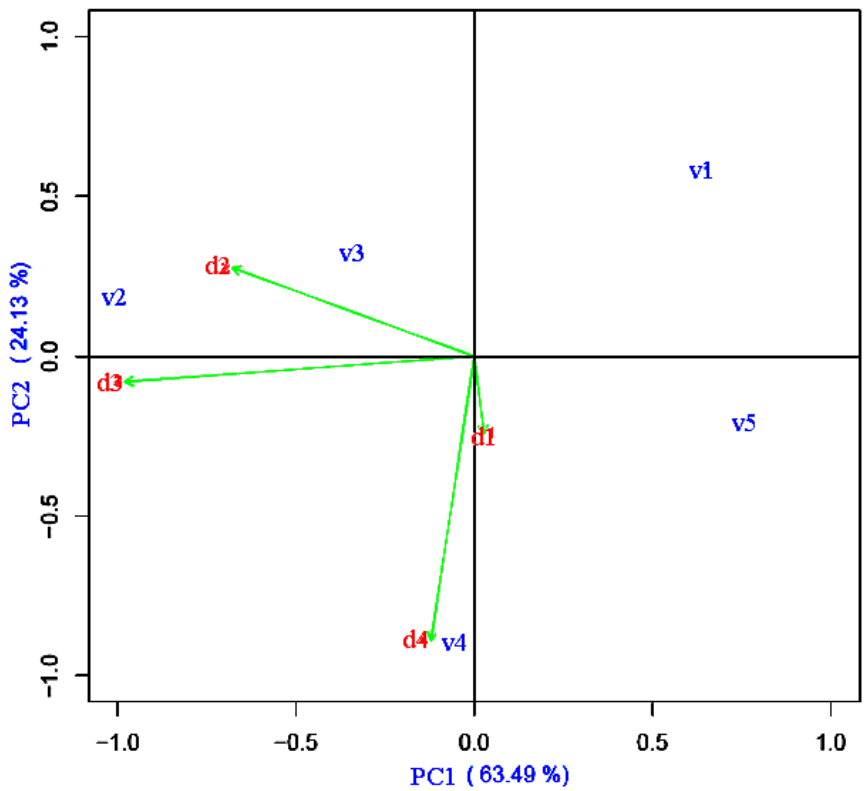
شکل ۱- نمودار GGE بای‌پلات مبتنی بر عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اول در ارقام باقلا در تاریخ‌های کاشت مختلف

Fig. 1- GGE biplot based on seed yield and first principal compoent of faba bean varieties in different sowing dates

v1: توده محلی گیلان، v2: برکت، v3: فیض، v4: شادان، v5: مهتا، d1: ۲۰ آبان، d2: ۲۰ آذر، d3: ۲۰ دی، d4: ۲۰ بهمن.

v1: Guilan landrace, v2: :Barakat, v3: Feiz, v4: Shadan, v5: Mahta, d1: 11 November, d2: 11 December, d3: 10 January, d4: 9 February.

در نمودار GGE بای‌پلات بر پایه دو مؤلفه اصلی اول و دوم (شکل ۲) که به‌ترتیب ۶۳/۴۹ و ۲۴/۱۳ درصد از تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کردند، ژنوتیپ‌های رأسی با بیشترین فاصله از مبدأ بای‌پلات، بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در برخی از تاریخ‌های کاشت یا تمام آن‌ها هستند، به‌طوری‌که ژنوتیپ رأسی برای هر بخش، بهترین ژنوتیپ برای تاریخ‌های کاشت واقع در آن بخش است، حال آنکه ژنوتیپ نزدیک به مبدأ مختصات، ژنوتیپی دارای ثبات عملکرد و مناسب برای همه تاریخ‌های کاشت است (Yan & Kang, 2002). بر این اساس، بهترین ژنوتیپ برای تاریخ کاشت اول، توده بومی گیلان؛ برای تاریخ کاشت دوم، رقم فیض؛ برای تاریخ کاشت سوم، رقم برکت و برای تاریخ کاشت چهارم، ارقام شادان و فیض بودند. بنابراین، دو ژنوتیپ اخیر، برای شرایط تأخیر در کاشت قابل توصیه‌تر هستند (شکل ۲). در این نمودار، همان‌گونه که دیده می‌شود، بین تاریخ‌های کاشت دوم و سوم و همچنین بین تاریخ‌های کاشت اول و چهارم با توجه به زاویه بسته بین آن‌ها، همبستگی بیشتری وجود دارد. البته با توجه به طول کوتاه نمودار محیط چهارم به نتایج آن باید با دیده تردید برای تمایز بین ژنوتیپ‌ها نگریست. با آنکه پژوهشی در زمینه استفاده از روش GGE بای‌پلات برای شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در تاریخ‌های کاشت مختلف انجام نشده است، پژوهشگران دیگری از این روش برای معرفی بهترین ژنوتیپ برای هر تاریخ کاشت در کلزا (Kheybari et al., 2020)، سویا (Kandil et al., 2012) و گندم (Taghizadeh et al., 2017; Elbasyoni, 2018; Saeidnia et al., 2023) استفاده کردند.



شکل ۲- نمودار GGE بای‌پلات مبتنی بر دو مؤلفه اصلی اول و دوم در ارقام باقلا در تاریخ‌های کاشت مختلف

Fig. 2- GGE biplot based on first and second principal component of faba bean varieties in different sowing dates

v1: توده محلی گیلان، v2: برکت، v3: فیض، v4: شادان، v5: مهتا، d1: 20 آبان، d2: ۲۰ آذر، d3: ۲۰ دی، d4: ۲۰ بهمن.

v1: Guilan landrace, v2: Barakat, v3: Feiz, v4: Shadan, v5: Mahta, d1: 11 November, d2: 11 December, d3: 10 January, d4: 9 February.

رگرسیون کمترین مربعات جزئی

برای ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد، از پارامترهای آب‌وهوایی شامل کمینه، بیشینه و میانگین دما، مقدار بارندگی، تبخیر و کمینه و بیشینه دمای زمین در طی هرکدام از مراحل رشدی شامل از کاشت تا سبز شدن، از سبز شدن تا گل‌دهی، از گل‌دهی تا غلاف‌دهی و از غلاف‌دهی تا رسیدگی در هرکدام از تاریخ‌های کاشت (جدول ۶) استفاده شد. برای این منظور، از رویکرد رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) بهره گرفته شد که در آن، ارتباط یک متغیر وابسته (Y) با بسیاری از متغیرهای توضیحی (متغیرهای X) ارزیابی می‌شود (Aastveit & Martens, 1986). رویکرد PLSR، رابطه بین برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GE) (یعنی، اثرهای باقی‌مانده پس از تعدیل بر روی اثرهای محیطی و ژنوتیپی) یک ماتریس متغیر وابسته (Y) را با ماتریس متغیر آب‌وهوایی بازگو می‌کند و توصیف‌کننده حساسیت متفاوت ژنوتیپ‌ها به متغیرهای محیطی و تأثیر آن بر روی برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط است (Vargas et al., 1998). براساس دو فاکتور اول PLSR، بای‌پلات برای کشف روابط بین متغیرهای توجیه‌کننده کشیده می‌شود و برهم‌کنش یک ژنوتیپ با یک محیط، با زاویه بین آن‌ها تعریف می‌شود. زاویه ۹۰ درجه نشان‌دهنده متعامد بودن کامل برهم‌کنش (عدم وجود رابطه یا به عبارتی دیگر، تأثیرگذار نبودن آن عوامل) و زاویه بزرگ‌تر از ۹۰ درجه، نشان‌دهنده برهم‌کنش منفی است. همچنین ارتباط نزدیک‌تر یک متغیر محیطی یا گروهی از متغیرها با یک ژنوتیپ خاص، نشان‌دهنده تأثیر آن متغیرها بر برهم‌کنش آن ژنوتیپ و محیط (در اینجا تاریخ کاشت) است (Kondi´c-Špika et al., 2019).

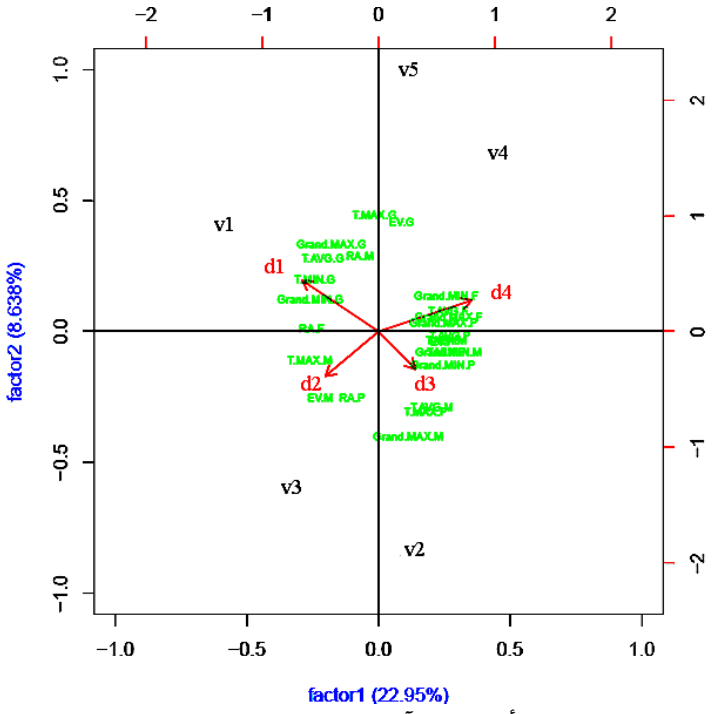
در این پژوهش، پارامترهای آب‌وهوایی در هر یک از تاریخ‌های کاشت، به‌عنوان متغیّرهای کمکی و عملکرد دانه به‌عنوان متغیر وابسته تعریف شد. متغیرهای کمکی آب‌وهوایی که بیشترین برهم‌کنش ژنوتیپ در تاریخ کاشت را در تجزیه رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) توجیه می‌کردند، از مبدأ بای‌پلات دورتر بودند و این نشان می‌دهد که آن‌ها به برهم‌کنش قوی ژنوتیپ در تاریخ کاشت برای عملکرد دانه کمک کرده‌اند. پارامترهای کمینه و بیشینه دمای زمین، میانگین، کمینه و بیشینه دما در مراحل گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی در سمت راست بای‌پلات همراه با تاریخ کاشت سوم و چهارم و ارقام مهتا، شادان و برکت واقع بودند؛ درحالی‌که پارامترهای دیگری همچون بارندگی در تمام مراحل رشد، تبخیر در مرحله رسیدگی، کمینه و بیشینه دمای زمین و میانگین، کمینه و بیشینه‌ی دما در مرحله سبز شدن، در سمت چپ به همراه دو تاریخ کاشت اول و دوم و توده بومی گیلان و رقم فیض قرار داشتند. محور نخست PLSR، با توجیه ۲۲/۹۵ درصد از تغییرات عملکرد دانه، تحت تأثیر بیشترین برهم‌کنش واریته در تاریخ کاشت، به‌روشنی ژنوتیپ‌های سمت راست را از ژنوتیپ‌های سمت چپ بای‌پلات جدا کرد (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهد که سه رقم مهتا، شادان و برکت در تاریخ کاشت‌های دیرهنگام (سوم و چهارم) بهتر عمل کردند، در حالی‌که توده بومی گیلان و رقم فیض در تاریخ کاشت‌های اول و دوم عملکرد خوبی داشتند. از آنجا که در تاریخ کاشت‌های سوم و چهارم، پارامترهای کمینه و بیشینه دمای زمین، میانگین، کمینه و بیشینه دما در مراحل گل‌دهی، غلاف‌دهی و رسیدگی مهم‌تر از پارامترهای دیگر بودند، این پارامترهای آب‌وهوایی در مراحل زایشی (از گل‌دهی تا رسیدگی) بر ارقام مهتا، شادان و برکت تأثیر بیشتری گذاشتند؛ در حالی‌که پارامترهای آب‌وهوایی در مراحل رویشی و همچنین میزان بارندگی و تبخیر در تمام مراحل رشدی تأثیر بیشتری بر رقم فیض و توده بومی گیلان، داشتند. بنابراین، می‌توان چنین فرض کرد که ژنوتیپ‌های آزمایش شده، واکنش متفاوتی به تاریخ‌های کشت مختلف داشتند و همچنین نیازهای آب‌وهوایی آن‌ها نیز متفاوت بود، به‌طوری‌که ارقام مهتا، شادان و برکت بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در آخر فصل رشد و رقم فیض و توده بومی گیلان بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در ابتدای فصل رشد و همچنین میزان بارندگی و تبخیر در کل دوره رشد بودند. نکته دیگری که می‌توان از این نمودار استنباط کرد، این است که دامنه دمایی گسترده (تفاوت دمای بالا و دمای پایین) در انتهای فصل رشد بر عملکرد رقم فیض و توده بومی گیلان تأثیر منفی گذارده است، حال آنکه دمای پایین در ابتدای فصل رشد تأثیر مثبتی بر این ارقام گذاشته است. پس می‌توان این دو رقم را نسبت به سرمای ابتدای فصل مقاوم و نسبت به سرمای انتهای فصل حساس انگاشت. درباره سه رقم دیگر وضعیت وارونه است (شکل ۳). روش رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) در ارزیابی تأثیر عوامل آب‌وهوایی بر عملکرد در گندم (Haji & Hunt, 1999Kondi´c-ˇSpika et al., 2019;) و جو (*Hordeum vulgar* L.) (Ahakpaz et al., 2021) در محیط‌های مختلف استفاده شده است. هو و همکاران (Hu et al., 2018) از رویکرد PLSR برای تشخیص فاکتورهای کنترل‌کننده عملکرد دانه گندم زمستانه استفاده کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند فاکتورهای تأثیرگذار بر عملکرد دانه را شناسایی کند. بالالیک و همکاران (Balalić et al., 2008) برهم‌کنش هیبرید × تاریخ کاشت را در آفتابگردان با استفاده از مدل‌های GGE بای‌پلات و PLSR ارزیابی کردند و سهم عوامل آب‌وهوایی را در این برهم‌کنش شناسایی کردند.

جدول ۶- پارامترهای آب‌وهوایی در فصل رشد ارقام باقلا در تاریخ‌های کاشت مختلف

Table 6- Climatic parameters during the growing season of bean varieties in different planting dates

تاریخ کاشت Sowing date	مرحله رشدی Growth stage	کمینه دما Air minimum temperatue (°C)	بیشینه دما Air maximum temperatue (°C)	میانگین دما Air average temperatue (°C)	مقدار بارندگی Precipitation (mm)	تبخیر Evaporation (mm)	کمینه دمای زمین Grand minimum temperatue (°C)	بیشینه دمای زمین Grand maximum temperatue (°C)
۲۰ آبان 11 November	کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	6.10	26.00	14.51	3.70	1.35	7.18	21.96
	سبز شدن تا گل‌دهی Emergence to flowering	-2.80	28.70	8.49	322.60	0.86	3.43	13.53
	گل‌دهی تا غلاف‌دهی Flowering to podding	0.60	33.50	12.16	0.40	1.89	4.84	19.28
	غلاف‌دهی تا رسیدگی Podding to maturity	3.00	33.60	15.43	107.10	2.44	9.32	20.78
۲۰ آذر 11 December	کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	0.90	17.00	9.40	40.50	0.55	5.12	14.14
	سبز شدن تا گل‌دهی Emergence to flowering	-2.80	33.50	8.83	249.40	1.24	2.88	14.25
	گل‌دهی تا غلاف‌دهی Flowering to podding	5.40	22.20	13.55	28.90	1.74	8.91	17.64
	غلاف‌دهی تا رسیدگی Podding to maturity	3.00	33.60	16.66	102.30	2.67	10.34	22.41
۲۰ دی 10 January	کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	-2.00	17.20	6.27	31.00	0.79	1.39	11.14
	سبز شدن تا گل‌دهی Emergence to flowering	-2.80	33.50	11.39	222.50	1.78	5.42	16.84
	گل‌دهی تا غلاف‌دهی Flowering to podding	7.80	33.60	17.01	0.00	3.20	9.79	24.45
	غلاف‌دهی تا رسیدگی Podding to maturity	8.50	30.80	17.64	78.30	2.40	11.50	22.75
۲۰ بهمن 9 February	کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	-2.80	23.70	7.74	68.70	1.48	1.10	13.93
	سبز شدن تا گل‌دهی Emergence to flowering	3.00	33.60	14.91	107.50	2.30	8.90	20.31
	گل‌دهی تا غلاف‌دهی Flowering to podding	12.20	29.50	19.45	3.90	2.96	12.43	24.43
	غلاف‌دهی تا رسیدگی Podding to maturity	8.50	26.30	17.03	106.70	2.12	12.32	21.85

تغییر تاریخ کشت گیاهان زراعی از طریق تغییر در طول روز، دما و رطوبت نسبی محیط، موجب تغییر در طول مراحل نمو فنولوژیک به‌ویژه رشد رویشی و در نهایت، تغییر طول فصل رشد آن‌ها می‌شود (Awal & Ikeda, 2002). طولانی شدن طول دور رشد رویشی، به گیاه اجازه می‌دهد که ماده خشک بیشتری را در اندام‌های خود ذخیره کرده و به‌عنوان یک منبع قوی در اختیار بذرهای در حال رشد قرار دهد. در مقابل، در کشت‌های دیرهنگام، بوته‌ها پیش از رشد رویشی کافی، وارد فاز زایشی شده و دوره نمو دانه‌ها نیز کوتاه‌تر می‌شود. در این شرایط، ذخیره غذایی بوته‌ها کم بوده و گیاهان تحت تأثیر محدودیت‌های دمایی آخر فصل رشد، فرصت کافی برای انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها را نخواهند داشت. در نتیجه، عملکرد و کیفیت بذور تولید شده به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. مدیریت تاریخ کاشت برای دسترسی به حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش در طول فصل رشد، اهمیت زیادی در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد (Rosati & Djong, 2003).



شکل ۳- بای‌پلات دو فاکتور PLSR برای نشان دادن تأثیر عوامل آب‌وهوایی ناشی از طریق تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد واریته‌های باقلا

Fig. 3- Biplot of two factors of PLSR to show the effect of climatic factors caused by different sowing dates on the yeild of faba bean varieties

v1: توده محلی گیلان، v2: برکت، v3: فیض، v4: شادان، v5: مهتا، d1: 20 آبان، d2: ۲۰ آذر، d3: ۲۰ دی، d4: ۲۰ بهمن.

v1: Guilan landrace, v2: :Barakat, v3: Feiz, v4: Shadan, v5: Mahta, d1: 11 November, d2: 11 December, d3: 10 January, d4: 9 February.

ارزیابی حسی کیفیت ژنوتیپ‌ها

از آنجا که باقلا در ایران معمولاً به‌صورت تازه‌خوری مصرف می‌شود، برای ارزیابی کیفیت طعم و مزه از ارزیابی حسی نیز استفاده می‌شود، بنابراین در پژوهش حاضر نیز چنین ارزیابی انجام شد. نتایج آزمون ناپارامتری کروسکال والیس نشان داد که در ارزیابی حسی طعم و مزه دانه‌های تر باقلای حاصل از تاریخ کاشت اول، اختلاف معنی‌داری بین ارقام وجود داشت (جدول ۷). با توجه به اینکه به مزه و طعم عالی، نمره ۵ و مزه و طعم خیلی ضعیف نمره ۱ داده شده بود، هرچقدر میانگین رتبه برای واریته‌ای کوچک‌تر باشد، نمایانگر آن است که آن رقم طعم و مزه ضعیف‌تری دارد. بر این اساس، توده بومی گیلان توسط افراد ارزیاب، کمترین و رقم فیض بالاترین رتبه طعم و مزه را دریافت کردند. در ادامه از آزمون مان- ویتنی برای مقایسه میانگین دو بدوی ارقام استفاده شد و اختلاف معنی‌دار بین توده بومی گیلان با چهار رقم دیگر و همچنین بین رقم‌های فیض و مهتا مشاهده شد (جدول ۸). پژوهشگران دیگری برای بررسی عطر و طعم باقلا از ارزیابی حسی استفاده کرده‌اند و رابطه بین روش‌های شیمیایی و حسی را با رویکردهای همچون PLSR بررسی نموده‌اند (Tuccillo et al., 2022; Akkad et al., 2023; Sharan et al., 2022; Karolkowski et al., 2022).

جدول ۷- میانگین رتبه ژنوتیپ‌ها و آزمون کروسکال والیس برای ارزیابی معنی‌داری تفاوت بین واریته‌های باقلا

Table 7- Mean rank of genotypes and Kruskal-Wallis test to evaluate the significance of differences between faba bean varieties

کای‌اسکوئر Chi-Square	28.793
درجه آزادی df	4
Asymp. Sig.	0.000
واریته Variety	**میانگین رتبه Mean rank**
توده محلی گیلان Guilan landrace	24.85
برکت Barakat	53.30
فیض Feiz	69.00
شادان Shadan	57.95
مهتا Mahta	47.40

جدول ۸- تفاوت بین ارزیابی حسی **ارقام باقلا با آزمون** مان-ویتنی

Table 8- Difference between evaluations sensory of faba bean varieties by Mann-Whitney U test

رقم Variety	**توده محلی گیلان Guilan landrace**	**برکت Barakat**	**فیض Feiz**	**شادان Shadan**
برکت Barakat	88.500**			
فیض Feiz	32.000**	138.000ns		
شادان Shadan	57.500**	184.500ns	144.000ns	
مهتا Mahta	109.000**	178.000ns	116.000*	153.00**

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مشاهده شد که با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه در دو رقم برکت و فیض و توده بومی گیلان کاهش یافت. امّا در ارقام مهتا و شادان، با تأخیر در کاشت عملکرد دانه تا تاریخ کشت سوم روند کاهشی داشت و در تاریخ کاشت چهارم (۲۰ بهمن) مجدد افزایش یافت. تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد که ارقام برکت، فیض و شادان، بیشترین میزان عملکرد دانه را داشتند، حال آنکه دو رقم مهتا و توده بومی گیلان، از عملکرد کمتری برخوردار بودند. رویکرد رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLSR) نشان داد که ارقام مهتا، شادان و برکت بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در آخر فصل رشد و رقم فیض و توده بومی گیلان بیشتر تحت تأثیر عوامل دمایی در ابتدای فصل رشد و همچنین میزان بارندگی و تبخیر در کل دوره رشد بودند. همچنین تفاوت دمای بالا و دمای پایین در انتهای فصل رشد، بر عملکرد رقم فیض و توده بومی گیلان تأثیر منفی گذاشت، حال آنکه دمای پایین در ابتدای فصل رشد تأثیر مثبتی بر این ارقام داشت. ارزیابی حسی نشان داد که رقم فیض بالاترین رتبه طعم و مزه را در بین ارقام داشت. در مجموع، با توجه به ثبات عملکرد توده بومی گیلان و رقم فیض، با توجه به عملکرد بالاتر رقم فیض نسبت به توده بومی گیلان و همچنین برتری آن در ارزیابی حسی، این رقم می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای توده بومی باقلا در استان گیلان در نظر گرفته شود. بهترین زمان کاشت در هر پنج رقم، تاریخ‌های کاشت اول (۲۰ آبان) و دوم (۲۰ آذر) بود و در صورت تأخیر در کاشت، رقم فیض با توجه به عملکرد بالاتر و ثبات بیشتر عملکرد نسبت به ارقام دیگر قابل توصیه‌تر است.

References

Aastveit, A. H., & Martens, H. (1986). ANOVA Interactions interpreted by partial least squares regression. *Biometrics, 42*, 829–844. https://doi.org/10.2307/2530697

Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Nader Mahmoudi, K., Abedi-Asl, G., Jazayeri Noshabadi, M. R., Ahakpaz, F., & Alipour, H. (2021). Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agriculture and Water Management, 245*, 106666. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106665

Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., & Homaei, M. (2007). Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14*(4), 100-110. (In Persian with English Abstract).

Ajam Norozi, H., & Vazin, F. (2011). Modelling of the faba bean (*Vicia faba* L.) sprouting reaction to temperature farm condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 39*, 179-185.

Akkad, R., Buchkob, A., Soladoyeb, P. O., Hanb, J., & Curtis, J. M. (2023). A study of the sensory attributes of flours and crackers made from sprouted and unsprouted faba beans. *Food Science and Technology, 179*, 114650. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114650

Akkad, R., Kharraz, E., Han, J., House, J. D., & Curtis, J. M. (2019). Characterisation of the volatile flavour compounds in low and high tannin faba beans (*Vicia faba* var. Minor) grown in Alberta, Canada. *Food Research International, 120*, 285–294. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.044

Al-Rifaee, M., Turk, M. A., & Tawaha, A. R. M. (2004). Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Major). *International Journal of Agriculture and Biology, 6*(2), 294-299.

Awal, M., & Ikeda, T. (2002). Effects of changes in soil temperature on seedling emergence and phonological development in field-grown stands of peanut (*Arachis hypogaea*). *Journal of Environmetl Expriment in Botany, 47*, 101-113. https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00113-7

Balalić, I., Zorić, M., & Crnobarac, J. (2008). Interpretation of interactions in sunflower agronomic trials using multiplicative models and climatic information. *Helia, 31*, 51-64. https://doi.org/10.2298/HEL0849051B

Balalić, I., Zorić, M., Branković, G., Terzić, S., & Crnobarac, J. (2012). Interpretation of hybrid× sowing date interaction for oil content and oil yield in sunflower. *Field Crops Research, 137*, 70-77.

Bazazi, K, Faraji, A., Hasandokht, M. R., & Sheikh, F. (2012). Investigation of different sowing effect on seed characteristics and seed quality of faba bean (*Vicia faba* L.). The 4th Iranian Pulse Crops Symposium, Arak, Iran. (In Persian with English Abstract)

Elbasyoni, I. S. (2018). Performance and stability of commercial wheat cultivars under terminal heat stress. *Agronomy 8*, 37. https://doi.org/10.3390/agronomy8040037

Fehr, W. R., & Cavienss, G. F. (1977). Stage of soybean development. Special Report 80, Cooperative Extension. Low State University Ameslowa. 110 p.

Haji, H. M., & Hunt, L. A. (1999). Genotype × environment interactions and underlying environmental factorsfor winter wheat in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science, 79*, 497–505.

Hashemabadi, D., & Sedaghathoor, S. (2006). Study of mutual effect of the sowing date and plant density on yield and yield components of winter *Vicia faba L*. *Journal of Agricultural Science, 1*, 135-141. (In Persian with English Abstract)

Hassanzadeh, A. K., Rahemi Karizaki, A., Nakhzari Moghadam, A., & Biabani, A. (2014). The combined effect of terminal heat the end of growth season and competition between plants on phenology, yield and components yield in faba bean. *Journal of Crop Production, 6*(4), 151-163. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.4.9.1

Hu, Y., Wei, X., Hao, M., Fu, W., Zhao, J., & Wang, Z. (2018). Partial least squares regression for determining factors controlling winter wheat yield. *Agronomy Journal, 110*, 281–292. https://doi.org/10.2134/agronj2017.02.0108

Jafarnodeh, S., Zeinali, E., Soltani, A., & Sheikh, F. (2017). The effect of seed size and seeding date on phenological, morphological and agronomic characteristics of faba bean under rainfed conditions in Gorgan. *Journal of Crops Improvement, 19*(1), 87-103. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60396

Kandil, A., Sharief, A., Morsy, A., & El-Sayed, A. M. (2012). Performance of some promising genotypes of soybean under different planting dates using biplots analysis. *Journal of Basic and Applied Sciences, 8*(2), 379-385. https://doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.22

Karolkowski, A., Martin, C., Bouzidi, E., Albouy, J. F., Levavasseur, L., Briand, L., & Salles, C. (2022). Heat treatment, cultivar and formulation modify the sensory properties and consumer acceptability of gels

containing faba bean (*Vicia faba* L. Minor) protein concentrates. *Foods, 11*, 3018. https://doi.org/10.3390/ foods11193018

Khajehpoor, M. R. (2011). Principal and Fundamental Agronomy (Third Ed.). Isfahan UniVersity of Technology Press, Iran. 658 p. (In Persian)

Khalil, S. K., Wahab, A., Rehman, A., Muhammad, F., Wahab, S., Khan, A., & Amin, R. (2010). Density and planting date influence phenological development assimilate partitioning and dry matter production of faba bean. *Pakistan Journal of Botany, 42*(6), 3831-3838.

Kheybari, M., Saifzadeh, S., Shirani-Rad, A. H., Hadidi-Masouleh, E., Zakerin, H. R., & Zeinalzadeh-Tabrizi, H. (2020). Determination of suitable planting date and stable genotype in cultivars and promising lines of rapeseed (*Brassica napus* L.) using GGE Biplot graphical analysis. *Applied Research in Field Crops, 32*(4), 91-108. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2019.121709.1295

Kiyanbakht, M., Zeinali, E., Siahmarguee, A., Sheikh, F., & Pouri, G.M. (2015). Effect of sowing date on grain yield and yield components and green pod yield of three faba bean cultivars in Gorgan climatic conditions. *Journal of Crop Production, 8*(1), 99-119. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1394.8.1.6.6

Kondi´c-ˇSpika, A., Mladenov, N., Grahovac, N., Zori´c, M., Miki´c, S., Trkulja, D., Marjanovi´c-Jeromela, A., Miladinovi´c, D., & Hristov, N. (2019). Biometric analyses of yield, oil and protein contents of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in different environments. *Agronomy, 9*(6), 270. https://doi.org/10.3390/agronomy9060270

Nakhzari Moghaddam, A., & Rahemi Karizaki, A. (2022). The effect of planting date and seed size on phenology, yield and yield components of green broad bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Crop Production, 7*(3), 217-229. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.6097

Pacheco, A., Vargas, M., & Alvarado, G. (2015). GEA-R (Genotype ×environment analysis with R for Windows) Version 3.0 - CIMMYT Research Software Dataverse - CIMMYT Dataverse Network.

Peyvast, GH. 2002. Vegetable production. Publication of Agriculture Science. 402 p. (In Persian)

Rabiee, M., & Jilani, M. (2014). Effect of the planting date, row spacing and seed rate on grain yield and protein yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Rasht. *Iranian Journal Pulses Research, 5*(1), 9-22. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1393i1.46052

Rosati, A., & Djong, T. M. (2003). Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Annual of Botany, 91*, 869-877. https://doi.org/10.1093/aob/mcg094

Roy, D. (2000). Plant breeding analysis and exploitation of variation. Alpha Science International Ltd. Pangbourne RG8 8UT, UK. p. 699.

Saeidnia, F., Taherian, M., & Nazeri, S. M. (2023). Graphical analysis of multi-environmental trials for wheat grain yield based on GGE-biplot analysis under diverse sowing dates. *BMC Plant Biology, 23*, 198. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04197-9

Sanghera, G. S., Wani, S. H., Hussain, W., & Singh, N. (2011). Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current Genomics 12*(1), 30-43. https://doi.org/10.2174/138920211794520178

Sharan, S., Zanghelini, G., Pernin, A., Descharles, N., & Zotzel, J. (2022). Flavor of fava bean (*Vicia faba* L.) ingredients: Effect of processing and application conditions on odor-perception and headspace volatile chemistry. *Food Research International*, 159, 111582. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111582

Sharifi, P. (2019). Evaluation of yield and yield components of some of faba feen (*Vicia faba* L.) genotypes at different sowing dates in Guilan province. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 15*(4), 85-105. (In Persian with English Abstract)

Sharifi, P. (2020). Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Islamic Azad University Publicatins, Rasht Branch, Iran. 288 p.

Sharifi, P., Niknami, F., & Sadeghi, S. M. (2016). Effect of plant density and planting date on yield and yield components of faba bean. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 12*(2), 83-95. (In Persian with English Abstract)

Sheikh, F., & Feizbakhsh, M. T. (2019). Beans, planting, keeping and harvesting. Agricultural Research, Education and Extension Organization Publication, Iran. 90 p.

Sheikh, F., & Jafarnode, S. (2020). Investigation of phonological development and yield of different faba bean genotypes in Gorgan. *Journal of Crop Production, 12*(4), 57-67. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.15915.2182

Taghizadeh, Z., Sabouri, H., Fallahi, H. A., Dadras, A. R., & Taghizadeh, A. (2017). Identification of best cultivars and planting date of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Gonbad Kavous region using GGE Biplot method. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 13*(3), 63-76. (In Persian with English Abstract)

Tuccillo, F., Kantanen, K., Wang, Y., Diaz, J. M. R., Pulkkinen, M., Edelmann, M., Knaapila A., Jouppila, K., Piironen, V., Lampi, A. M., Sandell, M., & Katin, K. (2022). The flavor of faba bean ingredients and extrudates: Chemical and sensory properties. *Food Research International*, *1*(62), 112036. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112036

Vargas, M., Crossa, J., Sayre, K., Reynolds, M., Ramirez, M., & Talbot, M. (1998). Interpreting genotype × environment interaction in wheat by partial least squares regression. *Crop Science*, *38*, 679–689. https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800030010x

Wajid, A., Hussain, A., Maqsood, M., Ahmad, A., & Awais, M. (2002). Influence of sowing date and irrigation levels on growth and grain yield of wheat. *Pakestan Journal of Agricultural Sciences*, *39*(1), 22-24.

Zeinali, E., Soltani, A., Khadempir, M., Tourani, M., & Sheikh, F. (2013). Studying the response of yield components, grain and green pod yield of two faba bean cultivars to Inter- row spacing in normal and late seeding dates. *Journal of Crops Improvement*, *15*(4), 195-210. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22059/jci.2013.51376

Yan, W., & Kang, M. S. (2002). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn., CRC Press LLC., Boca Raton, Florida. 271 P.

Yan, W. (2001). GGEbiplot-a Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, *93*(5), 1111-1118. https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351111x

Yan, W. 2024. Two types of biplots to integrate multi-trial and multi-trait information for genotype selection. *Crop Science*, *64*(3), 1608–1618. https://doi.org/10.1002/csc2.21231

Yazdi Samadi, B., Rezaei, A. M., & Valyzadeh, M. (1998). Statistical Designs in Agricultural Research. Tehran University Publicatins, Tehran, Iran. 764 p.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 301-315
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۱۵-۳۰۱
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86974.1085

Evaluation of the Tolerance of Promising Genotype of Bean (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) to Two-Spotted Mite (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)) in Field Conditions

Sedighe Ashtari[1*], Behrouz Asadi[2], Hamid Reza Dorri[3]

Received: 27-02-2024
Revised: 16-04-2024
Accepted: 22-04-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Ashtari, S., Asadi, B., & Dorri, H.R. (2023). Evaluation of the tolerance of promising genotype of bean (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)) in field conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 301-315. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86974.1085

Introduction
Legumes are one of the rich sources of plant protein after cereals and the second most important food source for humans. The most important biotic stresses that lead to reduced growth, performance, and sometimes the death of plants are pests, diseases, and weeds. The two-spotted spider mite, due to its extensive host range, rapid population growth, and ability to develop resistance to pesticides, is one of the key pests. Therefore, the use of tolerant varieties for damage control is considered as most reliable, healthy, and cost-effective method in an integrated management system. The feeding of this mite on bean (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) leaves leads to the formation of yellow spots on the leaf surface (Dorri et al., 2015). The activity of two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch, is mainly associated with webbing, which leads to the accumulation of dust, decreasing of the photosynthesis and increasing the pest damage (Hosseini, 2018). Therefore, due to the importance of this pest, this research was conducted to identify resistant genotypes of beans among promising bean genotypes.

Materials and Methods
For the experiments, Type 1 promising bean genotypes (KS-21216, KS-21181, KS-21538, KS-21565, KS-21563, KS-21602, KS-21500, KS-21601, KS-21600, and KS-21607), Type 2 genotypes (KS-21573, KS-21597 and KS-21606), and Type 3 genotypes (KS-21255 and KS-21574) along with a susceptible genotype Sadri were cultivated in a field at Khomein National Bean Research Station in a randomized complete block design with three replications during 2022-03. Sampling for damage assessment was carried out weekly from the third leaf stage until the end of the season. From each plot, 10 plants were selected randomly. Two leaves, one from the bottom and the other from the top of each plant, were selected and scored (on a scale of 1-6). To assess performance and its components, field cultivation was conducted under the specified conditions in two separate plots. One plot was treated with pesticide spraying, while the other remained untreated. Characteristics such as pod number per plant, seed number per pod, plant height, and weight of one hundred seeds were measured under both mite-infested and non-infested conditions. Based on the performance of the genotypes under *T. urticae* mite-infested and non-infested conditions, productivity indices, geometric mean productivity, stress tolerance, and stress sensitivity were calculated.

Results and Discussion
The yield and yield components of the genotypes under the presence and absence of *T. urticae* were evaluated. Genotype KS-21538 had the highest (2166.67 kg.ha^{-1}) and the sensitive check had the lowest performance (995.17 kg.ha^{-1}). The highest (16.24) and lowest (4.88) percentage of yield reduction were related to the sensitive check and genotype KS-21538, respectively. The highest and lowest number of pods per plant were observed in genotype KS-

1- Assistant Professor, Plant Protection Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Arak, Iran.
2- Researcher, Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center (AREEO), Arak, Iran.
3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center Research and Education Center (AREEO), Arak, Iran.
* Corresponding Author: s.ashtari@areeo.ac.ir

21538 and Sadri cultivar with 17.95 and 8.87 pods, respectively. The highest and lowest damage scores under unsprayed conditions were 3.06 and 4.56 in genotype KS-21538 and Sadri respectively. The results of calculating the indices showed that the highest efficiency index, average geometric efficiency index, and stress tolerance index were observed in genotypes KS-21538 and KS-21216, respectively, and the lowest observed in the Sadri and genotype KS-21607. The lowest stress sensitivity index was observed in genotypes KS-21538 and KS-21216, respectively, and the highest observed in Sadri and genotype KS-21607. Researchers examined how planting density and different bean varieties (Akhtar, Derakhshan, and 285) affect the population of two-spotted spider mites. They discovered that the pest density on the Akhtar variety is higher than on Derakhshan and 285. Due to the differences in the bean varieties studied in this research and the current study, the results do not show similarities. The results of this study also showed that pest density is significantly influenced by the bean variety (Karimi et al., 2019). In a study, it was revealed that the Derakhshan, Akhtar, and local Khomein (Sadri) varieties were sensitive to *T. urticae*, while Dorsa and Kousha varieties and lines 21191 and 31169 showed greater resistance to the two-spotted spider mite and also had acceptable yield compared to other varieties (Kazemi et al., 2019). In the present study, the Sadri variety was also identified as sensitive to damage by the two-spotted spider mite, which is consistent with these results.

Conclusions

According to the results genotypes KS-21538 and KS-21216 are recommended as the first and second priority for cultivation in the region due to the higher yield, lower percentage of yield reduction, and the lower damage scale.

Keywords: Damage scale, Indices, Population changes, Yield

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 301-315
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۱۵-۳۰۱
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.86974.1085

ارزیابی تحمل لاین‌های امیدبخش لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) به کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)) در شرایط مزرعه

صدیقه اشتری[1*]، بهروز اسدی[2]، حمید رضا دری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

چکیده

با توجه به اهمیت کنه تارتن دو لکه‌ای *Tetranychus urticae* در مزارع لوبیا، تحقیقی به‌منظور شناسایی لاین‌های مقاوم لوبیا از بین لاین‌های امیدبخش لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) در دست معرفی، نسبت به این آفت انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها لاین‌های تیپ یک امیدبخش لوبیا چیتی (KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۱، KS-۲۱۵۳۸، KS-۲۱۵۶۵، KS-۲۱۵۶۳، KS-۲۱۶۰۲، KS-۲۱۵۰۰، KS-۲۱۶۰۱، KS-۲۱۶۰۰ و KS-۲۱۶۰۷) و لاین‌های تیپ دو (KS-۲۱۵۷۳، KS-۲۱۵۹۷ و KS-۲۱۶۰۶) لاین‌های تیپ سه (KS-۲۱۲۵۵ و KS-۲۱۵۷۴) به همراه شاهد (حساس صدری) در مزرعه‌ای واقع در ایستگاه ملی لوبیای خمین در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و به‌مدت دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) و در دو قطعه (همراه با انجام سم‌پاشی و بدون سم‌پاشی)کشت شد. نمونه‌برداری جهت تعیین مقیاس خسارت (نمره‌دهی) از مرحله ظهور آفت به‌صورت هفتگی تا پایان فصل (اواخر شهریورماه تا اوایل مهرماه) انجام شد. از هر کرت، ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و از هر بوته نیز فقط دو برگ یکی از پایین (ارتفاع ۲۰- ۱۵ سانتی‌متر) و دیگری از بالای آن (لاین‌های ایستاده ۵۵- ۲۵، نیمه‌رونده ۸۰-۶۰ و رونده ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر) انتخاب و نمره‌دهی (براساس مقیاس ۶-۱) شدند، عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌ها در شرایط وجود کنه و عدم وجود آن مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین جمعیت کنه (تخم، مرحله فعال نابالغ و بالغ) در رقم صدری و لاین‌های KS-۲۱۶۰۷، KS-۲۱۵۷۳ و KS-۲۱۵۹۷مشاهده شد. کمترین جمعیت کنه در لاین‌های KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۴ و KS-۲۱۲۵۵ ملاحظه گردید. لاین KS-۲۱۵۳۸ بالاترین (۲۱۶۶ کیلوگرم در هکتار) و رقم صدری پایین‌ترین عملکرد (۹۹۵ کیلوگرم بر هکتار) را داشتند. بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد نیز به‌ترتیب به‌میزان ۱۶/۲۴ و ۴/۸۸ درصد مربوط به رقم صدری و لاین KS- ۲۱۵۳۸ بود. بیشترین و کمترین مقیاس خسارت (نمره‌دهی) در شرایط بدون سم‌پاشی به‌میزان ۳/۰۶ و ۴/۵۶ در لاین KS- ۲۱۵۳۸ و رقم صدری مشاهده گردید. نتایج محاسبه شاخص‌ها نشان داد که بیشترین شاخص بهره‌وری، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل به تنش (حضور کنه) به‌ترتیب در لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ و کمترین آن در رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ مشاهده شد. کمترین شاخص حساسیت به تنش (حضور کنه) به‌ترتیب در لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ و بیشترین آن در رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ مشاهده شد. بنابراین، به‌جهت عملکرد بالاتر، درصد کاهش عملکرد و مقیاس خسارت (نمره‌دهی) پایین‌تر لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ به‌ترتیب در اولویت اول و دوم جهت کشت در منطقه توصیه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات جمعیت، شاخص‌ها، عملکرد، مقیاس خسارت

مقدمه

لوبیا یکی از مهم‌ترین حبوبات بوده است و قدمتی حدود هشت هزار سال دارد، دارای ارزش غذایی زیاد و یکی از مهم‌ترین منابع سرشار از پروتئین می‌باشد. این محصول به‌دلیل قابلیت نگهداری آسان دارای اهمیت بسیار زیادی است. در ایران هر ساله بخش وسیعی از استان‌های فارس، لرستان، مرکزی،

۱- استادیار، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
۲- کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.
(*- نویسنده مسئول: s.ashtari@areeo.ac.ir)

چهارمحال و بختیاری، زنجان و آذربایجان‌شرقی زیر کشت این محصول قرار دارد. طبق آمار منتشره از طرف وزارت جهاد کشاورزی سطح زیر کشت لوبیا در ایران ۹۱۷۹۸ هکتار با متوسط عملکرد ۲۳۰۷ کیلوگرم در هکتار بوده است و سطح زیرکشت لوبیا در استان مرکزی ۱۳۴۰۱ هکتار با متوسط عملکرد ۲۷۸۶ کیلوگرم در هکتار یکی از مناطق عمده لوبیاکاری کشور محسوب می‌شود (Ahmadi et al., 2022). کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) با تغذیه از سبزینه برگ وکاهش فتوسنتز، ضمن کاهش میزان نیتروژن برگ باعث افزایش تبخیر در برگ‌های خسارت‌دیده می‌شود که در نهایت، منجر به کاهش تعداد جوانه‌های بارده، اندازه غلاف لوبیا، از بین رفتن کیفیت محصول و ارزش غذایی آن می‌شود (Saeidi & Arbabi, 2014). تغذیه این کنه از برگ‌های لوبیا منجر به ایجاد نقاط زرد در سطح برگ می‌گردد (Dorri et al., 2015). فعالیت کنه تارتن دو لکه‌ای به‌طور عمده همراه با تنیدن تار است که در مجموع، مقدار تار تنیده‌شده با افزایش تغذیه و خسارت کنه ماده ارتباط مستقیم دارد. همچنین تارهای تنیده‌شده موجب تجمع گرد و خاک و عدم دریافت نور کافی برای انجام عمل فتوسنتز در برگ می‌شود (Hosseini, 2018).

همه ساله حجم نسبتاً بالایی کنه‌کش علیه این آفت مصرف می‌شود، ولی در حال حاضر، نتیجه استفاده از این آفت-کش‌ها علی‌رغم مصرف بالا و هزینه‌های قابل توجه، چندان رضایت‌بخش نیست. به عبارت دیگر، کنه‌کش‌های شیمیایی مشکلات متعددی در زمینه سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می‌کنند. به همین دلیل، بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار روی جمعیت آفت می‌تواند مصرف این ترکیبات را کاهش داده و از صرف هزینه‌های سرسام‌آور توسط کشاورزان جلوگیری نماید (Abolfathi et al., 2018). استفاده از ارقام مقاوم یکی از مؤثرترین و مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های مبارزه با آفات، در برنامه مدیریت تلفیقی آفات است (Pedigo, 2002).

سعیدی (Saeidi, 2020) تحمل ۵۵ لاین لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) را در برابر آلودگی به *T. urticae* بررسی کرد. نتایج آن‌ها نشان داد که خطوط 'D521'، 'J633'، 'D524' و 'D532' بسیار حساس و حساس بودند، در حالی که خطوط 'L31'، 'L329'، 'L321'، 'L16'، 'B417'، 'B425'، 'L328'، 'J29'، 'J67'، 'L19'، 'D3'، 'L25' و 'L1' در برابر کنه عنکبوتی دو لکه‌ای مقاوم بودند.

سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2020) در یک پروژه تحقیقاتی در سال ۲۰۲۰ به این نتیجه رسیدند که در سال اول پروژه (۲۰۰۹)، لاین‌های L29 وL1 به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین تعداد کنه بودند. امّا در سال دوم (۲۰۱۰)، لاین D3 و L1کمترین جمعیت کنه را در سطح ۲×۲ سانتی‌متری پشت برگ داشتند. در یک پروژه تحقیقاتی که در مورد بررسی سازوکارهای مقاومت لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای انجام شد، نتیجه گرفته شد که هر دو سازوکارهای آنتی زنوز و آنتی بیوز در مقاومت ارقام لوبیای معمولی به کنه تارتن دو لکه‌ای مشاهده شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که ایزوفلاونوئیدها در تغذیه، تخم‌گذاری و رشد حشرات ایجاد اختلال می‌کنند و تریکوم‌ها در مقاومت ارقام به کنه تارتن دو لکه‌ای نقش دارند (Shoorooei et al., 2018). ژنوتیپ‌هایی با حساسیت کمتر، عملکرد دانه، تعداد غلاف، ارتفاع بوته و محتوای کلروفیل بیشتری داشتند (Shahabani et al., 2021).

بررسی مقاومت در ۱۷ رقم لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای منجر به ملاحظه تفاوت زیادی بین ارقام شد (Impe & Hance, 1993). همچنین مطالعه تأثیر ارقام مختلف لوبیا روی طول دوره زندگی کنه تارتن دو لکه‌ای مشخص کرد که بیشترین دوره فعالیت این کنه روی رقم Narma و کمترین آن روی ارقام Horoz وSenilak بوده است (Aydemir & Torus, 1992). در تحقیقی که در مورد کنه *Tetranychus desertorum* Banks در مرکز تحقیقات بین المللی گیاهان حاره[1] CIAT انجام شده است، ۱۵۰۰ لاین برای مقاومت به کنه غربال و سه لاین مقاوم در شرایط مزرعه‌ای شناسایی گردید. لاین‌های BAT ۴۱۷، BAT۸۲، BAT ۹۳ به کنه مقاوم بودند. سازوکار مقاومت بر روی یکی از این لاین‌ها BAT ۹۳، از نوع آنتی‌بیوز تشخیص داده‌شد. سازوکار آنتی‌بیوز به‌صورت کاهش تعداد تخم گذاشته شده، کاهش اندازه کنه بالغ و کوتاه‌تر شدن عمر افراد بالغ بروز می‌کند (Flexner et al., 1995). بررسی تراکم جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای روی چهار رقم مختلف لوبیا (تلاش، صدف، گلی و پرستو) در تهران نشان داد که بیشترین و کمترین تراکم جمعیت به‌ترتیب روی ارقام تلاش و پرستو مشاهده شده است. در این مطالعه مشخص گردید که نوع میزبان می‌تواند پارامترهای زیستی کنه تارتن را تحت تأثیر قرار دهد (Ahmadi et al., 2006). گیاهان با سازوکار آنتی‌بیوز ممکن است باعث کاهش بقاء، اندازه، وزن، طول عمر و تولید مثل افراد بالغ آفت شده و به‌طور غیرمستقیم با طولانی کردن دوره نشو و نمای آفت باعث افزایش دوره قرارگیری آن در معرض دشمن طبیعی شوند (Dent, 2000; Sarfaraz et al., 2006). بنابراین، با توجه

1- International center for tropical agriculture

به اهمیت لوبیا در تأمین بخشی از پروتئین مورد نیاز جوامع انسانی و سطح زیر کشت آن در ایران و همچنین با توجه به بالا بودن اهمیت اقتصادی کنه تارتن دو لکه‌ای و همچنین اندک بودن فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه مقاومت ژنتیکی به این آفت، ضرورت اجرای تحقیقات گسترده‌ای در جهت دستیابی به ارقام مقاوم جدید اجتناب‌ناپذیر است، بنابراین شناسایی لاین‌های جدید معرفی شده به لحاظ مقاومت به کنه تارتن دو لکه‌ای لوبیا یکی از اولویت‌های تحقیقاتی این محصول محسوب می‌گردد. بر همین اساس، در تحقیق حاضر لاین‌های جدید معرفی شده لوبیای موجود در کلکسیون ایستگاه تحقیقات لوبیای خمین نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند تا بتوان با بررسی میزان تحمل و تعیین شاخص‌های بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری متوسط، تحمل به تنش و حساسیت به تنش (معادله‌ها و تعاریف مربوطه در مواد و روش‌ها ذکر شده است) و در نتیجه، شناسایی لاین‌های متحمل به این آفت، در راستای کاهش اثرات سوء استفاده از سموم و تولید ارقام مقاوم گام برداشت.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها لاین‌های تیپ یک (ایستاده) امیدبخش لوبیا چیتی (KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۱، KS-۲۱۵۳۸، KS-۲۱۵۶۵، KS-۲۱۵۶۳، KS-۲۱۶۰۲، KS-۲۱۵۰۰، KS-۲۱۶۰۱، KS-۲۱۶۰۰ و KS-۲۱۶۰۷) و لاین‌های تیپ دو (نیمه‌رونده) (KS-۲۱۵۷۳، KS-۲۱۵۹۷ و KS-۲۱۶۰۶) لاین‌های تیپ سه (رونده) (KS-۲۱۲۵۵ و KS-۲۱۵۷۴) به همراه شاهد حساس صدری در مزرعه‌ای واقع در ایستگاه ملی لوبیای خمین در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و به‌مدت دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲) کشت شد. همه صفات مورد بررسی در دو گروه شامل صفات زراعی و صفات مربوط به جمعیت کنه (شمارش تعداد تخم، مرحله فعال نابالغ و بالغ) به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر لاین در چهار خط سه متری کشت شد. کشت به‌صورت جوی و پشته انجام شد و فاصله پشته‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی پشته ۱۰ سانتی‌متر بود. نمونه‌برداری جهت تعیین مقیاس خسارت (نمره‌دهی) و بررسی جمعیت از مرحله سه برگچه دوم به‌صورت هفتگی تا پایان فصل انجام شد. مراحل زندگی آفت شامل تخم و مراحل فعال کنه (مرحله فعال نابالغ و بالغ) شمارش و ثبت شد. با توجه به جابه‌جایی کنه‌های متحرک و اختلال در شمارش آن‌ها، برگ‌های جمع‌آوری شده قبل از شمارش به‌مدت یک ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند تا با بی‌حرکت شدن کنه‌ها، شمارش آن‌ها در سطح (۲×۲ سانتی‌متر سطح برگ) صحیح انجام گیرد. از هر کرت، ۱۰ بوته به تصادف انتخاب و از هر بوته نیز دو برگ یکی از پایین (ارتفاع ۲۰- ۱۵ سانتی‌متر) و دیگری از بالای آن (لاین‌های ایستاده ۵۵- ۲۵، نیمه‌رونده ۸۰-۶۰ و رونده ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متر) انتخاب و نمره‌دهی (مقیاس ۶-۱) شدند. مقیاس‌های ارزیابی خسارت کنه تارتن دو لکه‌ای در لوبیا براساس میزان آلودگی سطح برگ‌ها (که همان نقاط کلروز سطح برگ می‌باشد) شامل ۱- بدون خسارت، ۲- خسارت کمتر از پنج درصد، ۳- خسارت بین ۲۵-۵ درصد، ۴- خسارت بین ۲۶ تا ۴۵ درصد، ۵- خسارت بین ۴۶ تا ۶۵ درصد و ۶- خسارت بیش از ۶۵ درصد می‌باشد (Smith, 2005 Yousefi & Dorri, 2012).

برای بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد، کشت مزرعه‌ای با شرایط مذکور در دو قطعه جداگانه انجام گرفت که در یک قطعه سم‌پاشی انجام شد و قطعه دیگر بدون سم‌پاشی بود. صفاتی مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، ارتفاع گیاه و وزن ۱۰۰ دانه هم در شرایط آلوده به کنه و هم غیرآلوده اندازه‌گیری شدند. با توجه به عملکرد لاین‌ها در شرایط آلوده به کنه تارتن و بدون آلودگی به کنه تارتن، شاخص‌های زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص بهره‌وری:

معادله (۱) (Rosielle & Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{(Y_P + Y_S)}{2}$$

که در آن، YP: عملکرد هر لاین در شرایط بدون کنه و YS: عملکرد هر لاین در شرایط وجود کنه تارتن می‌باشد.

۲- شاخص میانگین هندسی بهره‌وری:

معادله (۲) (Fernandez, 1993)

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$$

که در آن، YP: عملکرد هر لاین در شرایط بدون کنه و YS: عملکرد هر لاین در شرایط وجود کنه تارتن می‌باشد.

۳- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1993):

معادله (۳) (Fisher & Maurer, 1978)

$$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\bar{Y}_P)^2}$$

که در آن، YP: عملکرد هر لاین در شرایط بدون کنه و YS: عملکرد هر لاین در شرایط وجود کنه تارتن می‌باشد.

۴- شاخص حساسیت به تنش:

$$SSI = \frac{1-\left(\frac{Y_S}{Y_P}\right)}{1-\left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P}\right)}$$ معادله (۴)

تجزیه و تحلیل‌های آماری

داده‌های حاصل از نمونه‌برداری توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ تجزیه واریانس شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات جمعیت مراحل مختلف کنه تارتن دو لکه‌ای در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین دو سال مورد آزمایش از نظر تعداد تخم، مرحله فعال نابالغ و بالغ، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۱). در سال اول دو اوج مشخص جمعیت در تاریخ‌های ۱۴۰۱/۵/۲۷ و ۱۴۰۱/۶/۱۰ (۱۸ آگوست ۲۰۲۲ و یک سپتامبر ۲۰۲۲) مشاهده گردید که این موضوع تقریباً برای مراحل مختلف سنی تشابه داشت. در تاریخ ۱۴۰۱/۵/۱۳ (۴ آگوست ۲۰۲۲) نیز یک اوج خفیف در مراحل مرحله فعال نابالغ و تخم کنه تارتن دو لکه‌ای مشاهده شد. در سال دوم اجرای پروژه، یک اوج مشخص در تاریخ ۱۴۰۲/۵/۱۸(۹ آگوست ۲۰۲۳) در همه مراحل مشاهده شد. اوج مشخص دوم نیز برای مراحل مرحله فعال نابالغ و تخم در تاریخ ۱۴۰۲/۶/۸ (۳۰ آگوست ۲۰۲۳) مشاهده گردید (شکل‌های ۱ و ۲). در سال اول و دوم بیشترین تعداد مراحل تخم، مرحله فعال نابالغ و بالغ کنه تارتن دو لکه‌ای روی رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ و کمترین تعداد در لاین‌های KS-۲۱۲۱۶ و KS-۲۱۱۸۴ مشاهده گردید (جداول ۱ و ۲).

مقایسه‌های میانگین تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا چیتی در شرایط آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای

نتایج تجزیه مرکب دو سال نشان داد که بین دو سال مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، امّا تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. اثر متقابل تیمار در سال در هیچ یک از تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۳).

که در آن، YP: عملکرد هر لاین در شرایط بدون کنه و YS: عملکرد هر لاین در شرایط وجود کنه تارتن می‌باشد.

ارتفاع بوته: بیشترین ارتفاع را رقم صدری و کمترین آن را لاین KS-۲۱۵۶۵ دارا بود. بین میزان ارتفاع رقم صدری و لاین KS-۲۱۵۶۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. ارتفاع لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ با لاین KS-۲۱۵۶۵ معنی‌دار نبود.

تعداد غلاف در بوته: بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب در لاین KS-۲۱۵۳۸ و رقم صدری مشاهده شد. رقم صدری با لاین KS-۲۱۶۰۷ از نظر تعداد غلاف اختلاف معنی‌داری نداشتند. بین تعداد غلاف در بوته لاین‌های KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۴ و KS-۲۱۶۰۲ با لاین KS-۲۱۵۳۸ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

تعداد دانه در غلاف: بیشترین و کمترین تعداد دانه در غلاف را لاین KS-۲۱۵۷۳ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۵۳۸، KS-۲۱۵۶۵، KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۴، KS-۲۱۶۰۰، KS-۲۱۵۰۰، KS-۲۱۶۰۲ و KS-۲۱۵۶۳) و رقم صدری (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۶۰۶، KS-۲۱۵۷۴، KS-۲۱۲۵۵، KS-۲۱۶۰۷ و KS-۲۱۶۰۱) دارا بودند.

عملکرد: مقایسه‌های میانگین نشان داد که لاین KS- ۲۱۵۳۸ بالاترین و رقم صدری پایین‌ترین عملکرد را داشتند. بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد نیز به‌ترتیب مربوط به رقم صدری و لاین KS-۲۱۵۳۸ بود. عملکرد لاین KS-۲۱۵۳۸ با لاین‌های KS-۲۱۱۸۴ و KS-۲۱۲۱۶ اختلاف معنی‌داری نداشتند. بین میزان عملکرد رقم صدری با لاین KS-۲۱۶۰۷ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

وزن ۱۰۰ دانه: مقایسه‌های میانگین نشان دادند که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را لاین KS-۲۱۵۰۰ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۱۸۴، KS-۲۱۲۵۵ و KS-۲۱۶۰۶) و کمترین آن را لاین KS-۲۱۵۶۳ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۵۹۷، KS-۲۱۶۰۱، KS-۲۱۶۰۲، KS-۲۱۵۶۳ و KS-۲۱۵۳۸) داشت.

مقیاس خسارت: رقم صدری بیشترین مقیاس خسارت و لاین KS-۲۱۵۳۸ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۵۶۳، KS-۲۱۶۰۲، KS-۲۱۲۱۶، KS-۲۱۱۸۴، KS-۲۱۶۰۶ و KS-۲۱۲۵۵)کمترین مقیاس خسارت را داشت (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه مرکب جمعیت مراحل مختلف کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) روی لاین‌های لوبیا چیتی در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 1- Compound analysis of different stages of two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) on different pinto bean lines in two years of project implementation (2022 and 2023)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تخم Egg	مرحله فعال نابالغ Immature active stage	بالغ Adult
سال Year	1	125.28 ns	82.10 ns	57.28 ns
سال × تکرار Replication × year	20	49398.94 **	8346.66 **	745.05 **
تیمار Treatment	15	21768.98 **	4432.68 **	681.12 **
تیمار × سال Treatment × year	15	81.44 ns	42.19 ns	42.63 ns
خطا Error	351	847.22	267.78	29.16
ضریب تغییرات CV	-	51.97	77.13	77.71

ns: غیرمعنی‌دار * و :** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns: Non-significant; * and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین تجزیه مرکب جمعیت مراحل مختلف کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) روی لاین‌های لوبیا چیتی در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 2- Mean comparison of compound analysis of different stages of two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) on different pinto bean lines in two in two years (2022 and 2023)

ردیف Row	لاین و رقم Genotypes and cultivar	تخم Egg	مرحله فعال نابالغ Immature active stage	بالغ Adult
1	KS-21216	23.77^{f*}	6.04^{g}	1.68^{f}
2	KS-21184	27.00^{fg}	6.95^{g}	2.18^{f}
3	KS-21538	39.27^{ef}	12.77^{efg}	4.04^{f}
4	KS-21565	44.91^{ef}	17.50^{defg}	4.41^{f}
5	KS-21563	35.86^{ef}	11.64^{efg}	4.04^{f}
6	KS-21602	31.64^{ef}	9.14^{fg}	3.23^{f}
7	KS-21500	55.50^{de}	23.68^{cde}	6.54^{def}
8	KS-21601	51.59^{de}	21.68^{cdef}	5.50^{ef}
9	KS-21600	43.27^{ef}	17.77^{defg}	4.36^{f}
10	KS-21607	107.04^{ab}	45.45^{ab}	15.50^{b}
11	KS-21573	88.00^{bc}	35.14^{bc}	12.18^{bc}
12	KS-21597	82.09^{c}	32.5^{bc}	10.45^{cd}
13	KS-21255	29.68^{ef}	8.00^{fg}	2.54^{f}
14	KS-21574	74.68^{cd}	29.59^{cd}	9.41^{cde}
15	KS-21606	31.95^{ef}	9.45^{efg}	3.41^{f}
16	Sadri	129.82^{a}	52.14^{a}	21.68^{a}

* عدد به‌دست آمده برای هر ستون برابر با میانگین تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. میانگین‌هایی که با حروف متفاوت مشخص گردیده‌اند، اختلاف معنی‌دار دارند.

* The number obtained for each column is equal mean±SE. means in a column followed by different letters are significantly different.

جدول ۳- تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا چیتی در شرایط آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 3- Compound analysis of yield and its components of different pinto bean lines in condition of infestation to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) in two years (2022 and 2023)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Height of plant (cm)	غلاف در گیاه Pod per plant	دانه در غلاف Seed.pod^{-1}	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	مقیاس خسارت Damage scale
سال Year	1	12.83 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.005 ^{ns}	907.43 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.07 ^{ns}
سال × تکرار Replication × year	4	36.21 ^{ns}	1.77 ^{ns}	0.03 ^{ns}	19749.53 ^{ns}	6.50 ^{ns}	0.07 ^{ns}
تیمار Treatment	15	3254.23 **	51.83 **	0.58 **	945007.60 **	162.12 **	0.86 **
تیمار × سال Treatment × year	15	1.34 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1564.25 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.04 ^{ns}
خطا Error	60	32.17	1.28	0.10	14361.99	3.85	0.06
ضریب تغییرات CV	-	10.02	8.53	10.73	8.21	5.67	6.88

ns: غیرمعنی‌دار * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns :Non-significant; * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۴- تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا چیتی در شرایط آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای(*Tetranychus urticae* Koch) در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 4- Mean comparison of compound analysis yield and its components of different pinto bean lines in condition of infestation to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) in two years (2022 and 2023)

ردیف Row	ژنوتیپ و رقم Genotype and cultivar	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Height of plant (cm)	غلاف در گیاه Pod per plant	دانه در غلاف Seed.pod^{-1}	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	درصد کاهش عملکرد Yield reduction (%)	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	مقیاس خسارت Damage scale
1	KS-21216	31.33^{fg*}	17.46^{a}	2.96^{abcde}	2027.72^{a}	5.31	38.13^{bcd}	3.14^{gh}
2	KS-21184	41.48^{e}	17.06^{a}	2.97^{abcde}	1998.33^{a}	6.03	39.62^{abc}	3.20^{fgh}
3	KS-21538	29.45^{fg}	17.95^{a}	3.03^{abcde}	2060.95^{a}	4.88	28.68^{h}	3.06^{h}
4	KS-21565	26.38^{g}	12.56^{cd}	3.41^{ab}	1460.03^{c}	6.54	35.23^{def}	3.49^{cdefg}
5	KS-21563	36.87^{ef}	13.92^{bc}	3.33^{abc}	1518.40^{c}	6.46	27.53^{h}	3.43^{defgh}
6	KS-21602	52.67^{d}	16.32^{a}	3.00^{abcde}	1727.45^{b}	6.23	28.57^{h}	3.33^{efgh}
7	KS-21500	40.62^{e}	11.34^{def}	3.33^{abc}	1348.30^{c}	7.65	42.47^{a}	3.63^{bcde}
8	KS-21601	50.83^{d}	11.85^{de}	2.68^{ef}	1358.52^{c}	7.10	27.98^{h}	3.58^{cdef}
9	KS-21600	53.08^{d}	12.33^{cde}	3.29^{abcd}	1433.17^{c}	6.64	37.65^{bcde}	3.51^{cdefg}
10	KS-21607	41.42^{e}	9.88^{fg}	2.75^{def}	938.52^{e}	11.67	34.20^{fg}	4.02^{b}
11	KS-21573	78.10^{bc}	10.52^{efg}	3.47^{a}	1032.83^{d}	9.09	37.27^{cdef}	3.91^{c}
12	KS-21597	85.25^{b}	10.92^{def}	3.22^{abcde}	1052.90^{d}	8.44	28.31^{h}	3.76^{bcd}
13	KS-21255	81.77^{bc}	16.26^{a}	2.82^{cdef}	1748.90^{b}	6.18	40.58^{ab}	3.28^{efgh}
14	KS-21574	86.33^{b}	11.15^{def}	2.86^{bcdef}	1095.87^{d}	7.97	31.73^{g}	3.69^{bcde}
15	KS-21606	74.00^{c}	14.49^{b}	2.84^{bcdef}	1709.38^{b}	6.28	40.93^{ab}	3.36^{defgh}
16	Sadri	96.33^{a}	8.87^{g}	2.33^{f}	833.53^{e}	16.24	34.57^{efg}	4.56^{a}

* عدد به‌دست آمده برای هر ستون برابر با میانگین تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. میانگین‌هایی که با حروف متفاوت مشخص گردیده‌اند، در سطح پنج درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌دار دارند.

* The number obtained for each column is equal mean±SE. means in a column followed by different letters are significantly different using LSD test.

مقایسه‌های میانگین تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا در شرایط کنترل کنه تارتن دو لکه‌ای (سم‌پاشی)

نتایج تجزیه مرکب دو سال نشان داد که بین دو سال مورد آزمایش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. اثر متقابل تیمار در سال در هیچ یک از تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۵).

ارتفاع بوته: بیشترین ارتفاع را رقم صدری و کمترین آن را لاین KS-۲۱۵۶۵ دارا بود. بین میزان ارتفاع، رقم صدری و لاین KS-۲۱۵۶۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. میزان ارتفاع لاین‌های KS-۲۱۲۱۶ و KS-۲۱۵۳۸ با لاین KS-۲۱۵۶۵ اختلاف معنی‌داری نداشتند.

تعداد غلاف در بوته: بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته به‌ترتیب در لاین KS-۲۱۵۳۸ و رقم صدری مشاهده شد. لاین‌های KS-۲۱۲۱۶ و KS-۲۱۱۸۴ با لاین KS-۲۱۵۳۸ اختلاف معنی‌داری نداشتند. بین تعداد غلاف در بوته رقم صدری با لاین‌های KS-۲۱۵۷۴، KS-۲۱۵۹۷، KS-۲۱۵۷۳ و KS-۲۱۶۰۷ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

تعداد دانه در غلاف: بیشترین و کمترین تعداد دانه در غلاف را لاین KS-۲۱۵۷۳ و رقم صدری دارا بودند. لاین‌های KS-۲۱۲۵۵ و KS-۲۱۶۰۱ با رقم صدری اختلاف معنی‌داری نداشتند. بین تعداد دانه در غلاف لاین‌های KS-۲۱۵۰۰ و KS-۲۱۵۶۵ با لاین KS- ۲۱۵۷۳ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

عملکرد: مقایسه‌های میانگین نشان داد که لاین KS-۲۱۵۳۸ بالاترین و رقم صدری پایین‌ترین عملکرد را داشتند. رقم صدری با لاین‌های KS-۲۱۵۹۷، KS-۲۱۵۷۳ و KS-۲۱۶۰۷ و همچنین لاین KS-۲۱۵۳۸ نیز با لاین‌های KS-۲۱۲۱۶ و KS-۲۱۱۸۴ اختلاف معنی‌داری نداشتند.

وزن ۱۰۰ دانه: مقایسه‌های میانگین نشان دادند که بیشترین وزن ۱۰۰ دانه را لاین KS-۲۱۵۰۰ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین‌های KS-۲۱۲۵۵ و KS-۲۱۶۰۶) و کمترین آن را لاین KS-۲۱۵۶۳ (بدون اختلاف معنی‌دار با لاین KS-۲۱۶۰۷) داشت.

مقیاس خسارت: رقم صدری بیشترین مقیاس خسارت و لاین KS-۲۱۵۳۸ کمترین مقیاس خسارت را داشت. (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا چیتی در شرایط بدون آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 5- Compound analysis yield and its components of different pinto bean lines in condition without infestation to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) in two years (2022 and 2023)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Height of plant (cm)	غلاف در گیاه Pod per plant	دانه در غلاف Seed.pod^{-1}	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight (g)	مقیاس خسارت Damage scale
سال Year	1	0.72 ns	0.06 ns	0.001 ns	346.37 ns	0.01 ns	0.002 ns
سال × تکرار Replication × year	4	49.25 ns	1.56 ns	0.005 ns	56862.11 **	7.48 ns	0.70 **
تیمار Treatment	15	3380.80 **	48.93 **	0.57 **	936746.14 **	193.38 **	0.51 **
تیمار × سال Treatment × year	15	0.21 ns	0.17 ns	0.01 ns	1192.69 ns	0.10 ns	0.004 ns
خطا Error	60	30.06	2.48	0.09	11617.57	7.35	0.007
ضریب تغییرات CV	-	9.41	10.99	8.97	6.86	7.23	4.10

ns: غیرمعنی‌دار * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns :Non-significant; * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۶- مقایسه میانگین تجزیه مرکب عملکرد و اجزاء عملکرد لاین‌های لوبیا چیتی در شرایط بدون آلودگی به کنه تارتن دو لکه‌ای (*Tetranychus urticae* Koch) در دو سال (۱۴۰۱ و ۱۴۰۲)

Table 6- Mean comparison of compound analysis yield and its components of different pinto bean lines in condition of without infestation to two-spotted mite (*Tetranychus urticae* Koch) in two years (2022 and 2023)

ردیف Row	ژنوتیپ و رقم Genotype and cultivar	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Height of plant (cm)	غلاف در گیاه Pod per plant	دانه در غلاف Seed.pod^{-1}	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) 100-seed weight(g)	مقیاس خسارت Damage scale
1	KS-21216	33.25^{fgh*}	18.42^{a}	3.13^{cdef}	2141.50^{a}	40.30^{bc}	1.81^{c}
2	KS-21184	43.33^{e}	18.17^{a}	3.16^{bcdef}	2126.67^{a}	42.17^{abc}	1.83^{c}
3	KS-21538	30.92^{gh}	18.85^{a}	3.17^{bcdef}	2166.67^{a}	30.18^{ef}	1.61^{d}
4	KS-21565	27.25^{h}	13.43^{cde}	3.65^{ab}	1562.17^{c}	37.68^{d}	2.00^{b}
5	KS-21563	38.08^{ef}	14.88^{bcd}	3.55^{abcd}	1623.33^{c}	29.40^{f}	1.98^{b}
6	KS-21602	54.08^{d}	17.40^{b}	3.21^{bcdef}	1842.33^{b}	30.42^{ef}	1.96^{b}
7	KS-21500	41.50^{ef}	12.28^{def}	3.62^{abc}	1460.00^{c}	45.88^{a}	2.02^{b}
8	KS-21601	51.82^{d}	12.77^{def}	2.89^{f}	1462.33^{c}	30.18^{ef}	2.01^{b}
9	KS-21600	54.73^{d}	13.23^{cdef}	3.54^{abcde}	1535.17^{c}	40.37^{bc}	1.98^{b}
10	KS-21607	42.50^{e}	11.18^{ef}	3.11^{cdef}	1062.50^{de}	38.67^{d}	2.07^{b}
11	KS-21573	79.67^{bc}	11.58^{ef}	3.84^{a}	1136.17^{de}	40.98^{bc}	2.05^{b}
12	KS-21597	87.08^{b}	11.92^{ef}	3.50^{abcde}	1150.00de	30.90^{ef}	2.03^{b}
13	KS-21255	83.92^{bc}	17.25^{b}	3.02^{ef}	1864.17^{b}	43.58^{ab}	1.93^{c}
14	KS-21574	88.17^{b}	12.12^{ef}	3.10^{cdef}	1190.81^{d}	34.45^{de}	2.03^{b}
15	KS-21606	76.40^{c}	15.50^{bc}	3.03^{def}	1823.97^{b}	43.73^{ab}	1.96^{b}
16	Sadri	99.68^{a}	10.58^{f}	2.76^{f}	995.17^{e}	40.70^{bc}	3.02^{a}

* عدد به‌دست آمده برای هر ستون برابر با میانگین تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد. میانگین‌هایی که با حروف متفاوت مشخص گردیده‌اند، سطح اختلاف معنی دار دارند.

* The number obtained for each column is equal mean±SE. means in a columns followed by different letters are significantly different using LSD test.

شاخص‌های محاسبه شده

نتایج محاسبه شاخص‌ها نشان‌داد که بیشترین شاخص بهره‌وری، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل به تنش به‌ترتیب در لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ و کمترین آن در رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ مشاهده شد. کمترین شاخص حساسیت به تنش به‌ترتیب در لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ و بیشترین آن در رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ مشاهده شد (جدول ۷). این نتایج بیانگر این مطلب هستند که هرچه شاخص‌های شاخص بهره‌وری، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری متوسط و شاخص تحمل به تنش در لاین یا رقمی بیشتر باشد، نشان از تحمل بالای آن رقم به شرایط تنش (حضور کنه تارتن دو لکه‌ای) دارد و برعکس، هرچه شاخص حساسیت به تنش کمتر باشد، باز هم نشان‌دهنده متحمل بودن لاین یا رقم می‌باشد. نهایتاً نتایج این جدول نشان داد که لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ متحمل و رقم صدری و لاین KS-۲۱۶۰۷ نسبت به خسارت کنه تارتن حساس بودند.

استفاده از کنه‌کش‌های شیمیایی گذشته از مشکلات متعددی که در زمینه سلامت انسان و محیط زیست ایجاد می‌کند، توانایی چندانی در کنترل کنه تارتن دو لکه‌ای نداشته است. به همین دلیل، بررسی عوامل مختلف تأثیرگذار روی جمعیت این آفت، از جمله استفاده از ارقام مقاوم می‌تواند مصرف این ترکیبات را کاهش داده و از صرف هزینه‌های سرسام‌آور توسط کشاورزان جلوگیری کند (Abolfathi et al., 2018). استفاده از ارقام مقاوم یکی از مؤثرترین و مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های مبارزه با آفات، در برنامه مدیریت تلفیقی آفات است (Ashtari et al., 2019).

جدول ۷- مقادیر محاسبه شده شاخص‌ها براساس معادله‌های مربوطه

Table 7- The calculated values of indexes based on the relevant formulas

ردیف Row	ژنوتیپ و رقم Genotype and cultivar	شاخص بهره‌وری Productivity index	شاخص میانگین هندسی بهره وری Geometric mean productivity index	شاخص تحمل به تنش Stress tolerance index	شاخص حساسیت به تنش Stress sensitivity index
1	KS-21216	2084.61	2083.83	1.76	0.74
2	KS-21184	2062.50	2061.50	1.72	0.84
3	KS-21538	2113.81	2113.14	1.81	0.68
4	KS-21565	1511.10	1510.23	0.92	0.91
5	KS-21563	1570.86	1569.98	0.99	0.90
6	KS-21602	1784.89	1783.96	1.29	0.87
7	KS-21500	1404.15	1403.03	0.79	1.07
8	KS-21601	1410.42	1409.47	0.80	0.99
9	KS-21600	1484.17	1483.29	0.89	0.93
10	KS-21607	1000.51	998.58	0.40	1.63
11	KS-21573	1084.50	1083.26	0.47	1.27
12	KS-21597	1101.45	1100.37	0.49	1.18
13	KS-21255	1806.53	1805.61	1.32	0.86
14	KS-21574	1143.34	1142.35	0.53	1.11
15	KS-21606	1766.67	1765.74	1.26	0.88
16	Sadri	914.35	910.77	0.33	2.27

در بررسی مقاومت پنج رقم تجاری لوبیا چیتی به کنه تارتن در لردگان مشخص شد که رقم تلاش متحمل‌تر از بقیه بوده است (Saeidi & Arbabi, 2007). با توجه به اینکه لاین‌ها و رقم مورد مطالعه در تحقیق حاضر با ارقام مورد مطالعه در تحقیق اخیر شباهت ندارد، لذا نتایج حاصله نیز با یکدیگر تشابهی ندارند. محققان در مورد بررسی تأثیر تراکم کشت و ارقام لوبیا (اختر، درخشان و ۲۸۵) بر جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای به این نتیجه رسیدند که تراکم این آفت روی رقم اختر بیشتر از درخشان و ۲۸۵ بود که به‌دلیل تفاوت درارقام مورد مطالعه، نتایج مربوطه شباهتی با نتایج این تحقیق ندارد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که تراکم آفت به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر رقم لوبیا قرار می‌گیرد (Karimi et al., 2019). در پژوهشی مشخص شد که رقم‌های درخشان، اختر و محلی‌خمین (صدری) به‌عنوان ارقام حساس به کنه دو لکه‌ای و رقم درسا و لاین ۲۱۱۹۱ و رقم کوشا و لاین ۳۱۱۶۹ مقاومت بیشتری به کنه تارتن دو لکه‌ای داشتند و همچنین نسبت به سایر ارقام، عملکرد قابل قبولی نیز داشتند (Kazemi et al., 2019). در تحقیق حاضر نیز رقم صدری نسبت به خسارت کنه تارتن، حساس تشخیص داده شد که با این نتایج تشابه دارد. اشتری و همکاران (Ashtari et al., 2019) در بررسی تحمل چند لاین امیدبخش لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای در شرایط گلخانه و مزرعه، محققان به این نتیجه رسیدند که لاین ۳۱۲۸۶ و رقم دادفر شاخص مقاومت بالایی داشتند. بنابراین، رقم دادفر به‌دلیل عملکرد بیشتر در اولویت اول و لاین ۳۱۲۸۶ در اولویت دوم جهت کشت در منطقه توصیه شدند. لاین‌های مورد استفاده در این آزمایش و تحقیق مذکور با یکدیگر تشابهی ندارند و قابل مقایسه نمی‌باشند. در یک طرح تحقیقاتی که توسط محیسنی و همکاران (Mohiseni et al., 2016) در مورد تأثیر آرایش کاشت و تراکم بوته ارقام مختلف بر جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای و عملکرد ارقام لوبیا انجام شد، نتیجه گرفته شد که در ارقام ایستا مثل اختر به‌دلیل تیپ رشدی بوته و تهویه بیشتر، میزان رطوبت کمتر شده و نسبت به رقم گلی (رونده) که رطوبت بیشتری بین بوته‌ها وجود دارد، نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای حساس‌تر است. نتایج این مطالعه با تحقیق حاضر، قابل مقایسه نمی‌باشد. بررسی مقاومت در ۱۷ رقم لوبیا به کنه تارتن دو لکه‌ای منجر به ملاحظه تفاوت زیادی بین ارقام شد (Impe & Hance, 1993). همچنین مطالعه تأثیر ارقام مختلف لوبیا روی طول دوره زندگی کنه تارتن دو لکه‌ای در ترکیه مشخص کرد که بیشترین دوره فعالیت این کنه روی رقم Narmaو کمترین آن روی ارقام Horoz و Senilak بوده است (Aydemir & Torus, 1992). نتایج این تحقیق نیز به‌دلیل تفاوت در لاین‌ها و ارقام مورد استفاده با نتایج تحقیق حاضر متفاوت می‌باشد. بررسی تراکم جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای روی چهار رقم مختلف لوبیا (تلاش، صدف، گلی و پرستو) در تهران نشان داد که بیشترین و کمترین تراکم جمعیت به‌ترتیب روی ارقام تلاش و پرستو مشاهده شده است، در این مطالعه مشخص گردید که نوع میزبان می‌تواند پارامترهای زیستی کنه تارتن را تحت تأثیر قرار دهد (Ahmadi et al., 2006). به‌دلیل

تفاوت در لاین‌های مورد مطالعه در این تحقیق، نتایج حاصل با پژوهش‌های فوق تشابهی ندارند.

محققان نشان دادند که تیپ رشدی بوته‌ها تأثیر قابل توجهی بر مقاومت ارقام به کنه تارتن دارد. تحقیقات نشان دادند که واریته‌های مختلف لوبیای معمولی دارای ترکیبات ضدتغذیه از قبیل فیتیک اسید، لکتین و مهارکننده تریپسین هستند که می‌توانند روی زیست‌شناسی آفات گیاهخوار تأثیر داشته‌باشند (Mohiseni & Astraki, 2016). بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان این عوامل ضدرشد در لاین‌های مختلف لوبیا با هم متفاوت است (Rui et al., 2016). محققان دیگر متابولیت‌های ثانویه دیگری مانند آلفا آمیلازها و یا فلاوینوئیدها را به‌عنوان عامل مقاومت در ارقام و لاین‌های لوبیا ذکر نموده‌اند (Lima et al., 2014). در بررسی مقاومت چند رقم و لاین نسبت به آفات لوبیا، آلابی و همکاران (Alabi et al., 2004) به این نتیجه رسیدند که مرگ‌ومیر آفات روی ارقام مقاوم به‌دلیل وجود عوامل ضدتغذیه‌ای بیشتر است. دریک پروژه تحقیقاتی که توسط سعیدی و صالحی (Saeidi & Salehi, 2014) در مورد بررسی تحمل چند رقم و لاین لوبیا نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای انجام شد، نتیجه گرفته شد که لاین COS۱۶ و ۱۱۸۱۶ متحمل‌تر از محلی‌خمین و لردگان بودند که با نتایج تحقیق حاضر به‌دلیل تفاوت در ارقام و لاین‌های مورد مطالعه مطابقت ندارد. در تحقیق دیگری، ۲۳ لاین لوبیا هم در سطح مزرعه و هم گلخانه ارزیابی و Black ۱۱۷۰ وBlack ۱۱۱۵ به‌عنوان مقاوم‌ترین ارقام انتخاب شدند (Tahmasebi et al., 2010) که به‌دلیل تفاوت در رقم لوبیای مورد استفاده در این تحقیق، نتایج حاصله با نتایج این تحقیق مشابه نمی‌باشد. برادران و همکاران (Baradaran et al., 2004) در تحقیقی، تأثیر تغذیه و خسارت کنه تارتن دو لکه‌ای را روی نه رقم بادمجان (*Solanum melongena* Linnaeus) بررسی کردند نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام ۹۰۵ امامی و قلمی ورامین با ۶۹/۴ و ۱۲/۹ درصد دارای بیشترین و کمترین علائم خسارت بودند. به‌دلیل تفاوت در محصول مورد مطالعه در این تحقیق و تحقیق حاضر، نتایج متفاوت می‌باشند. سیرجانی و اربابی (Sirjani & Arbabi, 2004) در تحقیقی، آلودگی ارقام در دست معرفی پنبه نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای در کاشمر را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که خسارت و تغذیه کنه تأثیر مستقیمی بر میزان کاهش کلروفیل برگ‌های پنبه دارد و از میان شش رقم پنبه (*Gossypium herbaceum* Linnaeus) مورد بررسی، رقم شماره ۴۳۲۵۹ حساس‌ترین و جوکوروا متحمل‌ترین ارقام نسبت به جمعیت کنه تارتن دو لکه‌ای پنبه معرفی‌شد. نتایج تحقیق مذکور از این نظر که تغذیه کنه تارتن دو لکه‌ای منجر به کاهش کلروفیل برگ می‌شود، با این تحقیق مشابه می‌باشد، ولی به‌دلیل تفاوت در محصول مورد آزمایش، از نظر حساسیت و مقاومت ارقام تشابهی ندارند. در تحقیقی در ایستگاه ملی لوبیای خمین از مجموع ۴۹ لاین لوبیای مورد ارزیابی، دو لاین لوبیا چیتی، دو لاین لوبیا سفید و چهار لاین لوبیا قرمز به‌عنوان لاین‌های مقاوم به کنه تارتن دو لکه‌ای شناسایی‌شدند (Dorri & Ardeh, 1999). در یک مطالعه، ۱۷ رقم پنبه برای مقاومت به کنه تارتن دو لکه‌ای در شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفتند که در پایان، رقمRavi به‌عنوان رقم مقاوم به این کنه معرفی شد (Knapp et al., 2003). در یک آزمایش مزرعه‌ای که به‌منظور شناسایی ارقام مقاوم چغندرقند (*Beta vulgaris* Linnaeus) به کنه تارتن دو لکه‌ای توسط دوار و همکاران (Dewar et al., 2000) انجام‌شد، وجود درجاتی از مقاومت در رقم Robert گزارش‌شد. نتایج این دو مطالعه به‌دلیل تفاوت در محصول مورد آزمایش به نتایج تحقیق حاضر مشابه نمی‌باشد. در بررسی مقاومت پنج رقم تجاری لوبیا چیتی به کنه تارتن در لردگان مشخص شد که رقم تلاش متحمل‌تر از بقیه بوده است (Saeidi & Arbabi, 2006). با توجه به اینکه در تحقیق حاضر از رقم تلاش استفاده نشده است، لذا نتایج این مطالعه با تحقیق حاضر قابل مقایسه نمی‌باشند.

نتایج پژوهش محققان نشان داد که ارقام لوبیای دهقان و صدف نسبت به لاین‌های دانشکده، Jules، Goynok 98، Kara Casehir و G-11867 مقاوم بودند (Mohammadi et al., 2012). طهماسبی (Tahmasebi, 2013) با بررسی مقاومت چند لاین لوبیا نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای نتیجه گرفتند که لاین‌های ۲۱۴۷۹، ۳۱۱۶۷، ۱۱۸۶ سیاه و ۱۱۱۴ چیتی به کنه تارتن دو لکه‌ای مقاوم بودند. یوسفی و دری (Yousefi & Dorri, 2012) واکنش چند لاین لوبیا چیتی را نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای مورد بررسی قرار دادند. در یک پروژه ترویجی که در مزرعه زارع انجام شد، میزان تحمل ارقام کوشا، غفار و صدری نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای در دو منطقه اراک و خمین مورد ارزیابی قرارگرفت. نتایج نشان داد که ارقام غفار و کوشا با توجه به مقیاس خسارت کمتر و همچنین درصد کاهش عملکرد کمتر از تحمل بیشتری نسبت به رقم صدری برخوردار بودند. بیشترین عملکرد در منطقه اراک و خمین به‌ترتیب به‌میزان ۳۷۵۰ و ۳۷۲۵ کیلوگرم در هکتار در رقم غفار و کمترین آن به‌ترتیب به‌میزان ۳۴۵۸/۳ و ۳۴۲۶/۸۰ کیلوگرم در هکتار در رقم صدری مشاهده شد. از طرفی،

کمترین درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد در منطقه اراک و خمین به‌ترتیب به‌میزان چهار و شش درصد در رقم غفار و بیشترین درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد به‌ترتیب در دو منطقه به‌میزان ۱۶ و ۲۰ درصد در رقم صدری مشاهده گردید (Ashtari & Ghadiri, 2019). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیق حاضر در مورد رقم صدری به لحاظ مقیاس خسارت بیشتر و درصد کاهش عملکرد بالاتر مشابه می‌باشد. در یک تحقیق، ژنوتیپ *Solanum sisymbriifolium* بادمجان متحمل‌ترین ژنوتیپ به کنه تارتن دو لکه‌ای نسبت به دو ژنوتیپ Topan 374 و Kemer شناسایی شد (Kirisik et al., 2021). براساس مشاهدات یک پروژه تحقیقاتی، تمامی ارقام لوبیای مورد آزمایش به چهار گروه متحمل، نیمه‌متحمل، نیمه‌حساس و حساس نسبت به کنه تارتن دو لکه‌ای گروه‌بندی شدند. همچنین ژنوتیپ‌های اختر و ۴۰۰-۰۷۱-۶۵ لوبیا به‌عنوان ارقام حساس در برابر کنه تارتن دو لکه‌ای و ارقام ۶۵-۹۸-۰۷۱، ۶۵-۰۶۲-۱۰۷ و ناز به‌عنوان ارقام متحمل در آزمایش قرارگرفتند، همچنین دو گروه میانی به‌عنوان ژنوتیپ‌های نیمه‌متحمل و نیمه‌حساس نیز وجود داشت. به‌ترتیب درسا و KS-41128 نیمه‌متحمل و لاین‌های ۴۱۰-۶۵-۰۷۱، ۶۵-۰۷۱-۳۰۶ و ۴۰۵-۰۷۱-۶۵ در گروه نیمه-حساس قرارگرفتند (Taleei et al., 2022).

نتیجه‌گیری

از آنجا که استفاده از کنه‌کش‌ها، مشکلاتی از قبیل بروز مقاومت آفات، افزایش جمعیت آفات ثانویه، مسمومیت‌های مزمن برای انسان و اثرات سوء زیست محیطی را به دنبال دارد، بنابراین استفاده از ارقام مقاوم و متحمل مصرف کنه‌کش‌ها را کاهش داده و از خطرات احتمالی آن‌ها جلوگیری می‌کند. نتایج این پروژه نشان داد که به‌جهت عملکرد بالاتر، درصد کاهش عملکرد و مقیاس خسارت پایین‌تر، لاین‌های KS-۲۱۵۳۸ و KS-۲۱۲۱۶ به‌ترتیب در اولویت اول و دوم جهت کشت در منطقه توصیه می‌شوند.

References

Abolfathi, N., Kocheili, F., & Mohiseni, A. (2018). Investigating the most suitable sampling unit and space for the two-spotted tartan mite population *Tetranychus urticae* Koch in common bean fields *Phaseolus vulgaris* L. in the north of Lorestan province. *Plant Protection*, *34*(2), 33-45.

Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2022). Agricultural statistics, the first volume of crops. Ministry of Jihad Agriculture, Bureau of Statistics and Information Technology. 99 p.

Ahmadi, M., Fathipour, K., & Kamali, K. (2006). Growth parameters of *Tetranychus urticae* Koch on different bean cultivars. *Iranian Journal of Entomology*, *26(2)*, 10-1.

Alabi, O. Y., Odebiyi, J. A., & Tamo, M. (2004). Effect of host plant resistance in some cowpea (*Vigna unguiculata* L.) cultivars on growth and developmental parameters of the flower bud thrips, M*egalurothrips sjostedti* (Trybom). *Crop Protection*, *23*, 83–88. https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00171-6

Ashtari, S., Yousefi, M., & Dorri, H. R. (2019). Evaluation of the resistance of new bean genotypes to two-spotted mite in field and greenhouse conditions, *Applied Researches in Plant Protection*, *9*(2), 15-30.

Ashtari, S., & Ghadiri, A. (2019). Chiti bean cultivars resistant to two-spotted mite. *Beans*, *2*(4), 1-10.

Aydemir, M., & Torus, S. (1992). The effect of different bean varieties on the life duration and egg productivity of *Tetranychus urticae*. Proceeding of 2nd Turkish National Congress of Entomology. Jan 28-31, Izmir, Turkey. p. 145-155.

Baradaran, B., Arbabi, M., & Shaiei, R. (2004). Evaluation of the difference between different eggplant cultivars on populations of *Tetranychus urticae* in Varamin region. 16th Iranian Congress of Plant Protection. 258 pp.

Dent, D. (2000). Host plant resistancein Dent, D. editors. Insect pest management CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom, pp. 123-179. https://doi.org/10.1079/9780851993409.0123

Dewar, A. M., Haylock, L. A., Bean, K. M., Garner, B. H., & Boyce, R. (2000). The ecology and control of the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, in sugar beet. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference Pests and Diseases, *3*, 913-918.

Dorri, H., Asadi, B., Ghadiri, A., Lak, M. H., Yousefi, M., Ghanbari, A. A. Baizaei, A., Kamel, M. Kushki, M. H., Asterki, H., Pourmatin, R., & Hatemabadi Farahani, M. (2015). Ghaffar, a new variety of chiti beans. *Scientific Journal of Research Findings in Agricultural and Garden Plants*, *5*(2), 155-143.

Dorri, H. R., & Ardeh, M. J. (1999). Final report of a field evaluation of two-spotted spider mite resistance in bean genotypes. Center for Agricultural and Natural Resources Research, 36 p.

Fernandez, G. C. (1993). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: C. G. Kuo (Ed.) Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Shunhua, Taiwan. https://doi.org/10.22001/wvc.72511

Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, *29*, 897-912. https://doi.org/10.1071/AR9780897

Flexner, J. L., Westigard, P. H., Hilton, R., & Croft, B. A. (1995). Experimental evaluation of resistance: management for two spotted spider mite on southern Oregon pear: 1987–1993. *Journal of Economic Entomology*, *88*(6), 1517-1524. https://doi.org/10.1093/jee/88.6.1517

Hosseini, A. A. (2018). Implementation guide genotypes for the management of two-spotted mite. Plant Protection Organization, 11 pp.

Impe, G. V., & Hance, T. (1993). A technique for testing varietal susceptibility in the mite (*Tetranychus urticae*) application to bean, cucumber, tomato, strawberry. *Agronomic*, *13*(8), 739-749. https://doi.10.1051/agro:19930806

Karimi, A., Yarahmadi, F., & Mohseni Amin, A. (2019). Effects of bean plant density and its different cultivars on population of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* and onion thrips, *Thrips tabaci* in field conditions, *Plant Pest Research*, *9*(2), 39-48. https://doi.10.22124/iprj.2019.3622

Kazemi, A. A., Askarianzadeh, A., Saidizadeh, A., & Ghadiri, A. (2019). Evaluation of the resistance of bean cultivars to the two-spotted mite in field conditions. *Iranian Legume Research*, *11*(2), 95-108. https://doi. 10.22067/ijpr.v11i2.76080

Kirisik, M., Erler, F., Boyaci, F., & Bayram, Y. (2021). Evaluation of resistance in 16 eggplant genotypes to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Phytoparasitica*, *49*, 275–285. https://doi.10.1007/s12600-020-00856-x

Knapp, M., Mugada, D. A., Agong, S. G., & Knapp, M. (2003). Screening tomato (*Lycopersicon esculentum*) accessions for resistance to the two-spotted spider mite: Population growth studies. *Insect Science and its Application*, *23*, 15-19. https://doi.org/10.1017/S1742758400012200

Lima, P. F., Colombo, C. A., Chiorato, A. F., Yamaguchi, L. F., Kato, M. J., & Carbonell, S. A. (2014). Occurrence of isoflavonoids in Brazilian common bean germplasm *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*, 969-970. https://doi.10.1021/jf5033312

Mohammadi, S., Seraj, A. A., Saeidi, Z., & Moharramipour, S. (2012). Evaluation of resistance and susceptibility of 14 red and white bean genotypes to two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae). *Plant Protection Scientific Journal of Agriculture*, *33*(2), 11-24.

Mohiseni, A., Koushki, M. H., & Astraki, H. (2016). Investigating the Effect of Planting Arrangement, plant density on Population density and Severity of damage to Spider Mites, Final Project Report. Boroujerd Agricultural and Natural Resources Research and Education Campus, 28 p.

Pedigo, L. P. (2002). Entomology and Pest Management. Iowa University press, Iowa, USA. 646 p.

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspect of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, *21*, 943-946.

Rui, S., Hua, W., Rui, G., Qin, L., Lei, P., Jianan, L., Zhihui, H., & Chanyou, C. (2016). The diversity of four anti-nutritional factors in common bean. *Horticultural Plant Journal*, *2*(2), 97-104. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2016.06.001

Saeidi, Z. (2020). Screening of 55 pinto bean genotypes for resistance to the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), *Persian Journal Acarology*, *9*(3), 291-299.

Saeidi, Z., Babaei, G., & Salehi, F. (2020). Population density and yield loss caused by two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch on different pinto bean lines under field Conditions. *Systematic and Applied Acarology*, *25*(12), 2212–2223.

Saeidi, Z., & Arbabi, M. (2014). Comparing the effects of several acaricides in controlling different densities of two-spotted mite populations in bean fields in Lordegan region. *Journal of Pesticides in Plant Protection Science*, *2*(2), 82-73.

Saeidi, Z., & Salehi, F. (2014). Studying the resistance of selected genotypes from the local population of Chiti Lordegan bean to the two-spotted tartan mite. *Plant Pests and Diseases*, *73*(1), 65-77.

Saeidi, Z., & Arbabi, M. (2007). Effectiveness of 12 pesticides against two infestation levels of bean fields by *Tetranychus urticae* Koch in Lordegan, Chaharmahal and Bakhtiari province. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, *76*, 25-31.

Sarfraz, M., Dosdall, L. M., & Keddie, B. A. (2006). Diamondback moth-host plant interactions: implications for pest management. *Crop Protection*, *25*, 625-630. https://doi.10.1016/j.cropro.2005.09.011

Shaabani, J., Hossainzadeh, A., Zeinali, H., & Naghavi, M. R. (2021). A field study on common. *140*, 464–476. https://doi.org/10.1111/pbr.12914

Shoorooei, M., Hoseinzadeh, A. H., Maali-Amiri, R., Allahyari, H., & Torkzadeh-Mahani, M. (2018). Antixenosis and antibiosis response of common bean (*Phaseolus vulgaris*) to two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*). *Experimental and Applied Acarology*, 74, 365–381. https://doi. 10.1007/s10493-018-0240-4

Sirjani, M., & Arbabi, M. (2004). Investigating of difference of pollution of cultivars in introducing of cotton to to *Tetranychus urticae*. in Kashmar. 16th Iranian Congress of Plant Protection. pp. 270.

Smith, C. (2005). Plant resistance to arthropods, molecular and conventional approaches. 423 pp. Springer Publisher.

Tahmasebi, Z. (2013). Determination of susceptible and susceptible cultivars to bean spider mites using resistance index. 6th Conference on Agricultural Research Findings, 95 pp.

Taleei, A., Mohammadi, A., Maali Amiri, R., & Khanjani, M. (2020). Screening of common bean accessions to two- spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) under growth chamber condition. *Journal of Biology*, *10*(7), 1-10. https://doi.10.4172/2322-0066.10.7.006

Yousefi, M., & Dorri, H. (2012). Evaluation of the mechanisms of resistance of 36 genotype of pinto beans spider mites in greenhouse and field and green house conditions. Final Project Report, Central Province Agricultural and Natural Resources Research Center, 53 p.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 317-332
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۳۲-۳۱۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.87247.1087

Documenting the Production Process of Faba bean (*Vicia faba* L.) in Gorgan, Ali Abadkatol and Aqqola Regions

Mohammad Reza Mansouri Vajari[1*], Ebrahim Zeinali[2], Afshin Soltani[3], Benjamin Torabi[2], Alireza Nehbandani[4]

Received: 12-03-2024
Revised: 25-05-2024
Accepted: 09-07-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Mansouri Vajari, M.R., Zeinali, E., Soltani, A., Torabi, B., & Nehbandani, A. (2023). Documenting the production process of faba bean (*Vicia faba* L.) in Gorgan, Ali Abadkatol and Aqqola regions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 317-332. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.87247.1087

Introduction
Documenting the production process in agriculture includes gathering all the information and activities that show the production process of a product from the stage of seed bed preparation to harvesting. In this view, the farm is considered as a production unit, and all processes from the time of preparation of this production unit for cultivation until the product leaves the farm after harvesting are included in the scope of documentation. Considering that the management of the production process in agricultural systems has a significant effect on the quantity of yield, production efficiency, the efficiency of input consumption and finally the environmental effects of production, monitoring and improving the processes leading to the production of agricultural products in order to reduce the challenges associated with agricultural management in Agricultural systems are inevitable. From a scientific point of view, it is possible to improve such management processes by using various techniques, among which continuous improvement and re-engineering of processes are among the most important ones. Golestan province is considered one of the most important areas for the production of faba bean (*Vicia faba* L.) in the country due to the climate and soil conditions, therefore, without a comprehensive understanding of the agricultural operations, it is difficult to take steps to meet the needs of farmers and eliminate production obstacles. In this study, it is tried that all the researchers and farmers become familiar with the production process of faba bean in Golestan province in an integrated and documented manner and this research is a basis for effective planning to meet the needs of farmers, reduce the consumption of inputs and reduce the environmental effects by changing the method it will be farm management.

Materials and Methods
This research was carried out in two crop years 2019-2020 and 2020-2021 in Golestan province and in Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola cities. To document the production and analyze the performance gap, 445 farms that had sufficient diversity in different aspects, including farm management, were selected, and all information related to the farm and production management was collected using questionnaires, observations and measurements. In each region, every year, different fields were examined in terms of agricultural management factors, and observations related to the field, planting, planting and harvesting were recorded. In order to analyze the data, absolute and cumulative frequency distribution was used. In these investigations, the scope of changes and the method of performing each management operation performed in the bean farms and also the proportion of farmers who used different methods of each of these management operations were determined.

Results and Discussion
The results showed that soybeans are cultivated more than other crops (41%) before faba bean. Faba bean is planted in these areas between 14 October and 25 November. In these areas, 97% of farmers use reversible plows (one to two times) to prepare the bean planting bed. The amount of seed used is in the range of 60 to 100 kg.ha^{-1}, and in 56% of the fields it is planted with a linear machine, in 43% with a row machine, and in 2% by hand spraying and then mixing the seeds with the soil using a disc. According to the distribution of rainfall in the region, 92% of faba bean cultivation is carried out under rainfed condition. Farmers use 0 to 115 kg.ha^{-1} of pure nitrogen fertilizers, 0 to 96 kg ha^{-1} of pure

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student, Associate Professor, Professor and Ph.D. Graduated, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively
* Corresponding Author: mr.mansouri_s97@gau.ac.ir

phosphorus and 0 to 72 kg.ha^{-1} of pure potassium fertilizers to meet their fertilizer needs. Investigations showed that pesticides were used in 338 out of 445 farms, herbicides were used in 356 farms, and fungicides were used in 293 farms, and the number of times pesticides, herbicides, and fungicides were used varied between 1 and 3 times. Faba bean is harvested in these areas from late April to early June, depending on weather conditions, planting date and variety. The yield of faba bean varied from 780 to 4187 kg.ha^{-1}.

Conclusions

The results of this research can clarify the details of the faba bean production process for students and researchers to carry out future projects and also provide information on the common consumption of inputs to those interested and be useful in the implementation of growth and yield simulation plans under common conditions by means of average crop plants.

Keywords: Function, Nitrogen, Pesticides, Planting date, Potassium

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 317-332
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۳۲-۳۱۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.87247.1087

مستندسازی فرآیند تولید باقلا (*Vicia faba* L.) در مناطق گرگان، علی آبادکتول و آق قلا

محمدرضا منصوری‌واجاری[1*]، ابراهیم زینلی[2]، افشین سطانی[3]، بنیامین ترابی[2]، علیرضا نه‌بندانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده

مستندسازی می‌تواند از انجام دوباره‌کاری در پروژه‌های کشاورزی جلوگیری کند. در این مطالعه، اطلاعات مربوط به عملیات مدیریتی از مرحله تهیه بستر تا برداشت باقلا (*Vicia faba* L.) در مناطق گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا در ۴۴۵ مزرعه طی سال‌های ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ با بررسی‌های میدانی جمع‌آوری و مستندسازی فرآیند تولید این گیاه انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با توزیع فراوانی مطلق و تجمعی صورت گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که کاشت باقلا در محدوده ۱۴ مهر تا ۲۵ آبان انجام می‌شود. ۹۷ درصد از کشاورزان جهت آماده‌سازی بستر از گاوآهن برگردان‌دار استفاده کردند. بذر مصرفی در دامنه ۶۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و در ۵۶ درصد از مزارع برای کاشت از خطی‌کار، در ۴۳ درصد ردیف‌کار و در دو درصد از روش دست‌پاش و سپس اختلاط بذر با خاک توسط دیسک استفاده می‌شود. باتوجه به توزیع بارندگی، کشت باقلا ۹۲ درصد به‌صورت دیم بود. کشاورزان از کود نیتروژن خالص به‌مقدار ۰ تا ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار، فسفر خالص ۰ تا ۹۶ کیلوگرم در هکتار و پتاسیم خالص ۰ تا ۷۲ کیلوگرم در هکتار استفاده کردند. در ۳۳۸ مزرعه از ۴۴۵ مزرعه از آفت‌کش، در ۳۵۶ مزرعه از علف‌کش و در ۲۹۳ مزرعه از قارچ‌کش استفاده شده و دفعات کاربرد آن‌ها یک تا سه مرتبه بود. برداشت باقلا از اواخر فروردین تا اوایل خردادماه و عملکرد باقلا از ۷۸۰ تا ۴۱۸۷ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای برنامه‌ریزی بهبود تولید باقلا و رفع عوامل کاهش تولید آن استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، پتاسیم، تاریخ کاشت، عملکرد، نیتروژن

مقدمه

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل گردآوری تمامی اطلاعات و فعالیت‌هایی می‌باشد که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نمایان می‌کند. در این دیدگاه، مزرعه به‌عنوان واحد تولیدی در نظر گرفته می‌شود و تمامی فرآیندها از زمان آماده‌سازی این واحد تولیدی برای کشت تا هنگام خروج محصول از مزرعه پس از برداشت در محدوده مستندسازی قرار می‌گیرند.

مهم‌ترین کارکردهای مستندسازی حفاظت از منابع اطلاعاتی، کنترل هزینه‌ها، جلوگیری از تکرار فعالیت‌ها، تعیین سیاست‌های اجرایی، مشخص کردن نیازهای آماری و مزایای کلی مستندسازی شامل افزایش کارایی اطلاعات، بهبود تصمیم‌گیری، افزایش شفافیت پروژه‌ها، حفظ دانش سازمانی برای استفاده در پروژه‌های بعدی و نسل‌های آینده می‌باشد (Torabi et al., 2013).

با توجه به اینکه مدیریت فرایند تولید در سیستم‌های کشاورزی اثر بسزایی بر کمیت عملکرد، بهره‌وری تولید، کارایی مصرف نهاده‌ها و در نهایت، اثرات زیست محیطی پیامد تولید دارد، پایش و بهبود فرآیندهای منتهی به تولید محصولات کشاورزی در جهت کاهش چالش‌های مرتبط با مدیریت‌های زراعی در سیستم‌های کشاورزی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از نظر علمی بهبود چنین فرآیندهای مدیریتی با کاربرد تکنیک‌های مختلفی امکان‌پذیر است که در این بین، بهبود مستمر و مهندسی مجدد فرآیندها از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند (Mohamed et al., 2021). بدون شک، شناسایی وضعیت موجود به‌منظور ترسیم نقشه راه برای رسیدن به حالت مطلوب، ضروری می‌باشد. در طرح‌های ارزیابی و بهبود فرآیندها، مستندسازی یکی از کارهایی است که بخش عمده زمان پیش‌فرض را در بر می‌گیرد، اختصاص ۷۰ درصد کل زمان طرح در بعضی نمونه‌ها به مستندسازی در فعالیت‌های ارزیابی و بهبود فرآیندها بیانگر اهمیت بالای آن می‌باشد (Gangadharan & Gupta, 2020).

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانش آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: mr.mansouri_s97@gau.ac.ir)

با وجود اینکه مستندسازی در اکثر علم‌ها به‌عنوان ابزاری مهم و کارگشا به‌خصوص در زمینه مدیریت می‌باشد، ولی به‌کار بردن این روش در جهت بهینه‌سازی مدیریت تولید محصولات کشاورزی کمتر مورد توجه واقع شده است. از مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به تحقیق ترابی و همکاران (Torabi et al., 2013) اشاره کرد که به مستندسازی فرآیند تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در گرگان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مزارع گندم مورد بررسی از ۱۵ تا ۲۶ آذر کشت شده بودند، مقدار بذر مصرفی از ۱۴۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود، اکثر کشاورزان به‌منظور تأمین نیاز کودی از کودهای اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم استفاده کرده بودند. زارعین کود اوره را به‌مقدار ۰ تا ۹۳ کیلوگرم در هکتار اغلب در مرحله ساقه رفتن استفاده کردند. به‌دلیل کمبود بارندگی در سال اول مطالعه، آبیاری در دو مرحله (گل‌دهی و اوایل پر شدن دانه)، ولی در سال دوم در یک مرحله (گل‌دهی) صورت گرفت. با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه برداشت در مزارع مورد بررسی بین ۱۸ تا ۲۵ خردادماه انجام گرفت. عملکرد بین ۲/۵ تا ۶/۳ تن در هکتار متغیر بود.

رمرودی و همکاران (Ramroudi et al., 2019) در مستندسازی فرآیندهای تولید گندم در استان گلستان گزارش کردند که در مزارع آبی که قبل از کشت گندم زیر کشت دو محصول تابستانه سویا و برنج قرار داشتند و همچنین، همراه با استفاده بیشتر از بذر و کود، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، و کاربرد روش‌های سنتی آبیاری در این مزارع و برداشت در اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد، عملکرد متوسط ۳۸۴۵ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. همچنین در سیستم‌های دیم مزارع کوچک‌تر، کشت گندم یا جو در سال قبل، عدم کشت تابستانه، مصرف کمتر بذر و کود، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، برداشت در اواسط اردیبهشت تا اواخر خرداد و عملکرد متوسط ۳۱۴۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. در این مطالعه مشاهده شد که مزارع آبی از نظر اندازه، تنوع زراعی، نهاده‌ها و عملکرد از مزارع دیم برتر بودند و سیستم‌های آبی کارآمدتر و پربازده‌تر از سیستم‌های دیم بودند.

یوسفیان و همکاران (Yousefian et al., 2019) در پژوهشی به مستندسازی فرآیند تولید و رتبه‌بندی عوامل ایجاد خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در ساری پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که میزان بذر مصرفی از ۴۰ تا ۹۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. سن نشاء بین ۲۰ تا ۵۰ روز بود. میزان تراکم کاشت از ۱۰ تا ۶۶ بوته در مترمربع بود. کاربرد نیتروژن توسط ۳۰ درصد از کشاورزان از ۴۶ تا ۸۳ کیلوگرم در هکتار و ۴۰ درصد از کشاورزان ۸۳ تا ۱۳۸ کیلوگرم در هکتار بود. مصرف نیتروژن در ۷۳ درصد از مزارع بعد از مرحله گل‌دهی گزارش نشد. میزان عملکرد شلتوک از ۳۱۰۰ تا ۵۴۳۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و در ۶۰ درصد از مزارع مورد بررسی، عملکرد شلتوک در دامنه ۴۲۰۵ تا ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار قرار داشت.

کشت باقلا (*Vicia faba* L.) در استان گلستان دارای مزایای تنوع‌بخشی به الگوی کشت در تناوب با سایر محصولات زراعی مانند گندم، کلزا (*Brassica napus* L.) و برنج، افزایش ارزش غذایی از نظر پروتئین، فیبر، ویتامین‌ها و مواد معدنی است (Kazeminejad & Rezaee, 2023Vahabipoor et al., 2021;). سطح زیر کشت و میزان تولید باقلا در استان گلستان در سال ۱۴۰۱ به‌ترتیب ۱۴۳۵ هکتار و ۱۸۴۲ تن بوده است (Agricultural Statistical Yearbook, 2023). استان گلستان با توجه به شرایط آب‌وهوایی و خاک از مهم‌ترین مناطق تولید باقلا در کشور محسوب می‌شود، لذا بدون شناخت جامع از شیوه انجام عملیات زراعی، به دشواری می‌توان در جهت رفع نیازهای کشاورزان و از بین بردن موانع تولید گام برداشت. در این مطالعه تلاش می‌شود که تمامی محققان و کشاورزان به‌صورت یک‌پارچه و مستند با فرآیند تولید محصول باقلا در استان گلستان به‌صورت آماری آشنا شوند و این پژوهش مبنایی برای برنامه‌ریزی مؤثر در جهت رفع نیاز کشاورزان، کاهش مصرف نهاده‌ها و کاهش اثرات محیط زیستی با تغییر شیوه مدیریتی مزارع خواهد بود.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و اطلاعات زراعی

برای مستندسازی تولید و تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد سه منطقه شامل شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا که از مهم‌ترین مناطق تولید باقلا در استان گلستان هستند، در نظر گرفته شدند. در این مطالعه، ۴۴۵ مزرعه باقلا طی دو سال زراعی (۱۳۹۸- ۱۳۹۹ و ۱۳۹۹- ۱۴۰۰) از مناطق منتخب با تنوع کافی در مدیریت زراعی، با کمک مراکز خدمات کشاورزی انتخاب شدند. اطلاعات مربوط به مزرعه و مدیریت تولید با استفاده از پرسش‌نامه، مشاهده و اندازه‌گیری جمع‌آوری شد. در هر منطقه، مزارع مختلف از نظر عوامل مدیریتی زراعی در طول دو سال زراعی مورد بررسی قرار گرفته و مشاهدات مربوط به کاشت، داشت و برداشت ثبت گردید. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از روش‌های آماری توصیفی شامل توزیع فراوانی مطلق و تجمعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در این

راستا، دامنه تغییرات و شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در مزارع باقلا، به همراه سهم هر یک از روش‌های مختلف در بین کشاورزان، مشخص شد.

عوامل مدیریتی مورد بررسی شامل موارد زیر بود: عملیات تهیه زمین: نوع ادوات، تعداد و زمان شخم، دیسک و سایر عملیات مرتبط، بذر: رقم مورد استفاده، ضدعفونی بذر، میزان بذر و روش کاشت، تاریخ کاشت: تاریخ دقیق کاشت در هر منطقه، عمق کاشت: عمق مناسب کاشت بذر با توجه به شرایط خاک، تراکم کاشت: تعداد بوته در واحد سطح، کود: نوع، میزان و زمان مصرف کودهای پایه و سرک، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز: نوع و میزان سموم مصرفی، آبیاری: تعداد، میزان و زمان آبیاری، نوع سیستم آبیاری (سنتی، تحت فشار و غیره)، و برداشت: نوع ادوات، زمان برداشت و عملکرد.

نتایج و بحث

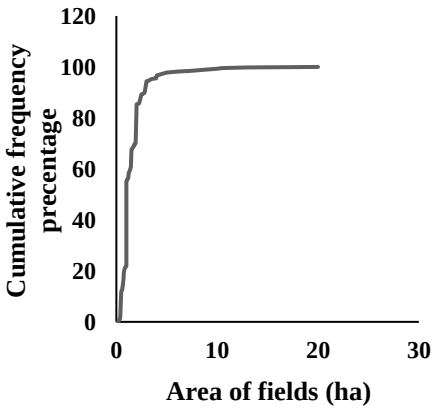
مساحت مزارع

در مناطق مورد بررسی، مساحت مزارع باقلا بین ۰/۲ تا ۲۰ هکتار متغیر و به‌طور متوسط ۱/۷ هکتار بود. مساحت حدود ۸۵ درصد از مزارع باقلا کمتر از دو هکتار و تنها مساحت یک درصد از مزارع باقلا بین ۱۰ تا ۲۰ هکتار بود (شکل ۱). در حدود ۵۵ درصد از این مزارع در شهرستان گرگان، حدود ۳۱ درصد از این مزارع در شهرستان علی‌آباد کتول و ۱۴ درصد از این مزارع در شهرستان آق‌قلا قرار داشتند (شکل ۲). میانگین مساحت مزارع در شهرستان گرگان ۱/۴۱ هکتار، علی‌آباد کتول ۲/۲۳ و آق‌قلا ۱/۴۸ بود.

با توجه به اینکه اکثر مزارع باقلا در منطقه (حدود ۸۵ درصد) کمتر از دو هکتار هستند، توصیه می‌شود که تمرکز بر روی ارائه ترویج و آموزش‌های مدیریتی به‌صورت متمرکز و در سطوح محلی و منطقه‌ای باشد. این امر به‌منظور ارتقاء دانش و آگاهی کشاورزان کوچک‌مقیاس که اکثریت تولیدکنندگان باقلا را تشکیل می‌دهند، ضروری است.

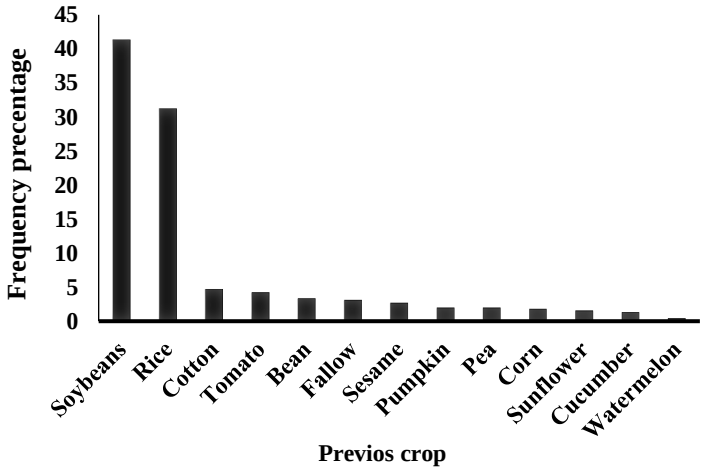
محصول قبلی

در مناطق مورد بررسی، بیشترین محصولات زراعی کشت شده قبل از باقلا به محصول سویا (*Glycine max* L.) در حدود (۴۱ درصد) و برنج (۳۱ درصد) اختصاص داشت و سایر محصولات شامل پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، گوجه (*Solanum lycopersicum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، آیش، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، کدو (*Cucurbita moschata* *Duchesne*)، نخود (*Cicer* arietinum L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)، خیار (*Cucumis sativus* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) در رده‌های بعدی قرار گرفتند. درصد سهم کشت محصولات مختلف قبل از کشت باقلا در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه سویا و برنج بیشترین سهم کشت را قبل از باقلا در مناطق مورد بررسی داشته‌اند، توصیه می‌شود که جهت مدیریت بهتر تناوب زراعی و افزایش تنوع زیستی، کشت این محصولات به‌عنوان پیش‌کشت باقلا در تناوب با سایر محصولات زراعی مانند پنبه، گوجه، لوبیا، کنجد، کدو، نخود، ذرت، آفتابگردان، خیار و هندوانه مد نظر قرار گیرد.



شکل ۱- درصد فراوانی تجمعی مساحت مزارع (هکتار) باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 1- Cumulative abundance percentage of field area (ha) of beans in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola



شکل ۲- درصد فراوانی محصول قبلی مزارع باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی آبادکتول و آق‌قلا

Fig. 2- The abundance percentage of the previous crop of faba bean farms in the cities of Gorgan, Ali Abadkatol and Aqqola

تاریخ کاشت

براساس نتایج این مطالعه، کشت باقلا در ۴۴۵ مزرعه مورد بررسی در دوره زمانی ۱۴ مهر تا ۲۵ آبان انجام شد. حدود ۴۸ درصد از کشاورزان، کشت باقلا را بین ۱۴ تا ۳۰ مهر انجام دادند (شکل ۳). تاریخ کاشت تحت تأثیر عواملی هم‌چون زمان و نوع محصول قبلی و آب‌وهوا قرار دارد. همچنین به عواملی نظیر نیروی کارگری و تجهیزات کشاورزی هم مربوط می‌شود (Grenz et al., 2005; Van Ittersum et al., 2013). به‌طور کلی، کشاورزان با انتخاب تاریخ کاشت مناسب سعی دارند تا محصول را از عوامل نامساعد محیطی و زیستی دور کرده و بهره‌وری عوامل محیطی را به حداکثر برسانند (Kibbou et al., 2021). با توجه به نتایج بررسی شده، بهترین محدوده زمانی که منجر به بهترین و بیشترین تولید می‌شود از ۱۴ تا ۳۰ مهر بوده است. با توجه به نتایج این مطالعه، توصیه می‌شود که کاشت باقلا در این بازه زمانی انجام شود. این بازه زمانی بهترین فرصت برای دستیابی به بالاترین میزان تولید را فراهم می‌کند.

با توجه به اینکه تاریخ کاشت بر طول دوره‌های رویشی و زایشی و عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد و طول دوره گل‌دهی و پر شدن دانه ارتباط مستقیمی با عملکرد دانه دارد، به نظر می‌رسد که با توجه به کاهش فاصله سبز شدن گیاه تا گل‌دهی و گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی، و ورود گیاه به فاز زایشی قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب و کاهش تشعشع تجمعی دریافتی توسط برگ‌ها در تاریخ‌های کاشت دیر، با تأخیر در کاشت نسبت به تاریخ‌های کاشت مطلوب، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Zeleke & Nendel, 2019). ایسام و همکاران (Essam et al., 2023) گزارش کردند که با تأخیر در کاشت باقلا، عملکرد کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه باقلا به‌میزان ۴۴۸۰ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت به‌موقع ۱۵ اکتبر (۲۳ مهرماه) و کمترین آن در تاریخ کاشت دیرهنگام اول نوامبر (۱۰ آبان‌ماه) به‌میزان ۲۴۸۸ کیلوگرم در هکتار بود.

روش خاک‌ورزی

با توجه به نتایج، ۹۷ درصد از کشاورزان منطقه جهت آماده‌سازی بستر کاشت باقلا از خاک‌ورزی اوّلیه توسط گاوآهن برگردان‌دار (یک تا دو مرتبه) استفاده کردند (شکل ۴ الف). از آنجا که شخم در این زمین‌ها باعث کلوخه‌ای شدن خاک شده و بستر نامطلوبی را برای بذر به‌وجود می‌آورد، برای خرد کردن کلوخه‌ها کشاورزان اقدام به دیسک زدن زمین می‌نمایند. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده، زارعین باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آبادکتول و آق‌قلا قبل از کاشت باقلا یک تا شش مرتبه زمین شخم خورده را دیسک می‌زنند. به‌طور معمول یک تا سه بار دیسک زدن زمین رایج می‌باشد، به‌طوری‌که حدود ۶۶ درصد از کشاورزان را شامل می‌شود. با این وجود، درصد کشاورزانی که با یک یا سه مرتبه دیسک زدن، زمین را برای کاشت آماده می‌کنند، قابل توجه می‌باشد (شکل ۴ ب).

تعداد دفعات دیسک با توجه به دسترسی به تجهیزات و در صورت فقدان تجهیزات لازم، به توانایی مالی کشاورزان و همچنین بسته به میزان کلوخه‌ای شدن خاک در نتیجه شخم با گاوآهن متغیر می‌باشد. ضمن اینکه گاهی تجهیزات لازم در دسترس کشاورز قرار دارد، امّا به‌دلیل در پیش بودن بارندگی، کشاورز فرصت کافی برای دیسک زدن به تعداد بیشتر برای آماده‌سازی بستر نرم ندارد. نکته دیگر اینکه، به‌دلیل درشت بودن اندازه بذر باقلا، بعضی از کشاورزان اعتقاد به ضرورت نرم

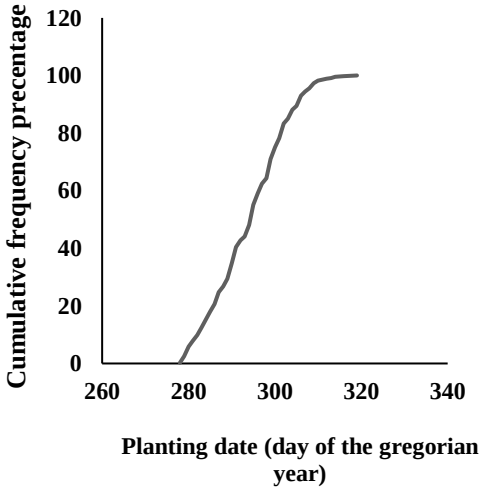
کردن خاک به اندازه محصولات دانه‌ریزی مثل گندم و جو و به‌ویژه کلزا ندارند. در مزارع مورد بررسی حدود سه درصد از تولیدکنندگان باقلا در منطقه بدون انجام شخم، مستقیماً از دیسک برای آماده‌سازی بستر بذر برای کشت باقلا استفاده نمودند (شکل ۴ الف). با توجه به اینکه شخم زدن با گاوآهن برگردان‌دار در زمین‌های باقلا باعث کلوخه‌ای شدن خاک و ایجاد بستر نامناسب برای بذر می‌شود، توصیه می‌شود که کشاورزان از دیسک زدن به‌جای شخم زدن برای آماده‌سازی بستر کاشت باقلا استفاده کنند. دیسک زدن به خرد شدن کلوخه‌ها و ایجاد بستر نرم‌تر برای بذر کمک می‌کند.

روش کاشت

کشاورزان به‌طور معمول قبل از آخرین دیسک یا دو دیسک آخر، اقدام به پخش کود در سطح خاک بادست یا کودپاش سانتریفیوژ کرده و با توجه به قابلیت دسترسی به کارنده با استفاده از کمباین، خطی‌کار و ردیف‌کار اقدام به کشت باقلا می‌نمایند و در صورت عدم دسترسی به کارنده، به‌صورت دست‌پاش کاشت باقلا را انجام می‌دهند. براساس نتایج در این مطالعه از ۴۴۵ کشاورز حدود ۴۳ درصد کشاورزان از دستگاه ردیف‌کار، ۵۶ درصد از دستگاه خطی‌کار و دو درصد از روش دست‌پاش برای کاشت استفاده کردند (شکل ۵ الف). به‌طور معمول، کشاورزان تمایل کمتری به استفاده از روش دست‌پاش برای کاشت نشان دادند که علت آن را بد سبز شدن و عدم قرارگیری بذر در عمق مناسب خاک دانستند. با توجه به تمایل کم کشاورزان به استفاده از روش دست‌پاش برای کاشت باقلا به‌دلیل مشکلات عدیده آن، ترویج استفاده از دستگاه‌های ردیف‌کار و خطی‌کار به‌جای روش سنتی دست‌پاش به‌منظور افزایش یکنواختی سبز شدن، قرارگیری بذر در عمق مناسب خاک و در نهایت، افزایش عملکرد محصول توصیه می‌شود.

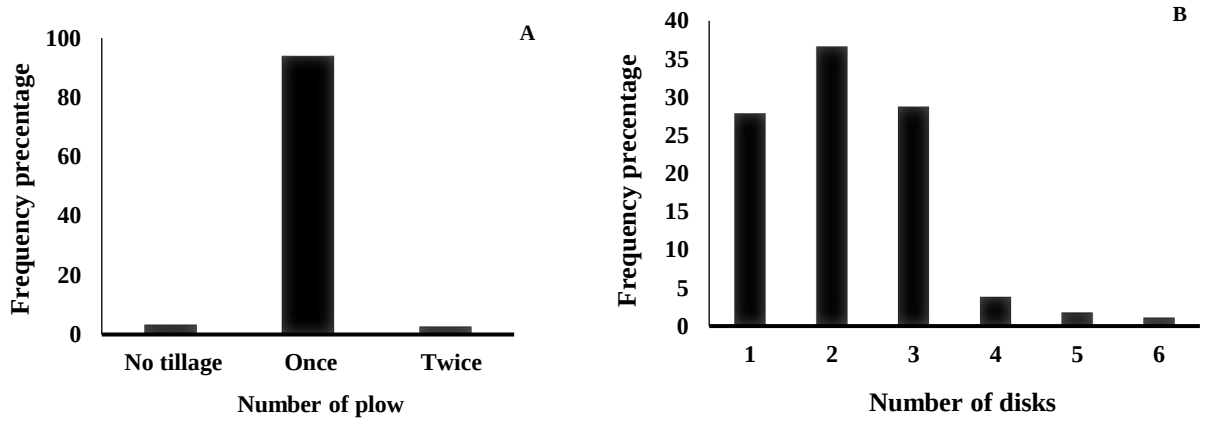
نوع بذر

براساس اطلاعات به‌دست آمده، حدود ۸۷ درصد از کشاورزان از بذرهای تولید شده در سال زراعی گذشته در مزرعه خودشان استفاده نمودند و سایر کشاورزان بذر مصرفی خود را از مراکز خدمات کشاورزی یا سایر مراکز فروش بذر تهیه کردند (شکل ۵ ب). کشاورزان منطقه از رقم برکت برای کاشت استفاده کردند. با توجه به اینکه اکثر کشاورزان از بذور سال قبل خود استفاده کرده‌اند و فقط ۱۳ درصد از مراکز مجاز بذر تهیه کرده‌اند، توصیه می‌شود که جهت ارتقای سطح کیفی و کمّی محصول در سال زراعی آینده، اقدامات لازم شامل ترویج استفاده از بذور گواهی شده، ایجاد تسهیلات برای دسترسی به بذور گواهی شده و حمایت از تولیدکنندگان داخلی بذر صورت گیرد. با اجرای این اقدامات می‌توان انتظار داشت که در سال زراعی آینده شاهد افزایش قابل توجهی در عملکرد و کیفیت محصول در منطقه باشیم.



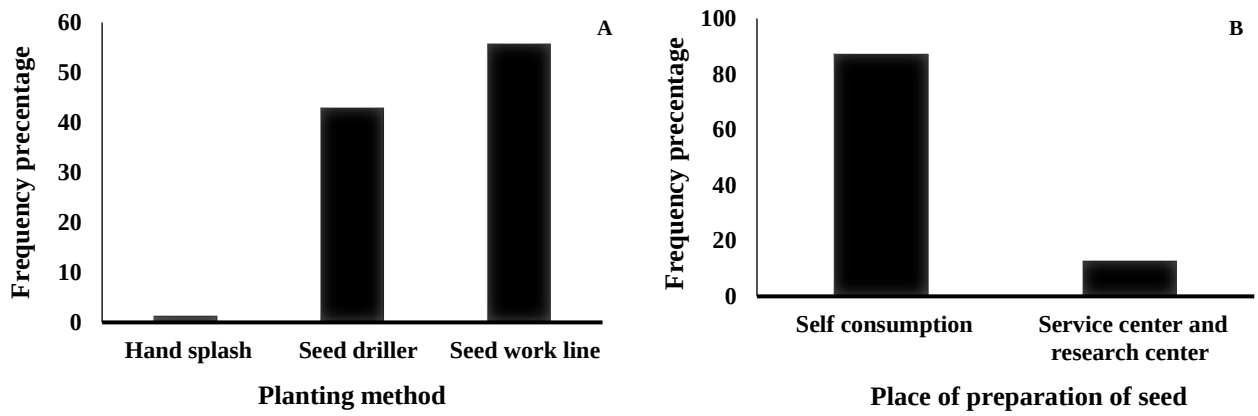
شکل ۳- درصد فراوانی تجمعی تاریخ کاشت (روز از سال میلادی) در مزارع باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 3- Cumulative frequency percentage of planting date (day of the Gregorian year) in faba bean fields in Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola cities



شکل ۴- درصد فراوانی تعداد شخم (الف) و تعداد دفعات دیسک (ب) قبل از کاشت باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 4- Frequency percentage of the number of plows (A) and the number of times of disc (B) before planting faba bean in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola



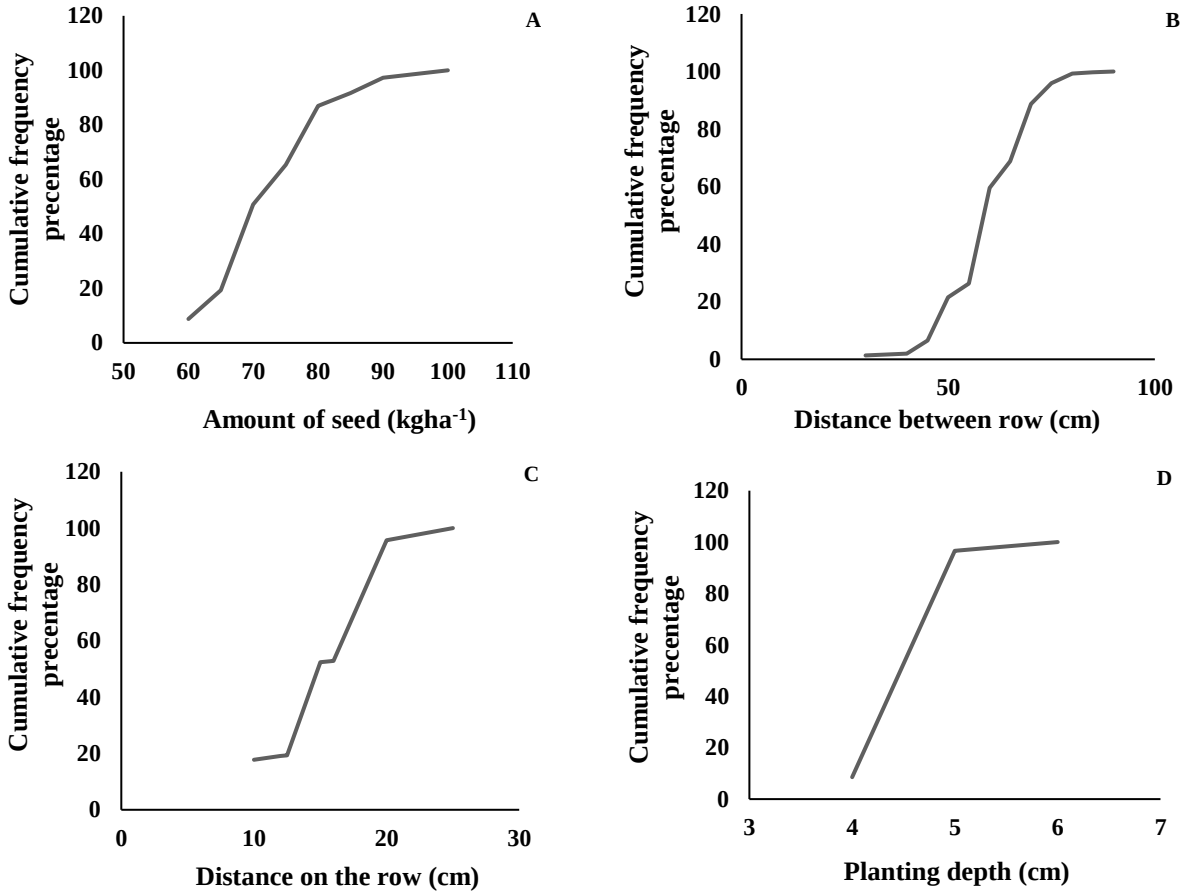
شکل ۵- سهم روش‌های مختلف کاشت (الف)، درصد فراوانی محل تهیه بذر (ب) در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 5- The contribution of different planting methods (A), the abundance percentage of the seed preparation site (B) in the production of faba bean in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola

مقدار بذر

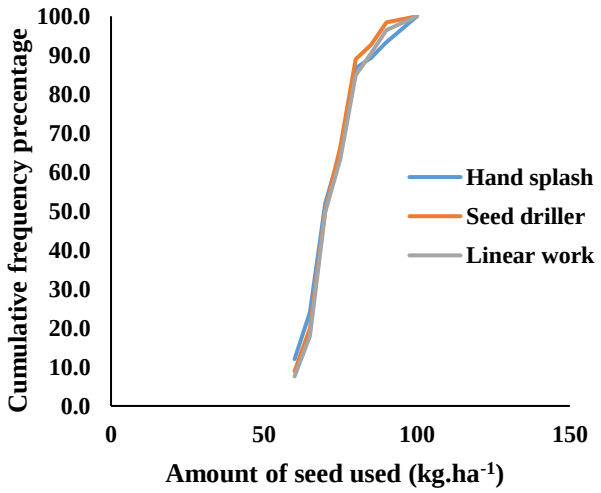
میزان بذر مورد استفاده توسط کشاورزان برای هر هکتار زمین با توجه به وضعیت تهیه بستر کاشت، تاریخ کاشت، کیفیت بذر و روش کاشت از ۶۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (شکل ۶ الف). میانگین مصرف بذر توسط کشاورزان ۷۴ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. حدود ۷۸ درصد از کشاورزان بین ۷۰ تا ۹۰ کیلوگرم بذر در هکتار و حدود ۱۹ درصد از کشاورزان کمتر از این مقدار و تنها سه درصد از کشاورزان بیشتر از این مقدار بذر مصرف کردند. رابطه روش کاشت و مقدار بذر مصرفی در شکل ۷ نشان داده شده است. در مزارع مورد بررسی، فاصله بین ردیف کاشت از ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر (شکل ۶ ب)، فاصله روی ردیف کاشت از ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر (شکل ۶ س) و عمق کاشت بین چهار تا شش سانتی‌متر متفاوت بود (شکل ۶ د). فاصله بین ردیف‌های کاشت در ۶۰ درصد از مزارع ۶۰ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف در حدود ۵۲ درصد از مزارع ۱۵ سانتی‌متر و عمق کاشت در حدود ۸۸ درصد از مزارع پنج سانتی‌متر بود.

با توجه به تنوع در میزان مصرف بذر توسط کشاورزان (بین ۶۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و پراکنش مصرف در حدود ۷۸ درصد در بازه ۷۰ تا ۹۰ کیلوگرم، توصیه می‌شود که کشاورزان با در نظر گرفتن عوامل وضعیت تهیه بستر کاشت، تاریخ کاشت، کیفیت بذر و روش کاشت، از میزان بذر مناسب استفاده نمایند. همچنین، با توجه به اینکه ۶۰ درصد از مزارع دارای فاصله بین ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متر، ۵۲ درصد دارای فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و ۸۸ درصد دارای عمق کاشت پنج سانتی‌متر هستند، به نظر می‌رسد که این مقادیر می‌توانند به‌عنوان استاندارد اولیه برای کشاورزان در نظر گرفته شوند.



شکل ۶- درصد فراوانی تجمعی مقدار بذر (کیلوگرم در هکتار) (الف)، فاصله بین ردیف (سانتی‌متر) (ب)، فاصله روی ردیف (سانتی‌متر) (س)، عمق کاشت (سانتی‌متر) (د) در مزارع باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 6- Cumulative frequency percentage of seed amount (kg.ha^{-1}) (A), distance between rows (cm) (B), distance on the row (cm) (C), planting depth (cm) (D) in faba bean fields in Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola cities



شکل ۷- درصد فراوانی تجمعی رابطه روش کاشت و مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 7- Cumulative abundance percentage of the relationship between the planting method and the amount of seed (kg.ha^{-1}) consumed in the production of faba bean in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola

کوددهی

براساس نتایج، ۹۹ درصد از کشاورزان از کود پایه استفاده کردند و فقط یک درصد از کشاورزان در تولید باقلا از کود پایه استفاده نکردند (شکل ۸ الف). عمده‌ترین کود پایه مورد استفاده کشاورزان کود اوره بود. مقادیر استفاده از کود نیتروژن خالص توسط کشاورزان در مزارع باقلا بین ۰ تا ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و ۵۰ درصد از کشاورزان کمتر از ۲۳ کیلوگرم نیتروژن خالص (معادل یک کیسه ۵۰ کیلویی کود اوره) در مزارع خود استفاده نمودند (شکل ۸ د). مقادیر استفاده از کود فسفر توسط کشاورزان در مزارع باقلا بین ۰ تا ۹۶ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و ۱۶ درصد از کشاورزان منطقه از کود فسفر در مزارع خود استفاده نکردند (شکل ۸ الف). مقادیر استفاده از کود پتاسیم توسط کشاورزان در مزارع باقلا بین ۰ تا ۷۲ کیلوگرم در هکتار متغیر بود و ۶۷ درصد از کشاورزان منطقه از کود پتاسیم در مزارع خود استفاده نکردند (شکل ۸ ف). کشاورزان پس از پخش کردن این کودها با استفاده از دیسک آن‌ها را با خاک مخلوط کردند.

استفاده از کود اوره در طی فصل رشد، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین کودهایی است که کشاورزان به آن توجه زیادی دارند. کاربرد کود سرک در مزارع به‌صورت سرک‌پاشی و در طی آبیاری برای تولید باقلا استفاده می‌شود. در این تحقیق، حدود ۵۳ درصد از کشاورزان منطقه از کود سرک اوره استفاده نمودند (شکل ۸ ب). تعداد دفعات استفاده از کود سرک اوره توسط کشاورزان بین یک تا سه مرتبه بود. در این مطالعه، در حدود ۴۴ درصد کشاورزان فقط یک مرحله کود اوره را به‌صورت سرک استفاده نمودند (شکل ۸ س).

با توجه به اینکه اکثر کشاورزان (۹۹ درصد) از کود پایه استفاده می‌کنند و کود اوره رایج‌ترین نوع کود پایه است، توصیه می‌شود که ترویج استفاده از کودهای پایه متعادل و با کیفیت بالا به‌منظور افزایش بهره‌وری و پایداری تولید باقلا در دستور کار قرار گیرد. همچنین، با توجه به اینکه ۵۰ درصد کشاورزان کمتر از ۲۳ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (معادل یک کیسه ۵۰ کیلویی کود اوره) استفاده می‌کنند، آموزش و ترویج روش‌های صحیح و بهینه مصرف کود جهت جلوگیری از هدر رفتن منابع و آلودگی محیط زیست ضروری است.

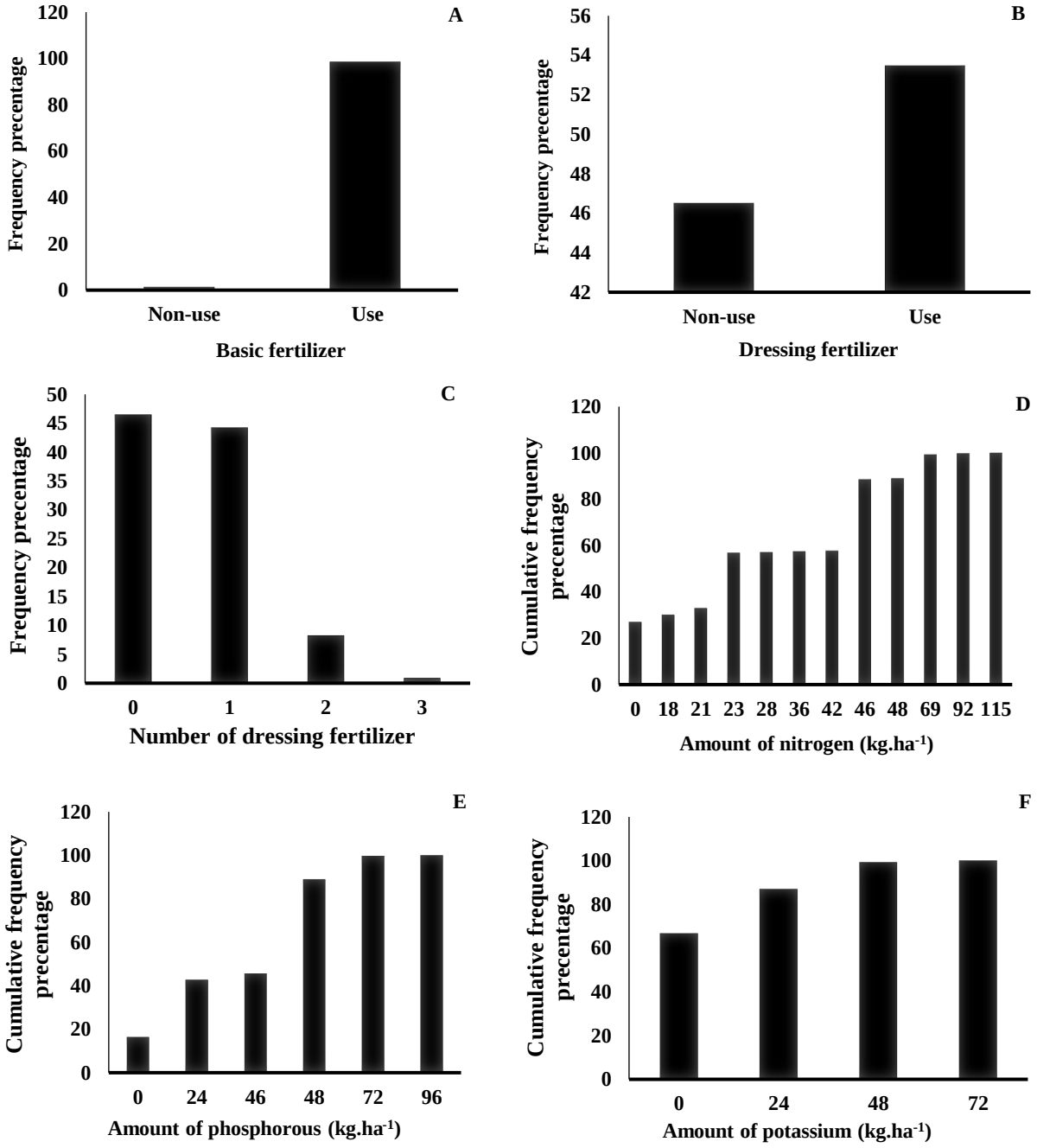
آبیاری

با توجه به شرایط آب‌وهوایی و میزان بارندگی در طول فصل رشد، زراعت باقلا در استان گلستان عمدتاً و در اکثر سال‌ها به‌شکل دیم انجام می‌شود و در سال‌هایی که نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تأمین نمی‌شود، یک یا دو نوبت (معمولاً در دوره رشد نیام) آبیاری تکمیلی صورت می‌گیرد. در میان مزارع مورد بررسی، در هشت درصد از مزارع، آبیاری انجام شد و حدود ۹۲ درصد از مزارع باقلای مورد بررسی به‌صورت دیم بودند (شکل ۹). در مناطق گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا اکثر کشاورزان، آبیاری را به‌صورت غرقابی انجام می‌دهند و آب مورد نیاز برای آبیاری مزارع باقلا از منابع آب زیرزمینی (چاه) تأمین می‌شود. با توجه به اتکای بالای کشت باقلا در استان گلستان به بارندگی و کمبود منابع آب زیرزمینی، توسعه روش‌های آبیاری نوین مانند آبیاری قطره‌ای و بارانی به‌جای آبیاری غرقابی سنتی برای کاهش مصرف آب، افزایش راندمان آبیاری و حفظ منابع آب زیرزمینی ضروری است.

حفاظت گیاهی

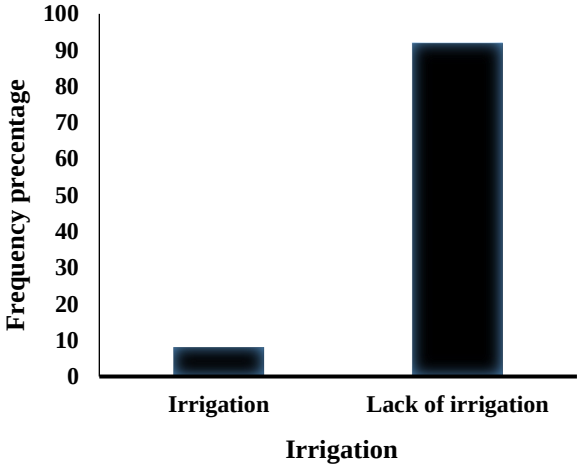
با توجه به نتایج، از ۴۴۵ مزرعه مورد بررسی در ۳۳۸ مزرعه از آفت‌کش استفاده شد. دفعات استفاده از آفت‌کش در مزارع بین یک تا سه مرتبه متغیر بود (شکل ۱۰ الف). در ۳۵۶ مزرعه از علف‌کش استفاده شد. تعداد دفعات کاربرد علف‌کش بین یک تا سه مرتبه متغیر بود (شکل ۱۰ ب). همچنین، در ۲۹۳ مزرعه از قارچ‌کش استفاده شد. تعداد دفعات استفاده از قارچ‌کش نیز بین یک تا سه مرتبه متغیر بود (شکل ۱۰ س). تعداد دفعات استفاده از آفت‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش با توجه به شرایط آب‌وهوایی و میزان فراوانی آفت، بیماری و علف‌هرز متفاوت بود. آفت‌کش‌های معمول مورد استفاده در مزارع باقلا شامل آفت‌کش‌های سیستمیک مانند دیازینون، کنفیدور، پریمیکارپ، تیودیکارب (لاروین) و آفت‌کش‌های غیرسیستمیک مانند مالاتیون، متالدهید، دانیتول، آوانت و فوزالن می‌باشد که در این میان، آفت‌کش‌های دیازینون (۳۱ درصد) و کنفیدور (۲۲ درصد) بیشترین درصد مورد استفاده توسط کشاورزان منطقه مورد مطالعه را دارا بودند که برای مبارزه با مهم‌ترین آفات باقلا یعنی شته‌سیاه باقلا (*Aphis fabae*) و سوسک باقلا (*Bruchus rufimanus*) مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱۰ ب).

علف‌کش‌های متداول مورد استفاده در مزارع شامل ترفلان، بنتازون، سوپرگالان، سیمازین، سونالان و سینکور بود (شکل ۱۰ د) که از گروه علف‌کش‌های سیستمیک می‌باشند و برای مبارزه با علف‌های هرز در مزارع مورد بررسی نظیر دم‌روباهی-لاغر (*Alopecurus myosuroides huds*)، یولاف‌وحشی (*Avena fatua* L.)، کنگروحشی (*Cirsium arvensis* L. scop.)، سلمه‌تره (*Chenopodium albom* L.)، خردل‌وحشی (*Sinapis arvensis*)، بنفشه صحرایی (*Viola arvensis murr*)، گاوچاق‌کن (*Sonchus arvensis* L.) و غیره توسط کشاورزان منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۸- درصد فراوانی استفاده از کود پایه نیتروژن (الف)، کود سرک نیتروژن (ب)، تعداد کود سرک نیتروژن (س) و درصد فراوانی تجمعی استفاده از کود نیتروژن (د)، کود فسفر (ای) و کود پتاسیم (ف) در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 8- Frequency percentage of using nitrogen base fertilizer (A), nitrogen acetic fertilizer (B), number of nitrogen acetic fertilizer (C) and cumulative frequency percentage of using nitrogen fertilizer (D), phosphorus fertilizer (E) and potassium fertilizer (F) in the production of faba bean in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola



شکل ۹- درصد فراوانی استفاده و عدم استفاده از آبیاری در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی آبادکتول و آق‌قلا

Fig. 9- Frequency of using and not using irrigation in the production of faba bean in the cities of Gorgan, Ali Abadkatol and Aqqola

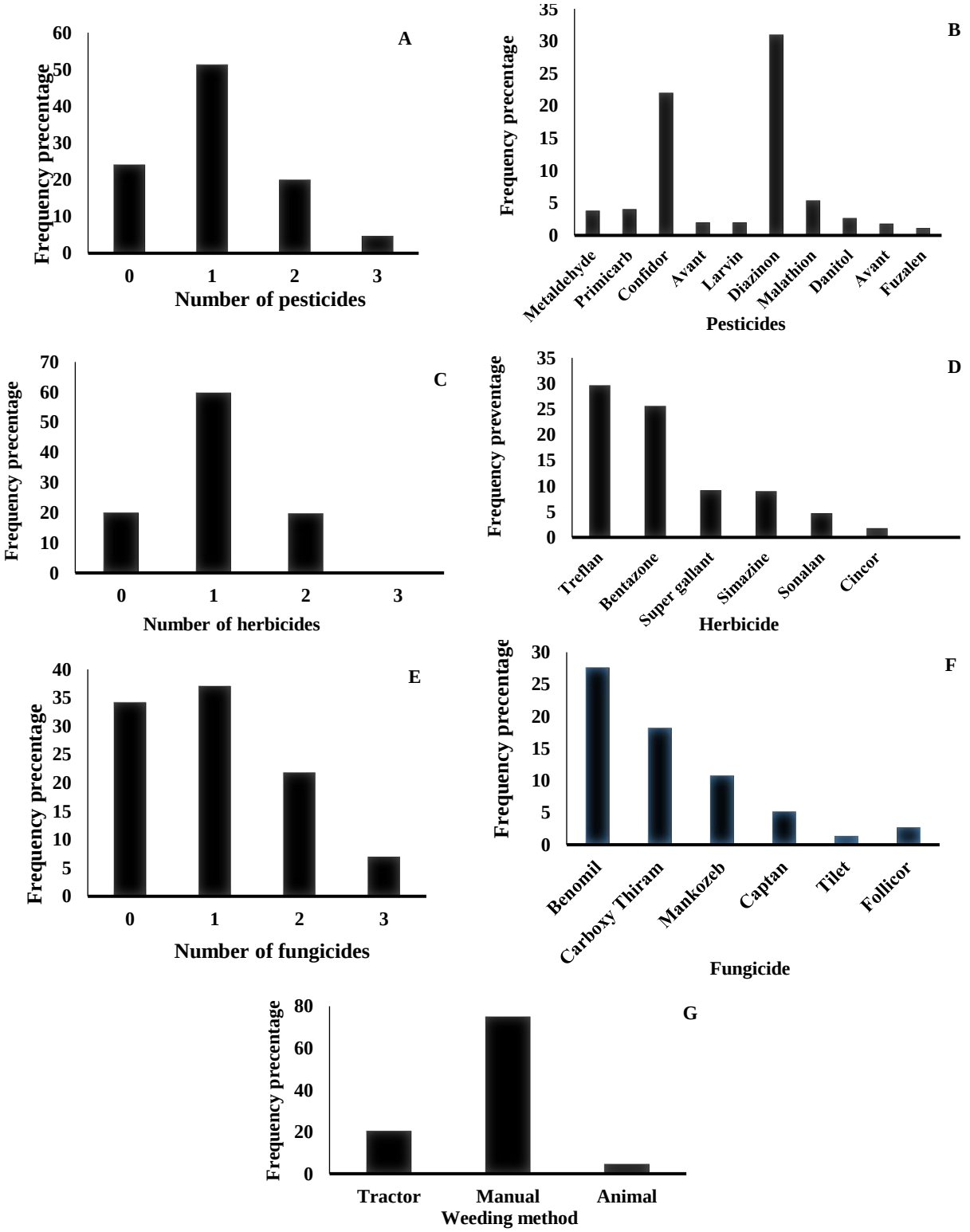
علف‌کش ترفلان عمدتاً به‌صورت خاکی و قبل از کشت باقلا مصرف می‌شود و بیشترین درصد (۳۰ درصد) مصرف توسط کشاورزان را دارا بود (شکل ۱۰ د). همچنین، کشاورزانی که از علف‌کش‌ها در تولید باقلا استفاده نکردند، برای کنترل فیزیکی علف‌های هرز عمدتاً از طریق وجین دستی توسط کارگران (۷۵ درصد) و یا استفاده از حیوان (پنج درصد) و تیلر به همراه کولتیواتور مخصوص (۲۰ درصد) عمل کنترل علف‌های هرز را انجام دادند (شکل ۱۰ ج).

قارچ‌کش‌های مورد استفاده جهت مبارزه با بیماری شامل بنومیل، کاربوکسی تیرام، مانکوزب، کاپتان، تیلت و فلیکور بود که از گروه قارچ‌کش‌های سیستمیک می‌باشند و در این میان، قارچ‌کش بنومیل (۲۸ درصد) و کاربوکسی تیرام (۱۸ درصد) بیشترین درصد استفاده توسط کشاورزان منطقه را دارا بودند (شکل ۱۰ ف). این قارچ‌کش‌ها برای مبارزه با بیماری‌هایی نظیر لکه‌شکلاتی باقلا (*Botrytis fabae Sard*)، لکه‌برگی آلترناریایی (*Alternaria alternate*) و سوختگی استمفلیلیومی (*Stemphylium vesicarium*) که از مهم‌ترین بیماری‌های باقلا در منطقه مورد مطالعه بودند، مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۱۰ ف).

با اجرای توصیه‌های مدیریتی نظیر مدیریت تلفیقی آفات، استفاده از آفت‌کش‌های کم‌خطر، رعایت دستورالعمل‌های مصرف، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، دقت در زمان استفاده از علف‌کش، آموزش و ترویج مصرف آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها می‌توان مصرف آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها را در مزارع باقلا به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد و به حفظ سلامت انسان، محیط زیست و پایداری تولید کمک کرد.

برداشت

برداشت باقلا در مزارع مورد بررسی از اواخر فروردین‌ماه شروع و تا اواخر اردیبهشت‌ماه به اتمام رسید. با توجه به تاریخ کاشت، نوع رقم و شرایط محیطی طول دوره رشد باقلا بین ۱۶۷ تا ۲۲۱ روز تغییر می‌کند (شکل ۱۱ الف). حدود نُه درصد از کشاورزان قبل از ۱۱۰ اُمین روز از سال میلادی یا اول اردیبهشت اقدام به برداشت باقلا کردند و حدود ۳۹ درصد از کشاورزان بین ۱۱۰ روز تا ۱۲۴ اُمین روز از سال میلادی یا ۱۵ اردیبهشت‌ماه و حدود ۵۲ درصد از کشاورزان بعد از ۱۲۴ اُمین روز از سال میلادی یا ۱۵ اردیبهشت‌ماه اقدام به برداشت باقلا کردند (شکل ۱۱ ب). در حدود ۹۸ درصد از کشاورزان برداشت باقلا را به‌صورت دستی + کمباین انجام دادند و تنها حدود دو درصد کشاورزان محصول خود را به‌طور مستقیم توسط کمباین برداشت کردند (شکل ۱۱ س). به‌طور کلی، انتخاب روش برداشت بستگی به فاصله اولین غلاف باقلا از سطح زمین و وضعیت تسطیح زمین و توانایی مالی کشاورز جهت تأمین کمباین مخصوص برداشت دارد. البته تراکم بوته نیز از طریق تأثیر بر فاصله پایین‌ترین غلاف‌ها از سطح خاک بر امکان و کیفیت برداشت مستقیم کمباین تأثیر می‌گذارد. با توجه به تنوع در زمان برداشت باقلا در بین کشاورزان (از حدود ۱۱۰ تا ۲۲۱ روز پس از کاشت)، توصیه می‌شود که برنامه‌ریزی جامعی برای برداشت باقلا با تسهیل استفاده کشاورزان از کمباین و مدیریت برداشت مطلوب با در نظر گرفتن تاریخ کاشت، نوع رقم و شرایط محیطی هر مزرعه انجام شود.

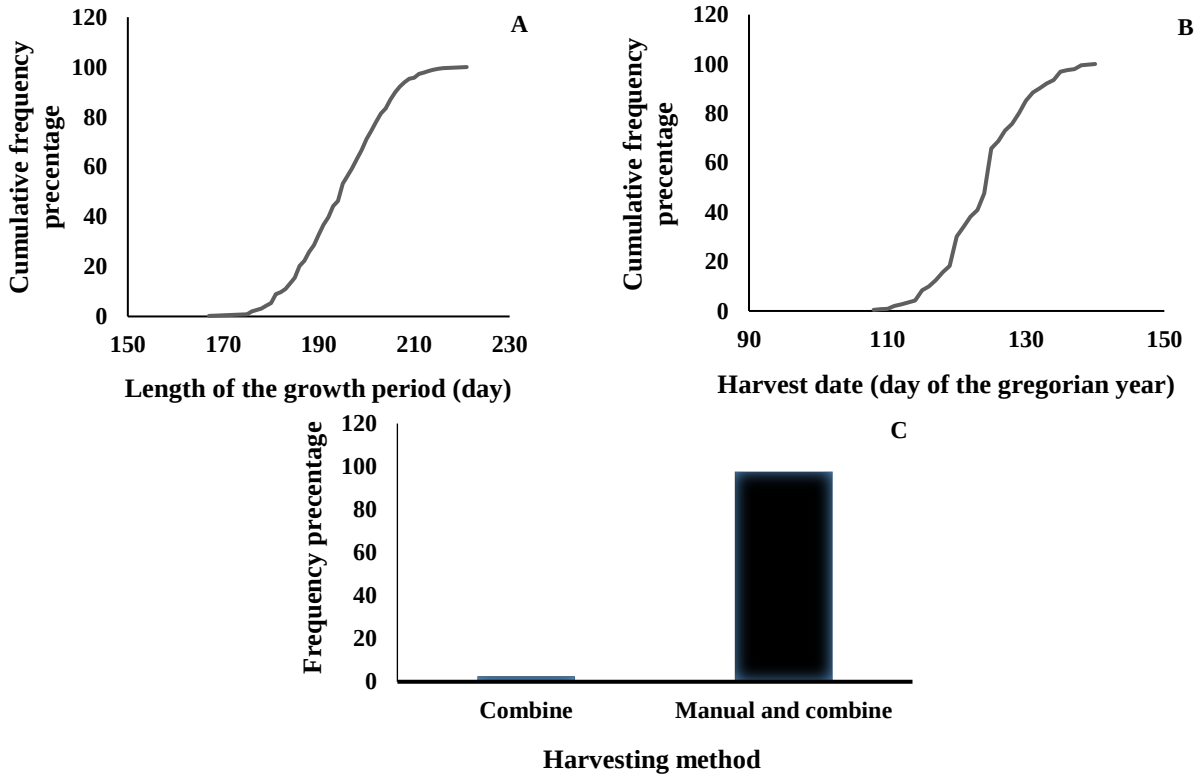


شکل ۱۰- درصد فراوانی تعداد استفاده از انواع آفت‌کش (الف) و نوع آن (ب)، درصد فراوانی تعداد استفاده از انواع علف‌کش (س) و نوع آن (د)، درصد فراوانی تعداد استفاده از انواع قارچ‌کش (ای) و نوع آن (ف) و درصد فراوانی روش‌های انجام وجین (ج) در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 10- The frequency percentage of the number of types of pesticide use (A) and its type (B), the frequency percentage of the use of herbicide types (C) and its type (D), the frequency percentage of the use of fungicide types (E) and its type (F) and the frequency of weeding methods (G) in the production of faba bean in the cities of Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola

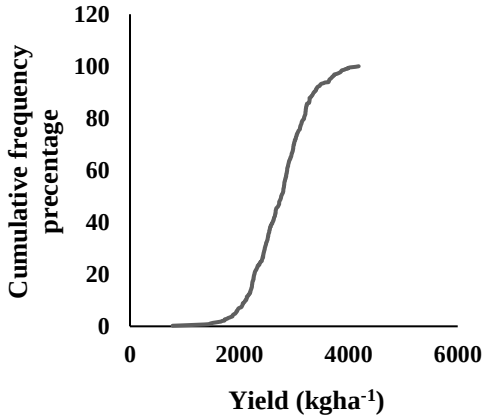
عملکرد

با توجه به نتایج، میانگین عملکرد دانه باقلا در ۴۴۵ مزرعه بررسی شده در سه شهرستان گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا ۲۷۴۶ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین عملکرد دانه، ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین عملکرد دانه، ۴۱۸۷ کیلوگرم در هکتار به ثبت رسید. حدود ۷۰ درصد از کشاورزان کمتر از ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار دانه باقلا برداشت کردند (شکل ۱۲). با در نظر گرفتن مجموع عوامل مدیریتی ذکر شده می‌توان به بالاترین میزان عملکرد باقلا دست یافت.



شکل ۱۱- درصد فراوانی تجمعی طول دوره رشد (روز) (الف)، تاریخ برداشت (روز از سال میلادی) (ب) و درصد فراوانی روش برداشت (س) در تولید باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 11- Cumulative frequency percentage of length of growing period (days) (A), harvest date (day of the Gregorian year) (B) and frequency percentage of harvesting method (C) in faba bean production in Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola cities



شکل ۱۲- درصد فراوانی تجمعی عملکرد باقلا (کیلوگرم در هکتار) در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا

Fig. 12- Cumulative abundance percentage of bean yield (kg.ha^{-1}) in bean farms in Gorgan, Aliabad Katul and Aqqola cities

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده سابقه تولید کشاورزان منطقه بین ۳ تا ۵۰ سال متغیر بود. ۴۵ درصد از کشاورزان سابقه تولید کمتر از ۱۰ سال را داشتند و ۵۵ درصد از کشاورزان سابقه تولید بین ۱۰ تا ۵۰ را دارا بودند. مساحت مزارع باقلا در منطقه بین ۰/۲ تا ۲۰ و به‌طور متوسط ۱/۷ هکتار بود. تاریخ کاشت باقلا در منطقه از ۱۴ مهر تا ۲۵ آبان‌ماه بود و ۴۸ درصد زارعین بین ۱۴ مهر تا ۳۰ آبان اقدام به کاشت باقلا کردند. ۹۷ درصد از کشاورزان منطقه جهت آماده‌سازی بستر کاشت باقلا از خاک‌ورزی اولیه توسط گاوآهن برگردان‌دار (یک تا دو مرتبه) استفاده کردند و بین یک تا شش مرتبه عمل دیسک‌زنی برای مزارع مورد بررسی ثبت شد، به‌طور معمول یک تا سه بار دیسک زدن زمین رایج می‌باشد، به‌طوری‌که ۶۶ درصد از کشاورزان را شامل شد. در منطقه، استفاده از دستگاه خطی‌کار رایج‌تر از سایر دستگاه‌ها برای کاشت بود. دامنه مصرف بذر توسط کشاورزان ۶۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود که ۶۹ درصد کشاورزان بین ۷۰ تا ۹۰ کیلوگرم بذر در هکتار برای کاشت استفاده نمودند و رقم برکت بیشتر (۹۳ درصد) برای کشت مورد استفاده کشاورزان قرار گرفته بود. در مزارع مورد بررسی، ۹۹ درصد کشاورزان از کود پایه (اوره) استفاده کردند. دفعات مورد استفاده از کود سرک اوره توسط کشاورزان بین یک تا سه مرتبه انجام گردید. در این مطالعه، در حدود ۴۴ درصد کشاورزان فقط یک مرحله کود اوره را به‌صورت سرک استفاده نمودند. کود پایه عمده مورد استفاده کشاورزان کود اوره است که به‌وسیله دستگاه کودپاش در مزارع پخش می‌گردد. مستندسازی مربوط به مرحله داشت نشان داد که با توجه به شرایط آب‌وهوایی و میزان بارندگی در طول فصل رشد هشت درصد از مزارع عمل آبیاری را انجام دادند و حدود ۹۲ درصد از مزارع به‌صورت دیم اقدام به کشت باقلا نمودند. از ۴۴۵ مزرعه مورد بررسی، در حدود ۳۳۸ مزرعه از آفت‌کش استفاده کردند، دفعات استفاده از آفت‌کش در مزارع بین یک تا سه مرتبه متغیر بود. حدود ۳۵۶ مزرعه از علف‌کش استفاده کردند، تعداد دفعات کاربرد علف‌کش بین یک تا سه مرتبه متغیر بود. همچنین، حدود ۲۹۳ مزرعه از قارچ‌کش استفاده کردند، تعداد دفعات استفاده از قارچ‌کش نیز بین یک تا سه مرتبه متغیر بود. نتایج مربوط به مستندسازی فرآیندهای مرحله برداشت نشان داد که زمان برداشت باقلا در مناطق مورد بررسی با توجه به شرایط آب‌وهوایی و تاریخ کاشت از اواخر فروردین‌ماه تا اواخر اردیبهشت‌ماه انجام گرفت. بیشتر کشاورزان، برداشت باقلا را توسط روش دستی + کمباین انجام دادند و تنها درصد کمی مستقیماً با کمباین، برداشت را انجام دادند. براساس تنوع مدیریتی در مزارع کشاورزان منطقه، میزان عملکرد بین ۷۸۰ تا ۴۱۸۷ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. اطلاعات به‌دست آمده در ۴۴۵ مزرعه باقلا در شهرستان‌های گرگان، علی‌آباد کتول و آق‌قلا با استفاده از روش‌های آماری تحلیل مقایسه کارکرد و آنالیز خط مرزی، نیز مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت، امّا چون در این مطالعه فقط به مستندسازی فرآیند تولید باقلا پرداخته شده است، از آوردن نتایج مربوط به آن‌ها اجتناب گردید، ولی می‌توان توصیه‌هایی جهت دست‌یابی به عملکرد مطلوب باقلا در این مناطق نمود که عبارتند از مصرف حداقل ۲۳ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار در هنگام کاشت، مصرف حداقل ۴۸ کیلوگرم در هکتار کود فسفر در هنگام کاشت، مصرف حداقل ۲۴ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در هنگام کاشت، کاشت باقلا پیش از ۲۵ مهر، مصرف حداقل ۸۰ کیلوگرم بذر در هکتار، استفاده از دستگاه ردیف‌کار برای کاشت باقلا، مبارزه با آفات، مبارزه با بیماری‌ها، مبارزه با علف‌های هرز، ایجاد تراکم ۱۱ بوته در مترمربع، کاشت در عمق (پنج سانتی‌متر)، آماده‌سازی مناسب زمین با حداقل سه بار دیسک. در مجموع، نتایج این تحقیق می‌تواند جزئیات فرآیند تولید باقلا را برای دانشجویان و پژوهشگران جهت انجام پروژه‌های آتی روشن سازد و نیز اطلاعات مصرف متداول نهاده‌ها را در اختیار علاقه‌مندان قرار دهد و در اجرای طرح‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد تحت شرایط متداول توسط معدل‌های گیاهان زراعی مفید واقع شود.

References

Agricultural Statistical Yearbook. 1401 (2022-2023). Crop Products. Office of Statistics and Information Technology, Deputy of Planning and Economic Affairs. Ministry of Jihad Agriculture, Iran. 539 p. (In Persian)

Essam, E., Gomaa, M. A., Rehab, Y. G., & Hany, S. A. (2023). Productivity of some faba bean (*Vica faba* L.) cultivars under different planting times. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, *14*(1), 105-111. https://doi.org/ 10.21608/eajbsh.2023.302851

Gangadharan, V., & Gupta, D. (2020). Recognizing Named entities in agriculture documents using LDA based topic modeling techniques. *Procedia Computer Science*, *171*, 1337-1345. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.143

Grenz, J. H., Manschadi, A. M., Uygur, F. N., & Sauerborn, J. (2005). Effects of environment and sowing date on the competition between faba bean (*Vicia faba*) and the parasitic weed *Orobanche crenata. Field Crops Research*, *93*(2-3), 300-313. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.11.001

Kazeminejad, R., & Rezaee, A. (2023). Evaluating the status of agrobiodiversity in Golestan province. *Agricultural Economics Research*, *15*, 43-28. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.30495/jae.2023.28699.2281

Kibbou, F., Bouhmadi, K. E., Ghanem, M. E., Marrou, H., & Sinclair, T. R. (2021). Analysis for improved sowing date for winter faba bean in Morocco. *International Journal of Plant Production*, *15*(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90074-6

Mohamed, E. L., Belal, A., Abd-Elmabod, S., El-Shirbeny, M., Gad, A., & Zahran, M. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *24*(4), 971-981. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.08.007

Ramroudi, M., Tahmasebi, M., Soltani, A., Ghanbari, A., & Fakheri B. A. (2019). Documenting the process of wheat production in irrigated and rain-fed systems in Golestan province. *Iranian Journal of Agroecology*, *10*(4), 1177-1202. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22067/jag.v10i4.62926

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., & Zeinali, E. (2013). Documentation of wheat production process in Gorgan. *Iranian Journal of Plant Production Research*, *19*(4), 19-42. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 20.1001.1.23222050.1391.19.4.2.4

Vahabipoor, M., Sabzghabaei, G. R., & Dashti, S. (2021). Determining the environmental effects of bean and lentil production by life cycle assessment method (Case study: Yasuj city). *Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 303-316. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22034/saps.2021.13111

Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance a review. *Field Crops Research*, *143*, 4-17. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009

Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S., & Ajamnoroozi, H. (2019). Documenting production process and the ranking factors causing yield gap in rice fields in Sari, Iran. *Iranian Journal of Agricultural Research*, *38*(1), 101-109. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22099/IAR.2019.5316

Zeleke, K., & Nendel, C. (2019). Growth and yield response of faba bean to soil moisture regimes and sowing dates: Field experiment and modeling study. *Agricultural Water Management*, *213*(1), 1063-1077. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.023

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 333-349
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۴۹-۳۳۳
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89320.1095

Effect of Plasticulture and Planting Method on Morpho-Physiological Characteristics and Weeds of Pea (*Pisum sativum* L.)

Maryam Valipour[1], Hassan Heidari[2*], Sohbat Bahraminejad[3]

Received: 10-08-2024
Revised: 22-09-2024
Accepted: 10-11-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Valipour, M., Heidari, H., & Bahraminejad, S. (2024). Effect of plasticulture and planting method on morpho-physiological characteristics and weeds of pea (*Pisum sativum* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(2), 333-349. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89320.1095

Introduction

In contemporary agriculture, the monoculture system of cereal crops is prevalent. Legumes are the most important plant family for crop rotation and sustainable agriculture due to their nitrogen fixing capabilities. Rainfed agricultural ecosystems are the largest food-producing biomes globally, with water scarcity and fluctuating rainfall being the most significant limiting factors for crop production. The growing demand for freshwater resources will increase the agricultural sector's vulnerability under future climate conditions, restricting production. Kermanshah province, where 78.4% of the land is arid, faces unique weather conditions and is particularly affected by drought stress. In rainfed farming systems, a suitable solution to conserve water at the farm scale is to create a suitable planting bed. The most common method of seed bed preparation among farmers is the normal flat planting method. The flat planting method, which is easy to prepare, is associated with a series of basic problems, such as reducing the efficiency of water use, reducing the efficiency of nitrogen fertilizer use, reducing plant establishment, and the soil capping. Preparing the planting bed by changing the physical conditions of the seed bed, i.e. the thermal, humidity, ventilation and resistance characteristics of the soil, can affect the seedling emergence and the growth of the plant. By creating a ridge and furrow bed and nylon mulch, the soil moisture can be saved for different stages of plant growth.

Materials and Methods

The current research was carried out in the research Farm, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University during the cropping years of 2019 and 2020 as a factorial design based on randomized complete blocks with three replications. The treatments included nylon mulch (without nylon, nylon on the plant and nylon on the soil) and the method of planting in the bed (flat planting, planting in a 50 cm furrow, planting in a 100 cm furrow). The dimensions of each of the experimental plots were 2 m x 2m. In each plot, there were four rows of cultivation at a distance of half a meter, and the distance between the plants on each row was 10 cm. The distance between the experimental plots was one and a half meters. The traits studied included nitrogen use efficiency, leaf specific weight, leaf area index, stem dry weight, leaf dry weight, number of leaves per plant, plant height, dry weight of broadleaf weed, dry weight of narrow leaf weed, crude protein of green seed, and leaf greenness index. After Bartlett's test, the results showed that the dry weight of broad-leaved weeds, the dry weight of narrow-leaved weeds, seed protein and leaf greenness can be analyzed as a combined analysis of variance over two years, and the rest of the traits can be analyzed separately in each year. The data were analyzed using SAS software version 9.1 and the mean of the treatments were compared with the LSD method at a probability level of 5%.

Results and Discussion

According to the results of analysis of variance per year, plant height, number of leaves per plant, leaf area index, specific leaf weight and nitrogen consumption efficiency (first year) and specific weight leaf (second year) were affected by the double interaction of nylon and planting bed. The combined analysis of variance showed that broadleaf weed dry weight and leaf greenness were affected by the triple interaction effect of year, nylon and planting bed. According to the mean comparison results (first year), the highest and lowest leaf area index values were obtained in the treatment of nylon on the plant with planting in a 50 cm furrow (3.82) and treatment without nylon with planting in a 50

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Associate Professor and Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
* Corresponding Author: h.heidari@razi.ac.ir

cm furrow (3.26), respectively. The highest and lowest efficiency of nitrogen use were related to the treatment of nylon on soil with planting in a 50 cm furrow (152 $kg.kg^{-1}$) and treatment of without nylon and flat planting (81 $kg.kg^{-1}$), respectively. According to the comparison of the mean of the combined analysis of variance, the highest dry weight of broadleaf weeds was obtained in the treatment of the first year, nylon on the plant and flat planting (489 $kg.ha^{-1}$), and the lowest in the treatment of the first year, nylon on soil and planting in a 100 cm furrow (71 $kg.ha^{-1}$).

Conclusions

In this study, the plastic cover on the soil had the highest nitrogen use efficiency and the lowest weed growth due to weed suppresion. These two factors are acceptable reasons for increasing the growth under treatment of plastic cover on the soil. In line with the report of various studies, the treatment of planting in the 50 cm furrow floor reduced the drought stress and increased the growth of the plant by affecting the available water, and this drought stress reduction was more evident in the second year due to the low amount of rainfall.

Keywords: Dry weight, Mulch, Nitrogen use efficiency, Ridge and furrow, Specific leaf weight

Authors' contribution

First author: Implementation of the work, data collection, software/statistical analysis, writing the initial version of the article.

Second author: Guiding, editing and revising the article, controlling the results.

Third author: Consultation, revision of the text of the article.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 333-349
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۳۴۹-۳۳۳
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.89320.1095

تأثیر کشت زیر نایلون و نحوه کاشت بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و علف‌های هرز نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.)

مریم ولی‌پور[۱]، حسن حیدری[۲*]، صحبت بهرامی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹

چکیده

استفاده از مالچها در دیم‌کاری اهمیت بالایی دارد. مالچها اثرات فراوانی مانند کنترل فرسایش، تبخیر و کنترل علف‌های هرز دارند. پژوهش حاضر در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل مالچ نایلونی (بدون نایلون، نایلون روی گیاه و نایلون روی خاک) و نحوه کاشت (مسطح، درون جویچه نیم متری و درون جویچه یک متری) بود. داده‌ها بر اساس آزمون بارتلت، در سال یا به‌صورت آزمون مرکب در دو سال تجزیه شدند. طبق نتایج مقایسه میانگین سال اول بیشترین شاخص سطح برگ نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) در تیمار مالچ نایلونی روی گیاه و کشت درون جویچه نیم متری (۳/۸۲) و کمترین آن در تیمار بدون مالچ نایلون و کشت درون جویچه نیم متری (۳/۲۶) حاصل شد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن دانه مربوط به تیمار نایلون روی خاک و کشت درون جویچه نیم متری (۱۵۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) و کمترین آن مربوط به تیمار بدون نایلون و کشت مسطح (۸۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) بود. طبق مقایسه میانگین تجزیه مرکب بیشترین وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ در تیمار سال اول، نایلون روی گیاه و کشت مسطح (۴۸۹ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن‌ها در تیمار سال اول، نایلون روی خاک و کشت درون جویچه یک متری (۷۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. در سال اول کشت بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای نایلون روی گیاه و کشت درون جویچه نیم‌متری (۶۶ سانتی‌متر) و نایلون روی خاک و کشت درون جویچه نیم-متری (۶۶ سانتی‌متر) و کمترین ارتفاع در تیمار بدون نایلون و بستر مسطح (۵۸ سانتی‌متر) حاصل شد. بیشترین میزان سبزینگی در سال اول، نایلون روی خاک و کشت درون جویچه نیم متری (۵۸ اسپد) و کمترین میزان آن در سال اول، بدون نایلون و بستر مسطح (۵۰ اسپد) حاصل شد. در مجموع، نتایج نشان داد که مالچ نایلونی و کشت در کف جویچه نیم متری به‌دلیل تامین احتمالی رطوبت کافی و عدم رشد علف‌های هرز شرایط مناسب رشدی را برای بهبود خصوصیات مرفوفیزولوژیک نخود فرنگی فراهم کرد.

واژه‌های کلیدی: جویچه و پشته، کارایی مصرف نیتروژن، مالچ، وزن خشک، وزن مخصوص برگ

مقدمه

مهم‌ترین عامل محدودکننده برای تولید گیاهان زراعی تحت شرایط دیم، کمبود آب است (Karimi & Jolaini, 2017). استفاده روزافزون از منابع آب شیرین، آسیب‌پذیری بخش کشاورزی در شرایط اقلیم آینده را افزایش داده و تولیدات کشاورزی را محدود خواهدکرد (Moazzezi et al., 2020). استان کرمانشاه با اقلیم نیمه‌خشک و سهم ۷۸/۴ درصدی از زمین‌های دیم با مشکل خشکی مواجه است (Dashadi, 2022). در نظام‌های زراعی دیم یک راهکار مناسب برای حفظ آب در سطح مزرعه، ایجاد بستر مناسب کشت است. متداول‌ترین روش تهیه بستر بذر در بین کشاورزان، روش مسطح معمولی است که با وجود آسان بودن تهیه آن با برخی مشکلات اساسی از جمله کاهش کارایی مصرف آب، کاهش کارایی مصرف کود نیتروژن، کاهش استقرار گیاه و سله بستن سطح خاک همراه است (Majeed et al., 2015). تهیه بستر از طریق تغییر در شرایط فیزیکی بستر بذر، یعنی مشخصه‌های حرارتی، رطوبتی، تهویه‌ای و مقاومتی خاک، می‌تواند نحوه سبزشدن بذر و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Solhjou & Javadi, 2015). گزارش شده است که ایجاد بستر جوی‌وپشته در مقایسه با کشت مسطح،

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: h.heidari@razi.ac.ir)

شرایط مناسب رشدی مخصوصاً در شرایط کمبود آب را فراهم می‌آورد (Shahabi, 2017). علاوه‌بر تهیه بستر، یک راهکار پیشنهادی برای مقابله با خشکی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پوشش‌دار کردن خاک می‌باشد (Jiang et al., 2016Kasirajan & Ngouajio, 2012;). پوشش‌دار کردن خاک توسط فیلم نایلونی با تأثیر بر میزان دسترسی به آب خاک و دمای خاک و همچنین جمعیت علف‌های هرز، باعث افزایش پارامترهای مختلف رشد محصول می‌شود (Zhang et al., 2019).

در مطالعات انجام شده روی گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت دو روش کشت مسطح و جوی‌وپشته گزارش شد که سطح کلروفیل برگ پرچمی در تمام مراحل رشدی گندم، در کاشت بستر جوی‌وپشته بالاتر از روش کشت مسطح بود که علت را به کارایی بالاتر جذب نیتروژن و نهایتاً کارایی بهتر فتوسنتز برگی نسبت داده‌اند (Fahong et al., 2004). در پژوهشی با بررسی اثر سه روش کاشت شامل کشت مسطح، جوی‌وپشته و کشت فاروئی بر گیاه گندم گزارش شد که روش کشت اثر معنی‌داری بر غلظت عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در دانه گیاه داشت. بیشترین میزان عناصر دانه در روش کشت جوی‌وپشته حاصل شد که علت این امر مربوط به بیشتر بودن غلظت این عناصر در خاک در کشت جوی‌وپشته می‌باشد. همچنین با وجود تفاوت بین تیمارهای تهیه بستر در تجمع عناصر غذایی در بافت گیاهی، این تفاوت غلظت عناصر در دانه گندم تجلی پیدا نکرد و تمام سطوح بسترکاشت از لحاظ غلظت عناصر در دانه با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند (Pol Shekan-e Pahlavan et al., 2008). در یک بررسی اثر سه نوع روش کشت شامل کشت مسطح، کشت روی پشته و کشت کف جوی گزارش شد که بیشترین میزان علف هرز باریک برگ در تیمار کشت روی پشته و کمترین در تیمار کشت درون جوی مشاهده شد (Salehi & Monjezi, 2023).

امروزه مشکل کنترل علف‌های هرز در بخش کشاورزی نیاز به توجه ویژه دارد، به‌طوری‌که بیان شده است، خسارت علف‌های هرز در مزارع کشاورزی از آفات و بیماری‌ها بیشتر است. این خسارت در کشورهای توسعه یافته بین ۱۰ تا ۱۵ درصد کل محصول و در کشورهای در حال توسعه بیشتر است. بنابراین، بخشی از تلاش کشاورزان صرف مبارزه با علف‌های هرز می‌شود (Garshasebi, 2014). در این رابطه گزارش شده است که ایجاد بستر کشت از راه تأثیر بر توزیع عمودی شاخص سطح برگ (Li et al., 2010) و مالچ نایلونی با خفه کردن علف‌های هرز (Sharma & Sharma, 2019) بر رشد گیاه زراعی و کاهش استفاده از علف‌کش‌ها مؤثر هستند.

در بررسی اثر چهار نوع مالچ شامل چیپس چوب، پوکه معدنی، پلی‌اتیلن و برگ کاج بر گیاه رعنای زینتی (*Gaillardia aristata*) گزارش شد که مالچ روی ارتفاع گیاه، وزن خشک و تر ریشه و شاخساره، تراکم علف هرز و شاخص کلروفیل تأثیر معنی‌داری داشت و مالچ پلی‌اتیلن و برگ کاج نسبت به بقیه مالچها بهترین شرایط رشدی را ایجاد کردند (Kazemi & Jozay, 2021). گزارش شده است که پوشش نایلونی باعث افزایش جمعیت میکروبی و افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه، افزایش کلروفیل در برگ‌ها می‌گردد (Helaly et al., 2017).

نخود فرنگی (*Pisum sativum*) گیاهی یک‌ساله، علفی و از خانواده بقولات است که به‌منظور استفاده از دانه سبز آن کشت می‌شود. در زمین‌های دیم که کشت غلات مرسوم است و متوسط بارندگی سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد، نخود فرنگی گیاه مناسبی برای قرارگرفتن در تناوب با غلات می‌باشد (Peksen et al., 2004). کرمانشاه منطقه‌ای نیمه خشک بوده و قابلیت کشت دیم نخود فرنگی را دارد. با توجه به مطالب ارائه شده در مرور منابع، این مطالعه با هدف بررسی واکنش خصوصیات مرفوفیزیولوژیکی نخود فرنگی و علف‌های هرز آن تحت تأثیر مالچ نایلونی و نحوه کاشت اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (عرض ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی شامل کشت زیر نایلون در سه سطح (بدون نایلون، نایلون روی گیاه، نایلون روی خاک) و روش کاشت در سه سطح (کشت مسطح معمولی، کشت درون جویچه‌های نیم‌متری، کشت درون جویچه‌های یک متری) بود (شکل ۱). در هر دو سال نخود فرنگی «رقم شمشیری» در اواخر آبان ماه کشت شد. بذرهای کشت شده در پاییز سبز شدند. قبل از اجرای آزمایش با استفاده از فاروئر جویچه‌ها و پشته‌ها ایجاد گردید. سپس کرت‌بندی انجام شد و فاصله کرت‌های آزمایشی از یکدیگر یک و نیم متر و ابعاد هر یک از کرت‌ها به طول و عرض دو در دو مترمربع در نظر گرفته شد. در هر کرت، چهار ردیف کشت به‌فاصله نیم متر و فاصله بوته‌ها در هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. بعد از آماده‌سازی مزرعه، از

خاک محل آزمایش نمونه‌برداری شد و پس از انتقال به آزمایشگاه، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

نایلون مورد استفاده شفاف و با ضخامت ۲۰ میکرون و عرض ۱۸۰ سانتی‌متر بود. نایلون‌کشی بعد از کاشت و بعد یک بارندگی مساعد با دست اعمال شد، به‌طوری‌که کل کرت با نایلون پوشیده شد. برای نفوذ آب باران به زیر نایلون سوراخ‌هایی تعبیه شد. برای نگهداری نایلون روی گیاه از خاک پشته و چوب تر استفاده شد. به‌منظور نگهداری آب برای آخر فصل و حداکثر استفاده از نایلون، نایلون روی گیاه در مرحله گل‌دهی درکف جویچه‌ها قرار گرفت. به‌دلیل گرمای هوا در مرحله گل‌دهی، لازم بود نایلون روی گیاه برداشته شود. البته استفاده از نایلون روی خاک اشکالی نداشت. مقدار کمی نیتروژن (۲۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت آغازگر به خاک داده شد. گیاهان به‌صورت دیم کشت شدند و کنترل علف‌های هرز به‌صورت تک مرحله‌ای در گل‌دهی به‌صورت دستی انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات سطح برگ و شاخص سطح برگ، در مرحله گل‌دهی نخود فرنگی، نمونه‌برداری انجام گرفت. برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی برگ از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD 502) استفاده شد. میزان نیتروژن دانه تر به‌روش کجلدال اندازه‌گیری شد (Ranjbar et al., 2018). شاخص سطح برگ با کمک معادله‌های وزنی محاسبه شد (Hashemi Dezfuli, 1998). بدین صورت که در آزمایشگاه برگ‌هایی که از یک سطح مشخص از خطوط برداشت شدند، از ساقه‌ها جدا و با ترازوی دقیق توزین شدند. سپس از بین برگ‌ها، تعدادی برگ به‌طور تصادفی انتخاب شد. یک ورقه کاغذ تهیه شد، سطح معینی از آن جدا گردید و سپس وزن شد. برگ‌های جدا شده را روی ورقه کاغذ دیگری، از همان جنس، قرار داده و دور تا دور آن‌ها با نقطه‌چین علامت‌گذاری و سپس با قیچی و با دقت زیاد برش داده شد. سپس کاغذها وزن شدند و نهایتاً تناسب بسته شد.

پس از اندازه‌گیری نیتروژن دانه، محتوای پروتئین خام از حاصل‌ضرب نیتروژن در عدد ۶/۲۵ به‌دست آمد (Silva et al., 2005).

کارایی مصرف نیتروژن (NUE): عبارت است از میزان دانه تولید شده (W_G) به کل نیتروژن مصرف شده ($N_F + N_P$) بر حسب کیلوگرم بر کیلوگرم، از معادله زیر محاسبه شد (Huggins & Pan, 1993):

$$NUE = \frac{W_G}{N_F + N_P}$$ معادله (۱)

که در آن، N_F: مقدار نیتروژن مصرفی به‌صورت کود بر حسب کیلوگرم و N_P: میزان نیترات خاک در آزمایش اولیه خاک می‌باشند.

وزن مخصوص برگ پس از محاسبه وزن خشک و سطح برگ براساس معادله زیر محاسبه گردید (Heidari et al., 2012):

$$SLW = \frac{LDW}{LA}$$ معادله (۲)

که در آن، SLW: وزن مخصوص برگ (گرم بر سانتی‌متر مربع)، LDW: وزن خشک برگ (گرم) و LA: سطح برگ (سانتی‌مترمربع) می‌باشد.

عملیات نمونه‌برداری از علف‌های هرز به‌کمک کوادرات ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر مربع با احتساب اثر حاشیه هر کرت و فقط یک بار و در مرحله رشدی گل‌دهی در تاریخ ۲۶ اسفند انجام شد. بدین منظور، ابتدا علف‌های هرز تمیز و سپس به‌صورت علف‌های هرز باریک برگ و پهن‌برگ تفکیک و توزین شدند. نمونه‌ها در پاکت کاغذی در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین شدند. علف‌های هرز غالب مزرعه شامل میاگروم (*Myagrum* sp.)، خردل وحشی (*Sinapis arvensis*)، یولاف وحشی (*Avena fatua*)، جو دره (*Hordeum spontanum*) و شیرپنیر (*Galium verum*) بودند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین تیمارها با روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. پس از انجام آزمایش بارتلت، صفات وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ، وزن خشک علف‌های هرز باریک برگ، پروتئین دانه و شاخص سبزینگی به‌صورت تجزیه مرکب در دو سال و بقیه صفات به‌صورت تجزیه در هر سال به‌طور جداگانه تجزیه شدند.

نتایج و بحث

داده‌های هواشناسی

در طول دوره رشد گیاه نخود فرنگی در اکثر ماه‌های سال، دمای هوا در سال دوم کشت بالاتر از سال اول بود و این شرایط در سه ماهه آخر فصل کشت مشهودتر بود. دمای بالا در سال دوم کشت احتمالاً به‌علت بارش کم در این سال بود، به‌طوری‌که بارش در سال اول آزمایش تقریباً دو برابر سال دوم بود. اختلاف در بارش خصوصاً در انتهای دوره رشد گیاه مانند مرحله گل‌دهی و غلاف‌بندی که وجود بارش‌های بهاری برای پر شدن غلاف‌ها اساسی است، مشاهده شد (جدول ۲).

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس در سال اول کشت نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر بذر قرار گرفت (جدول ۳). در این سال، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای نایلون روی گیاه و بستر جویچه و پشته نیم‌متری و نایلون روی خاک و بستر جویچه و پشته نیم‌متری و کمترین ارتفاع در تیمار بدون نایلون و بستر مسطح حاصل شد (شکل ۲- A). در سال دوم ارتفاع بوته تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر قرار گرفت (جدول ۴). در سال دوم کشت، تیمار نایلون روی گیاه و نایلون روی خاک نسبت به بدون نایلون ارتفاع بوته بالاتری داشتند (جدول ۵). در این سال، جویچه و پشته نیم متری نسبت به کاشت مسطح و کشت در جویچه و پشته یک متری ارتفاع بوته بیشتری داشت (جدول ۶). افزایش ارتفاع بوته در اثر کاربرد مالچ می‌تواند مربوط به عوامل متعددی از جمله نقش مالچ در کاهش تبخیر، عدم رشد علف‌های هرز به‌عنوان گیاه رقیب در جذب آب و عناصر غذایی و بهبود دمای خاک باشد (Zhang et al., 2019Kazemi & Jozay, 2021;). بیان شده است که تولید مریستم‌های انتهایی ساقه موجب افزایش ارتفاع یا طول گیاه می‌گردد و وجود آب کافی که در نتیجه استفاده از مالچ فراهم می‌شود موجب بزرگ شدن مریستم‌های انتهایی بوته و در نتیجه، افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Dayo-Olagbende et al., 2019). کشت جویچه و پشته به‌علت دستیابی به آب و عناصر غذایی و نهایتاً افزایش میان‌گره‌ها باعث افزایش ارتفاع در گیاه بالنگو (*Lallenamntia royleana* Benth.) شد (Koocheki et al., 2014).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of experimental field soil

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت Texture	اسیدیته Acidity	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m^{-1})	کربن آلی Organic carbon (%)	کل نیتروژن Total nitrogen (%)
2019	0-20	رسی- سیلتی clay-silty	7.2	1.7	1.2	0.11
2020	0-20	رسی- سیلتی clay-silty	7.1	1.8	1.1	0.13

شکل ۱- کشت زیر نایلون و مالچ نایلونی روی خاک در مزرعه نخود فرنگی

Fig. 1- Cultivation under nylon and nylon mulch on the soil in pea field

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی منطقه کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

Table 2- Weather characteristics of Kermanshah region in 2019 and 2020

سال Year	ماه Month	میزان بارش Precipitation (mm)	میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C)
۱۳۹۸ 2019	مهر October	15.4	11.0	30.5
	آبان November	56.1	3.8	18.0
	آذر December	114.8	0.5	12.2
	دی January	25.6	-1.5	11.3
	بهمن February	43.5	-1.8	9.9
	اسفند March	148.2	3.7	16.7
	فروردین April	93.3	4.5	18.0
	اردیبهشت May	40.1	9.4	25.4
۱۳۹۹ 2020	مهر October	0.8	9.0	29.0
	آبان November	45.3	5.5	21.7
	آذر December	131.8	2.4	11.7
	دی January	7.6	-3.6	12.2
	بهمن February	93.5	-0.5	13.4
	اسفند March	21.7	1.1	14.8
	فروردین April	3.8	5.6	22.5
	اردیبهشت May	8.0	10.6	30.2

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس ساده داده‌ها نشان داد که این صفت در سال اول کشت تحت تأثیر اثر متقابل نایلون و بسترکشت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد برگ در بوته در سال اول، در تیمار نایلون روی گیاه و بستر نیم‌متری و کمترین در تیمار بدون نایلون و بستر مسطح حاصل شد (شکل ۲- B). همچنین در سال دوم کشت این صفت تحت تأثیر اثر ساده نایلون و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین تعداد برگ در بوته تحت نایلون، در تیمار نایلون روی خاک و کمترین در تیمار بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). همچنین بیشترین تعداد برگ در بوته تحت بستر کشت، در تیمار بستر جویچه و پشته نیم‌متری و کمترین در تیمار کشت مسطح حاصل شد (جدول ۶).

پژوهشگران شرایط میکرو اقلیم بهبود یافته تحت استفاده از مالچ را علت افزایش تعداد برگ در بوته در گیاه فلفل زینتی (*Capsicum annuum* L.) بیان کرده‌اند (Ashrafuzzaman et al., 2011). ایجاد بستر کشت جویچه و پشته باعث افزایش نگهداری رطوبت خاک می‌شود (Wang & Xing, 2016) و بر اثر تنش خشکی، تعداد برگ در گیاه به‌علت کند شدن رشد برگ و ریزش برگ در اثر پیری کاهش می‌یابد (Ghaemi et al., 2019)، بنابراین علت افزایش تعداد برگ را می‌توان بهبود رشد گیاه مانند افزایش ارتفاع و افزایش کارایی مصرف نیتروژن بیان کرد.

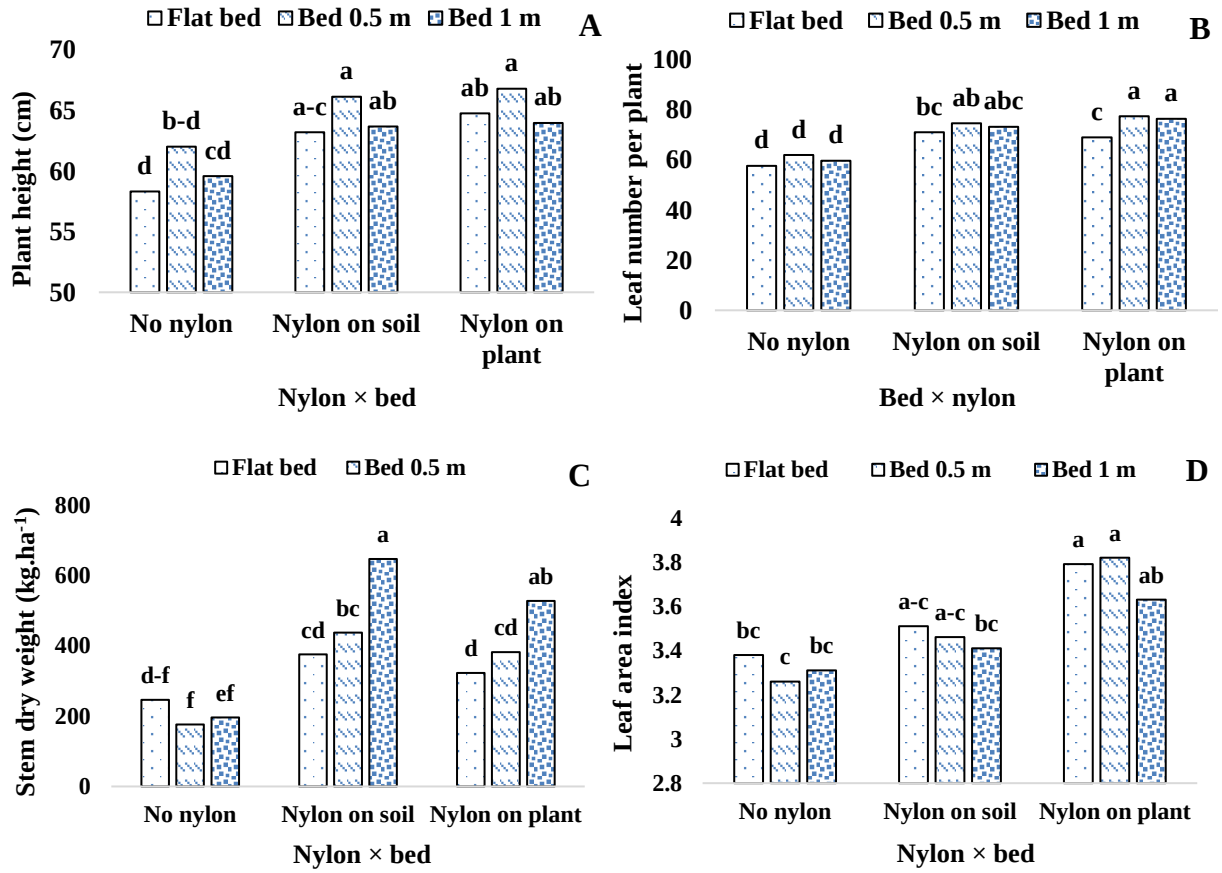
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد نایلون و بستر کاشت بر صفات مورد مطالعه نخود فرنگی در سال اول (۱۳۹۸)

Table 3- Analysis of variance (mean of squaress) of effect of plastic application and planting bed on pea studied traits in the first year (2019)

منابع تغیرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن مخصوص برگ Specific leaf weight	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency
بلوک Block	2	42.96**	121.2**	212513ns	35803**	0.05ns	1.53*	51.3ns
نایلون Nylon (N)	2	43.37**	161.2**	1581019**	133209*	0.03ns	1.55*	1644.2**
بستر Bed (B)	2	9.64ns	346.9**	99367ns	61946**	0.03ns	0.81ns	1936.6**
N × B	2	20.96**	80.1**	107315ns	17697*	0.21**	17.17**	583.7*
خطا Error	2	4.13	6.7	61471	5266	0.04	0.35	182.9
ضریب تغیرات CV (%)	-	3.21	3.7	19.66	19.40	5.40	16.72	11.12

*و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non significant



شکل ۲- اثر متقابل نایلون × بستر کشت بر ارتفاع بوته (A)، تعداد برگ در بوته (B)، وزن خشک ساقه (C) و شاخص سطح برگ (D) نخود فرنگی در سال اول (۱۳۹۸)

Fig. 2- Interaction effect of nylon × planting bed on plant height (A), number of leaves per plant (B), stem dry weight (C) and leaf area index (D) in pea in the first year (2019)

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کاربرد نایلون و بستر کاشت بر صفات مورد مطالعه نخود فرنگی در سال دوم (۱۳۹۹)

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of effect of plastic application and planting bed on pea studied traits in the second year (2020)

منابع تغیرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن مخصوص برگ Specific leaf weight	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency
بلوک Block	2	9.5^{ns}	57.25**	175844**	30094**	0.005^{ns}	1.08**	241.01^{ns}
نایلون Nylon (N)	2	40.3*	583.76**	119074*	20063**	0.095*	0.72**	2372.18**
بستر Bed (B)	2	54.9**	50.24**	133278**	2059^{ns}	0.016^{ns}	1.31**	101.85^{ns}
N × B	2	6.7^{ns}	10.49^{ns}	54655^{ns}	4029^{ns}	0.006^{ns}	1.09**	339.77^{ns}
خطا Error	2	6.6	3.52	21140	2320	0.018	0.10	121.49
ضریب تغیرات CV (%)		4.7	3.19	17.59	19.78	4.320	11.95	11.02

*و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non significant

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی نایلون بر برخی صفات نخود فرنگی در سال اول و دوم (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 5- Comparison of the average main effect of nylon on some pea traits in the first and second year (2019 and 2020)

تیمار Treatment	سال دوم						سال اول
	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (kg.ha^{-1})	وزن خشک ساقه Stem dry weight (kg.ha^{-1})	شاخص سطح برگ Leaf area index	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	وزن خشک برگ Leaf dry weight (kg.ha^{-1})
بدون نایلون No nylon	52.76^{b}*	49.55^{c}	699.38^{b}	195.69^{b}	3.02^{b}	59.72^{b}	803.7^{c}
نایلون روی خاک Nylon on soil	56.93^{a}	64.60^{a}	923.32^{a}	245.56^{a}	3.11^{ab}	86.08^{a}	1627.1^{a}
نایلون روی گیاه Nylon on plant	55.50^{a}	62.04^{b}	856.97^{a}	290.07^{a}	3.23^{a}	56.48^{b}	1351.6^{b}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار است.

* In each column, averages with at least one letter in common have no significant difference at the five percent level according to Duncan's test.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی بسترکشت بر برخی صفات نخود فرنگی در سال دوم (۱۳۹۹)

Table 6- Comparison of the average main effect of planting bed on some pea traits in the second year (2020)

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	وزن خشک برگ Leaf dry weight (kg.ha^{-1})
کشت مسطح Flat planting	53.73b*	56.01^{b}	705.52^{b}
کشت در جویچه نیم متری Planting in a 50 cm furrow	57.91^{a}	60.24^{a}	825.25^{ab}
کشت در جویچه یک متری Planting in a 100 cm furrow	53.54^{b}	59.94^{a}	948.89^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار است.

* In each column, averages with at least one letter in common have no significant difference at the five percent level according to Duncan's test.

وزن خشک برگ

طبق جدول تجزیه واریانس ساده داده‌ها مشاهده شد که این صفت در سال اول تحت تأثیر اثر ساده نایلون قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در این سال، بالاترین وزن خشک برگ در تیمار نایلون روی خاک و کمترین میزان نیز در تیمار بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). در سال دوم کشت، وزن خشک برگ تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین وزن خشک برگ در تیمارهای نایلون روی گیاه و نایلون روی خاک و کمترین مقدار در تیمار بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). همچنین تحت تأثیر بستر بذر در سال دوم، بالاترین وزن خشک در بستر جویچه و پشته یک متری و پایین‌ترین مقدار در بستر مسطح حاصل شد (جدول ۶). استفاده از مالچ، میزان جذب مواد غذایی توسط ریشه (Zhang et al., 2019; Gu et al., 2018)، فعالیت ریزجانداران خاک (Helaly et al., 2017) و نوسانات دمایی در عمق ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متری خاک (Lamont & Bartol, 2004) را تحت تأثیر قرار داده و این امر به نوبه خود سبب بهبود رشد ریشه می‌شود، بنابراین مجموع این عوامل باعث بهبود رشد گیاه شده و وزن خشک گیاه تحت کاربرد مالچ افزایش می‌یابد. در جهت تأیید این ادعا گزارش شده است که وزن تر و خشک گیاه در حضور مالچ‌های پلی‌اتیلن و برگ کاج افزایش یافت (Kazemi & Jozay, 2021). پوشش‌دار کردن جویچه در کشت جویچه و پشته به‌وسیله نایلون سبب نفوذ بیشتر بارندگی در خاک، کاهش تبخیر آب و افزایش دسترسی به آب برای زمان طولانی نسبت به کشت مسطح معمولی شده و در نتیجه، باعث افزایش رشد شاخساره و برگ در گیاه می‌شود (Javaid et al., 2022).

وزن خشک ساقه

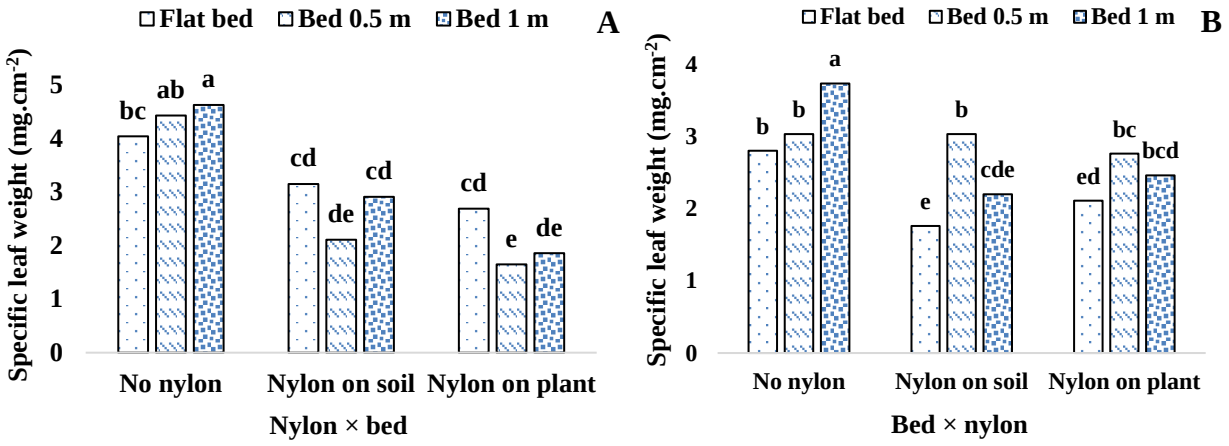
طبق جدول تجزیه واریانس داده‌ها در سال اول کشت، وزن خشک ساقه تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بالاترین و پایین‌ترین وزن خشک ساقه در تیمار نایلون روی خاک با جویچه و پشته نیم‌متری و بدون نایلون با جویچه و پشته یک‌متری حاصل شد (شکل ۲-C). در سال دوم کشت، وزن خشک ساقه تحت تأثیر اثر ساده نایلون قرار گرفت (جدول ۴). بالاترین و کمترین وزن خشک ساقه به‌ترتیب در تیمار نایلون روی گیاه و بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). مالچ در کف جویچه مانع از سله بستن خاک در ابتدای رشد، افزایش رشد ریشه‌چه گیاه و افزایش اولیه در زیست‌توده می‌شود و در نتیجه، افزایش جذب تشعشات و رشد بیشتر را به دنبال دارد (Pahlevani et al., 2022). طی بررسی اثر تیمارهای مختلف محل کاربرد مالچ بر رشد ذرت علوفه‌ای گزارش شد که وزن تر محصول در سه تیمار مالچ نایلونی همزمان روی پشته و کف جویچه، مالچ کف جویچه و مالچ روی پشته به‌ترتیب به‌مقدار ۶۱، ۵۶ و ۲۱ درصد نسبت به شرایط شاهد افزایش یافت که علت آن در دسترس بودن آب و کاهش مصرف انرژی توسط ریشه، برای در اختیار قرار دادن آب به گیاه گزارش شد (Pahlevani et al., 2022).

شاخص سطح برگ

نتایج تجریه واریانس داده‌ها نشان داد که در سال اول، شاخص سطح برگ تحت تأثیر اثر متقابل نایلون و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار نایلون روی گیاه با کشت مسطح و تیمار نایلون روی گیاه با کشت درون جویچه نیم‌متری و کمترین در تیمار بدون نایلون و جویچه و پشته نیم متری حاصل گردید (شکل ۲-D). همچنین در سال دوم کشت این صفت تحت اثر ساده نایلون قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان شاخص سطح برگ در تیمار نایلون روی گیاه و کمترین میزان در تیمار بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). احتمالاً نایلون با حفظ رطوبت خاک و کاهش تبخیر باعث افزایش سطح برگ گیاه شده است. بهبود رشد گیاه از طریق افزایش وزن و تعداد برگ در این تحقیق نیز مشخص است. در بررسی‌های مشابه بالاترین شاخص سطح برگ در تیمار مالچ پلی‌اتیلن گزارش شد، محققان علت این امر را به ذخیره آب و مواد غذایی در اطراف ریشه نسبت دادند (Patley et al., 2023). همچنین بیان شده است که حین استفاده از مالچ‌های سیاه، شفاف و چمن که پشته‌ها را پوشانده و گیاه داخل جویچه کشت می‌شود، شاخص سطح برگ در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) نسبت به شاهد افزایش یافت و علت را به نرخ رشد متفاوت محصول تحت تیمارهای مختلف مالچ نسبت دادند (Javaid et al., 2022).

وزن مخصوص برگ

این صفت در سال اول تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۳). بالاترین وزن مخصوص برگ در تیمار بدون نایلون و جویچه با پشته یک‌متری و کمترین میزان در تیمار نایلون روی گیاه با جویچه و پشته نیم‌متری حاصل شد (شکل ۳- A). در سال دوم کشت نیز این صفت تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۴). بالاترین وزن مخصوص برگ در تیمار بدون نایلون و جویچه و پشته یک متری و کمترین مقدار در تیمار نایلون روی خاک و بستر مسطح حاصل شد (شکل ۳- B).



شکل ۳- اثر متقابل نایلون × بستر کشت بر وزن مخصوص برگ نخود فرنگی در ۱۳۹۸ (A) و ۱۳۹۹ (B)

Fig. 3- The interaction effect of nylon × bed planting on pea specific leaf weight in 2019 (A) and 2020 (B)

کارایی مصرف نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن در سال اول تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر قرار گرفت (جدول ۳). بالاترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تیمار نایلون روی خاک با بستر بذر جویچه و پشته نیم متری و کمترین میزان در تیمار بدون نایلون با کشت مسطح حاصل شد (شکل ۴). در سال دوم کشت، این صفت فقط تحت تأثیر نایلون قرار گرفت (جدول ۴) و بالاترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تیمار نایلون روی خاک و کمترین میزان در تیمار بدون نایلون حاصل شد (جدول ۵). مالچ باعث کاهش آبشویی مواد معدنی (نیترات و پتاسیم) در خاک می‌شود (Liaghat et al., 2018) و از طریق این کاهش آبشویی، باعث بهبود کارایی استفاده از کود نیتروژن می‌شود (Wei et al., 2015). در مطالعات مشابه گزارش شده است که جویچه و پشته‌های پوشیده شده با مالچ به‌طور قابل توجهی ذخیره آب خاک را افزایش می‌دهند. افزایش رطوبت خاک در شرایط مالچ می‌تواند در دسترس بودن نیتروژن خاک را بهبود بخشد. تجمع نیتروژن بالا با بهبود کارایی مصرف نیتروژن باعث رشد محصول می‌شود (Javaid et al., 2022).

وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ

وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ تحت تأثیر اثر متقابل سال، نایلون و بستر کشت در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین میزان علف هرز خشک پهن برگ در تیمار سال اول، نایلون روی گیاه و بستر کشت مسطح و کمترین میزان در تیمار سال اول، نایلون روی خاک و بستر کشت جویچه و پشته یک متری حاصل شد (شکل ۵). علت کاهش علف‌های هرز تحت مالچ نایلونی را به کاهش نفوذ نور و ایجاد یک لایه فیزیکی خفه‌کننده که باعث کاهش جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز می‌شود، نسبت داده‌اند (Hamzei et al., 2017). مالچ نایلونی با افزایش دمای ناشی از تجزیه مواد آلی و افزایش CO_2، اندام‌های رویشی علف‌های هرز را تضعیف می‌کند و از بین خواهد برد (Johnson et al., 2007). در سیستم کشت جویچه و پشته، گیاهان زراعی نسبت به علف‌های هرز سریع‌تر رشد می‌کنند و در دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز که همان مراحل اولیه رشد است، تحمل بیشتری نسبت به رقابت با علف‌های هرز دارند. این امر منجر به افزایش عملکرد به‌علت کاهش در علف‌های هرز می‌شود (Alagbo et al., 2022). الگوهای کاشت بر توزیع عمودی شاخص سطح برگ و راندمان مصرف نور خورشید تأثیر می‌گذارد و این گونه بر زیست‌توده علف هرز تأثیر می‌گذارد (Li et al., 2010).

وزن خشک علف هرز باریک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک علف‌های هرز باریک برگ تحت تأثیر اثر ساده سال و اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفته‌است (جدول ۷). وزن خشک علف هرز باریک برگ در سال اول دارای میانگین ۳۹/۹۳ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم ۳۲/۳۲ کیلوگرم در هکتار بوده است. مقایسه میانگین نایلون و بستر کشت نشان داد که بیشترین وزن خشک علف هرز باریک برگ در تیمار نایلون روی گیاه با بستر کشت مسطح و کمترین وزن خشک علف هرز باریک برگ در تیمار نایلون روی خاک و بستر کشت جویچه و پشته یک متری حاصل شد و این تیمار با تیمار نایلون روی خاک و بستر کشت جویچه و پشته نیم متری از نظر آماری برابر بود (شکل ۶). بیشترین زیست‌توده علف هرز در تیمار

بدون مالچ در مزرعه گندم حاصل شد (Moradian et al., 2017). تأثیر مالچ بر علف هرز هم از بعد فیزیکی و هم شیمیایی گزارش شده است، بعد فیزیکی حالت عدم نفوذ نور و خفه‌کنندگی است و بعد شیمیایی شامل تولید مواد سمی توسط میکروب‌های تجزیه‌کننده، تغییر pH خاک و خاصیت آللوپاتی (دگرآسیبی) است (Sharma & Sharma, 2019). علت کاهش زیست‌توده و تراکم علف هرز پهن برگ تحت انواع مالچ را به کاهش جوانه‌زنی بذور فتوبلاست و یا نبود امکان رشد برای بذرهای جوانه زده در نتیجه تاریکی بیان کردند (Moradian et al., 2017). کشت کف جویچه باعث کاهش تراکم علف هرز تحله (*Corchorus olitorius* L.) و پیچک (*Convolvulus arvensis* L.) شد و در نتیجه، وزن خشک علف هرز نیز کاهش یافت (Akbia et al., 2020).

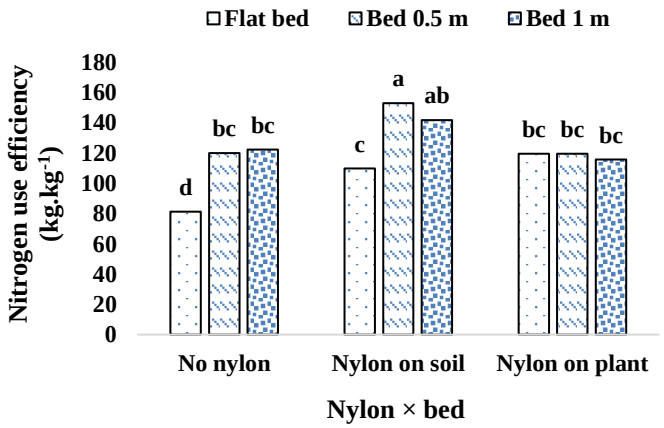
جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه نخود فرنگی تحت نایلون و بستر کشت

Table 8- Combied variance analysis (mean of squares) of pea studied traits under nylon and planting bed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن خشک علف هرز پهن برگ Dry weight of broadleaf weed	وزن خشک علف هرز باریک برگ Dry weight of narrow leaf weed	پروتئین خام دانه سبز Crude protein of green beans	شاخص سبزینگی Greenness index
سال Year (Y)	1	5776.0^{ns}	781.2**	0.188^{ns}	5.52^{ns}
بلوک (سال) Block (year)	4	3947.2^{ns}	227.5^{ns}	0.371^{ns}	6.15^{ns}
نایلون Nylon (N)	2	269398.9**	6687.9**	0.102^{ns}	25.62**
بستر Bed (B)	2	30442.9**	467.0*	0.483^{ns}	24.14**
Y × N	2	13622.8**	14.1^{ns}	0.001^{ns}	6.97^{ns}
Y × B	2	9897.3*	135.3^{ns}	0.486^{ns}	8.77^{ns}
N × B	2	2660.0^{ns}	616.5**	0.228^{ns}	16.12**
Y × N × B	4	7397.0*	165.8^{ns}	0.126^{ns}	11.53*
خطا Error	32	1995.0	89.5	0.247	3.64
ضریب تغیرات CV (%)	-	23.1	26.16	10.1	3.53

*و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non significant

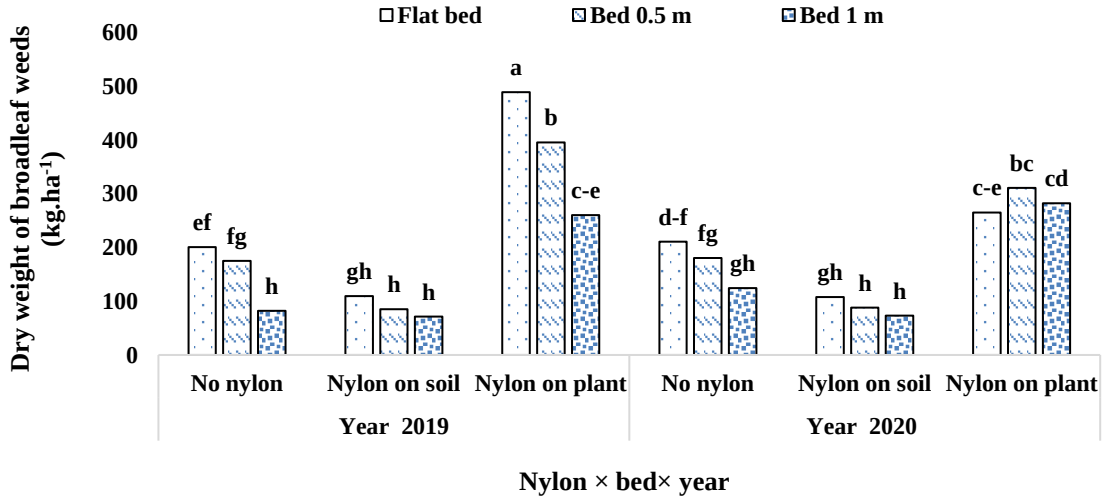


شکل ۴- اثر متقابل نایلون × بستر کشت بر کارایی مصرف نیتروژن نخود فرنگی در سال اول (۱۳۹۸)

Fig. 4- The interaction effect of nylon × planting bed on pea nitrogen use efficiency in the first year (2019).

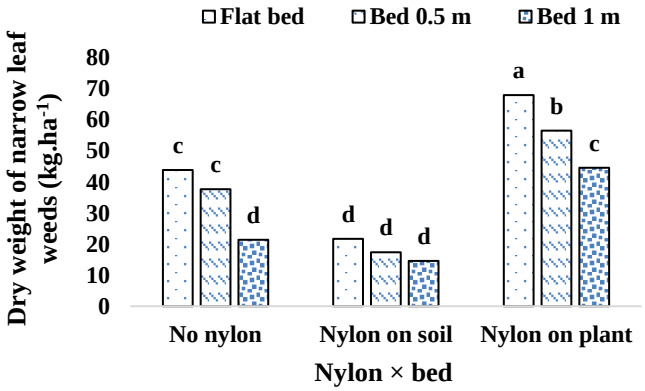
شاخص سبزینگی برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که شاخص سبزینگی برگ تحت تأثیر اثر متقابل سال، نایلون و بستر کشت قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین میزان سبزینگی در سال اول، نایلون روی خاک و بستر جویچه و پشته نیم متری و کمترین میزان سال اول بدون نایلون و بستر مسطح (سال اول) حاصل شد (شکل ۷). بنابراین، استفاده از مالچ نایلونی به‌دلیل حفظ رطوبت خاک، باعث حفظ فتوسنتز و کاهش آسیب به رنگیزه‌ها خواهد شد (Sarkara, 2019). دمای غیرنرمال در محیط ریشه، جذب منیزیم (عنصر اصلی تولید کلروفیل) را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، حفظ دمای محیط ریشه نزدیک به دمای هوا، مناسب‌ترین حالت برای تولید عملکرد بیشتر و بخش هوایی با کیفیت‌تر از نظر سبزینگی و شادابی گیاه می‌باشد و از آنجا که کاربرد مالچ سبب تعدیل حرارتی خاک می‌شود، به نظر می‌رسد که یکی دیگر از دلایل حفظ سبزینگی و کیفیت بصری گیاهان تحت کشت مالچ باشد (Kazemi & Jozay, 2021). همچنین بیان شده است که مالچ از طریق افزایش جمعیت میکروبی خاک و افزایش جذب نیتروژن باعث افزایش کلروفیل در برگ می‌شود (Helaly et al., 2017). از طرفی، بستر جویچه و پشته باعث نگهداری آب خاک می‌شود (Wang & Xing, 2016). به نظر می‌رسد که تیمار جویچه‌وپشته با کاهش تنش آبی موجب حفظ گیاه در برابر اکسیژن‌های فعال و در نتیجه، بهبود کلروفیل گیاه می‌شود.



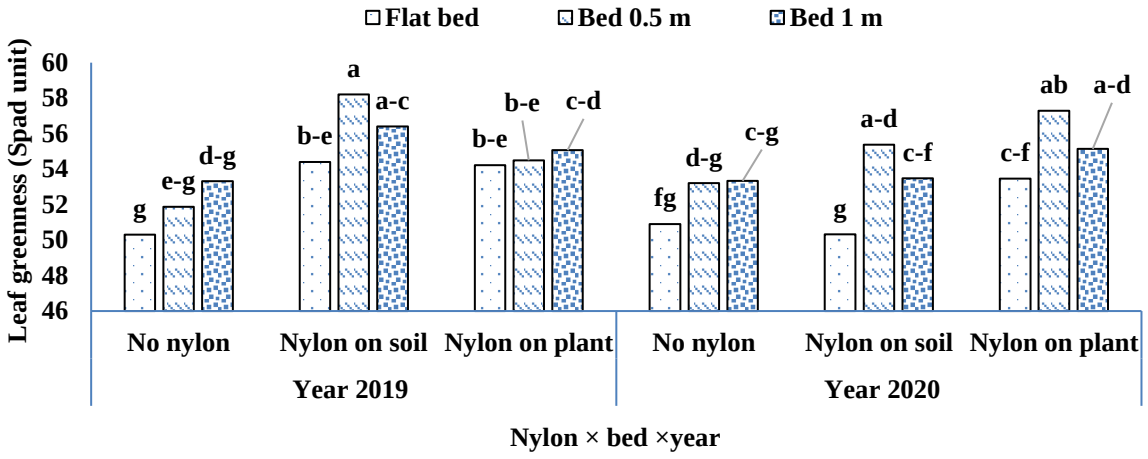
شکل ۵- اثر متقابل سال × نایلون × بستر کشت بر وزن خشک علف هرز پهن برگ نخود فرنگی

Fig. 5- Interaction effect of year × nylon × planting bed on dry weight of broadleaf weed in pea



شکل ۶- اثر متقابل نایلون × بستر کشت بر وزن خشک علف هرز باریک برگ نخود فرنگی در تجزیه مرکب

Fig. 6- The interaction effect of nylon × planting bed on the dry weight of narrow leaf weeds in pea in combined analysis



شکل ۷- اثر متقابل سال × نایلون × بستر کشت بر سبزینگی برگ نخود فرنگی

Fig. 7- The interaction effect of year × nylon × planting bed on pea leaf greenness

پروتئین خام دانه سبز

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که میزان پروتیین خام دانه سبز تحت تأثیر هیچ‌کدام از تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۷). شاید بتوان علت را به محدودیت اندازه مخزن (دانه) نسبت داد، زیرا در شرایط محدودیت مخزن، گیاه بخشی از مواد فتوسنتزی را از طریق فرآیندهای هورمونی صرف افزایش قدرت مخزن و تعداد دانه می‌کند (Alasti et al., 2020). در بررسی‌های مشابه گزارش شده است که مالچ نایلونی سیاه، پروتئین دانه را از طریق افزایش عملکرد پروتئین افزایش داد و درصد پروتئین دانه تحت تأثیر مالچ قرار نگرفت (Abbasi et al., 2017).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه کشت به‌صورت دیم اجرا شده است، شرایط آب‌وهوایی مخصوصاً بارش سالیانه، بیشترین تأثیر را بر خصوصیات رشد محصول داشت. در سال اول، حجم بارش در طول فصل رشد بالاتر بوده و صفات مورد مطالعه نسبت به سال دوم در حد مطلوب‌تر بوده‌اند. در این مطالعه، پوشش نایلونی به‌خصوص روی خاک باعث بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاه مانند کارایی مصرف نیتروژن، سطح برگ و ارتفاع بوته شد و همچنین این تیمار، کمترین رشد علف‌های هرز را به‌دلیل خفه کردن آن به همراه داشت. این دو عامل علل قابل قبولی برای افزایش رشد تحت تیمار پوشش روی خاک است. همسو با گزارش مطالعات مختلف، تیمار کشت در کف جویچه نیم متری با تأثیر بر آب در دسترس گیاه تنش را کاهش داده و رشد را افزایش داده است و این کاهش تنش در سال دوم کشت با توجه به میزان کم بارش مشهودتر بوده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: اجرای کار، جمع آوری داده‌ها، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله.

نویسنده دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

نویسنده سوم: مشاوره، بازبینی متن مقاله.

References

Abbasi, H., AghaAlikhani, M., & Hamzei, J. (2017). Effect of irrigation intervals, black plastic mulch and biofertilizers on quantitative and qualitative characteristics of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(2), 399-412. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i2.51667

Akbia, H., Elahifard, E., Siahpoosh, A., & Zare, A. (2020). Evaluation of sowing method and soil applied herbicides on weed control and yield of sesame. *Journal of Crops Improvement*, *22*(4), 543-556. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2020.295527.2333

Alagbo, O., Spaeth, M., Saile, M., Schumacher, M., & Gerhards, R. (2022). Weed management in ridge tillage systems-A review. *Agronomy*, *12*(4), 910. https://doi.org/10.3390/agronomy12040910

Alasti, O., Zeinali, E., Soltani, A., & Torabi, B. (2020). Estimation of yield gap and the potential of rainfed barley production increase in Iran. *Journal of Crop Production*, *13*(3), 41-60. https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.16896.2250

Ashrafuzzaman, M., Abdul Halim, M., Razi Ismail, M., Shahidullah, S. M., & Alamgir Hossain, M. (2011). Effect of plastic mulch on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *4*(2), 321-330. http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132011000200014

Dashadi, M. (2022). Effect of tillage treatments and different amounts of crop residues on rainfed chickpea yield in Kermanshah conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *11*(1), 75-93. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2022.354522.335

Dayo-Olagbende, G. O., Ewulo, B. S., & Akingbola, O. O. (2019). Combined effects of tithonia mulch and urea fertilizer on soil physico-chemical properties and maize performance. *Journal of Sustainable Technology*, *10*(1), 86-93.

Dedi, M., Chen, L., Qu, H., Wang, Y., Misselbrook, T., & Jiang, R. (2018). Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis. *Agricultural Water Management*, *202*(1), 166-173. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.001

Fahong, W., Xuqing, W., & Sayre, K. (2004). Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research*, *87*, 35-42. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.003

Garshasebi, M., Rajab Larijani, H. R., & Nasri, M. (2014). Effect of plastic mulch and bed system on maize (*zea mays*) yield and weeds suppression. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, *1*(4), 327-336. (In Persian with English abstract).

Ghaemi, M., Zare, Z., & Nasiri, Y. M. (2019). Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth. *Journal of Developmental Biology*, *11*(1), 15-27.

Gu, Y. J., Han, C. L., Fan, J. W., Shi, X. P., Kong, M., Shi, X. Y., Siddique, K. H. M., Zhao, Y. Y., & Li, F. M. (2018). Alfalfa forage yield, soil water and P availability in response to plastic film mulch and P fertilization in a semiarid environment. *Field Crops Reserch*, *215*(1), 94-103. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.010

Hamzei, J., Abbasi, A., & Vaziri Amjad, Z. (2017). Effect of different mulches on yield, yield components of grain maize and weeds dry weight. *Journal of Crops Improvement*, *19*(1), 105-117. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60400

Hashemi Dezfuli, A. (1998). *Physiology of supplementary crop plants*. M.Sc. Thesis in Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.

Heidari, H. (2012). Effect of irrigation by contaminated water with cloth detergent on plant germination traits of maize (*Zea mays*). *Life Science Journal*, *9*(4), 1587-1590.

Helaly, A. A., Goda, Y., El-Rehim, A. A. S., Mohamed, A. A., & El-Zeiny, O. A. H. (2017). Effect of polyethylene mulching type on the growth, yield and fruits quality of *Physalis pubescens*. *Advance Plants Agricultur Reserch*, *6*(5), 229-237. http://dx.doi.org/10.15406/apar.2017.06.00229

Huggins, D. R., & Pan, W. L. (1993). Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*, *85*(4), 898-905. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040022x

Javaid, M. M., AlGwaiz, H. I. M., Waheed, H., Ashraf, M., Mahmood, A., Li, F. M., Attia, K. A., Nadeem, M. A., AlKahtani, M. D. F., & Fiaz, S. (2022). Ridge-furrow mulching enhances capture and utilization of rainfall for improved maize production under rain-fed. *Journal Agronomy*, *12*(5), 211-230. https://doi.org/10.3390/agronomy12051187

Jiang, R., Li, X., Zhou, M., Jie Li, H., Zhao, Y., & Yi, J. (2016). Plastic film mulching on soil water and maize (*Zea mays L.*) yield in a ridge cultivation system on Loess Plateau of China. *Soil Science and Plant Nutrition*, *62*(1), 1-12. https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1104642

Johnson, W. C., Davis, R. F., & Mullinix Jr., B. G. (2007). An integrated system of summer solarization and fallow tillage for *Cyperus esculentus* and nematode management in the southeastern coastal plain. *Crop Protection*, *26*(11), 1660-1666. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.02.005

Karimi, M., & Jolaini, M. (2017). Evaluation of agricultural water productivity indices in major field crops in Mashhad plain (Technical note). *Journal of Water and Sustainable Development*, *4*(1), 133-138. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.52783

Kasirajan, S., & Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: A review. *Agronomy Sustainable Development*, *32*(1), 501-529. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3

Kazemi, F., & Jozay, M. (2021). Characteristics of ornamental-medicinal species of balanketflower (*Gaillardia aristata*) under different mulch treatments in an arid climate region. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 2*(2), 267-279 (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/csrar.2021.208943.1062

Koocheki, A. R., Bakhshaie, S., Tabarraei, A., & Jafari, L. (2014). Effect of plant density and planting pattern on quantitative and qualitative characteristics of balangu (*Lallenamntia royleana* Benth.). *Journal of Agroecology, 6*(2), 229-237. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39365

Lamont, W. J., & Bartol, J.W. (2004). Production of vegetables, strawberries, and cut flowers using plastic culture. *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service* (NRAES). Ithaca. https://ecommons.cornell.edu/items/9bc5402e-70bf-4a06-b045-01430f135eef

Li, Q. Q., Chen, Y. H., Liu, M. Y., Zhou, X. B., Dong, B. D., & Yu, S. L. (2010). Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management, 95*(4), 469–476. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.010

Liaghat, A., Pourgholam Amiji, M., & Mashhouri Nejad, P. (2018). The Effect of surface and subsurface irrigation with saline water and mulch on corn yield, water productivity and solute distribution in the soil. *Journal of Water and Soil, 32*(4), 661-674. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.69323

Majeed, A., Muhmood, M., Niaz, A., Javid, S., Ashfaq Ahmad, Z., Shahid Hussain Shah, S., & Hussain Shah, A. (2015). Bed planting of wheat (*Triticum aestivum* L.) improves nitrogen use efficiency and grain yield compared to flat planting. *Crop Journal, 3*(2), 118-124. https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.01.003

Moazzezi, F., Yavari, G. R., Mosavi, S. H., & Bagheri, M. (2020). Assessing the impact of climate change on agriculture in Hamedan-bahar plain with emphasis on water productivity and food security. *Journal of Agricultural Economics and Development, 34*(3), 305-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jead.2020.17793.0

Moradian, A., Yousefi, A., Jamshidi, K., & Andalibi, B. (2017). Evaluation of the effect of wheat mulch and nitrogen fertilizer on weed growth and some agronomic traits of *Dracocephalum moldavica*. *Iranian Journal of Field Crop Science, 48*(4), 1055-1068. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.128781.653911

Pahlevani, A., Ebrahimia, H., & Abbasi, F. (2022). Effect of plastic mulch placement in furrow irrigation on water productivity of fodder corn. *Journal of Water Research in Agriculture, 36*(1), 93-104. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2022.356212.894

Patley, V., Das Sahu, G. H., Singh Paikra, P., & Kumar Chandraka, Y. (2023). Impact of fertigation and plastic mulch on pusedostem and physio-chemical characters of tissue cultured grand naine banana (*Musa paradisiaca L.*) grown in high density planting system. *The Pharma Innovation Journal, 12*(7), 3301-3304.

Peksen, E., Peksen, A., Bozoglu, H., & Gulumser, A. (2004). Comparison of fresh pod yield and pod related characteristics in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars sown in autumn and spring under samssun ecological conditions. *Turkish Journal Agriculture and Forestry, 28*, 363-370.

Pol Shekan-e Pahlavan, M. R., Movahedi Naeini, S. A. R., Eatesam, G. R., & Keykha, G. (2008). Wheat plant growth and yield with different planting systems and irrigation frequency 2-soil and plant nutrients. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 14*(5), 23-34. (In Persian with English abstract).

Ranjbar, A., Rahimikhoob, A., Ebrahimian, H., & Varavipour, M. (2018). Monitoring nitrogen nutrition index to improve fertilizer use efficiency. *Iranian Journal of Soil and Water Reserch, 49*(5), 1189-1200. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.249911.667830

Salehi, A., & Monjezi, N. (2023). Field evaluation of mechanized wheat planters in saline lands of Shadegan city. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 33*(2), 273-296. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2022.50563.2836

Sarkara, D., Muhammad Solaimana, H., Shah Jahana, M., Rojobi, N. R., Kabira, K., & Hasanuzzamanc, M. (2019). Soil parameters, onion growth, physiology, biochemical and mineral nutrient composition in response to colored polythene film mulches. *Annals of Agricultural Sciences, 64*, 63-70. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2019.05.003

Shahabi, N. (2017). Effect of geographical direction of planting row and population on quantitative and qualitative yield of chamomile medicinal plant (*Matricaria chamomilla* L.). M.Sc. Thesis, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Ahvaz, Iran. 69 pp.

Sharma, S., & Sharma, D. P. (2019). Weed management in stone fruit nectarine orchard with inorganic mulches and herbicides. *Journal of Indian Weed Science, 51*(1), 45-49. https://doi.org/10.5958/0974-8164.2019.00010.8

Silva, P. R. F., Strieder, M. L., Silva Coser, R. P., Rambo, L., Sangoi, L., Argenta, G., Forsthofer; E. L., & Silva, A. A. (2005). Grain yield and kernel crude protein content increases of maize hybrids with late nitrogen side-dressing. *Soils and Plant Nutrition Science Agriculture, 62*(5), 487-492. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500014

Solhjou, A., & Javadi, A. (2015). The effect of tillage and planting methods in raised bed planting system on irrigated wheat yield. *Applied Field Crops Research, 110*, 68-74. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/aj.2016.109331

Wang, X. K., & Xing, Y. Y.(2016). Effects of mulching and nitrogen on soil nitrate-N distribution, leaching and nitrogen use efficiency of maize (*Zea mays* L.). *National Center for Biotechnology Information, 11*(8), 1-18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161612

Wei, Q., Hu, C., & Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: A meta-analysis. *Scientific Reportes, 5*, 16210. https://doi.org/10.1038/srep16210

Weiner, J., Griepentorg, H. W., & Kristensen, L. (2001). Suppression of weed by spring wheat (*Triticum aestivum*) increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology, 38*(4), 784-790.

Zhang, X. D., Yang, L. C., Xue, X. K., Kamran, M., Ahmad, I., Dong, Z. Y., Liu, T. N., Jia, Z. K., Zhang, P., & Han, Q. F. (2019). Plastic film mulching stimulates soil wet-dry alternation and stomatal behavior to improve maize yield and resource use efficiency in a semi-arid region. *Field Crops Research, 233*, 101-113. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.01.002

Contents

Iranian Journal of Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad
Vol. 15, No. 2, 2024, S. No.: 30

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

This journal has the "Scholarly Grade" issued by the Ministry of Sciences, Research & Technology (No. 3/11/3785 dated 07/06/2010) and is published based on a Memorandum of Cooperation between Mashhad Ferdowsi University and the following universities: Isfahan University of Technology; Tarbiat Modares University; University of Shahid Bahonar Kerman; Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; Shiraz Branch, Islamic Azad University; Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

This journal is indexed in: (ISC) Islamic World Science Citation Center (http://www.isc.gov.ir); (magiran) Iranian Journals Database (http://www.magiran.com); (SID) Scientific Information Database (www.SID.ir); Google Scholar (http://scholar.google.com); and…

Address:
Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Azadi Square, Mashhad- Iran
ZIP Code: 9177948974; **Tel.:** +98-51-38804653**; Fax:** +98-51-430-38787
E-mail: ijpr@um.ac.ir; **Web Site:** http://ijpr.um.ac.ir

Iranian Journal of Pulses Research

A Biannually Scientific Journal

ISSN (print): 2980-793X
ISSN (online): 2783-5367

Research Center for Plant Sciences
Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 15(2); December 2024; S. No.: 30