

Original article

Effects of foliar application of salicylic acid on grain quantitative and qualitative traits, physiological characteristics, and water use efficiency in two chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under different moisture levels

Mohammad Saeed Mohammadi¹, Majid Jami Al-Ahmadi^{2*}, Hassan Heidari³, Sohail Parsa⁴

1. PhD student in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture and Natural Resources, University of Birjand, Birjand, Iran

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

4. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, College of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

Received 22 November 2025; Revised 1 February 2024; Accepted 7 February 2024

Extended abstract

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is an ancient crop that has been cultivated for centuries in India, the Middle East, and parts of Africa. Chickpea responds well to irrigation, and even under rainfed conditions, supplementary irrigation, particularly during the flowering stage, positively affects crop growth, grain protein content, grain yield, and biological yield. Water scarcity in agriculture has increased the focus on practices that maximize yield per unit of water consumed and optimize the use of available water resources. Regulated deficit irrigation is one such practice in which crops are subjected to a controlled level of water stress during part or all of the growing season to optimize water-use efficiency. In this approach, any slight reduction in yield resulting from mild water stress should be offset by the benefits of reduced water use. Determining the optimal salicylic acid concentration and moisture level is important for achieving appropriate chickpea yields and requires investigation under field conditions. Accordingly, the present study aimed to investigate the effects of different salicylic acid concentrations and moisture levels on grain yield and related traits of chickpea.

Materials and methods

The experiment was conducted during the 2023–2024 growing season at the research farm of the Agricultural and Natural Resources Campus, Razi University, Kermanshah, Iran, using a split-factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications. The main-plot treatments consisted of three irrigation levels, corresponding to 50%, 75%, and 100% (control) of the plant water requirement. The subplot treatments comprised a factorial combination of two chickpea genotypes (Bionige and Mansour) and three foliar salicylic acid concentrations (0, 200, and 400 mg L⁻¹). The water requirement of chickpea was determined using CROPWAT software. Physiological traits, yield, and yield components were measured, including the number of pods per plant, the number of seeds per plant, biological yield, seed yield, seed weight, harvest index, water-use efficiency, protein content, electrolyte leakage, proline content, and chlorophyll content. After normality was confirmed, the data were analyzed using SAS version 9.4, and treatment means were compared using the protected least significant difference (LSD) test at the 5% significance level.

* Corresponding author: Majid Jami Al-Ahmadi; E-Mail: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

Results and discussion

The results showed that the Bionige cultivar under full irrigation (100% of the plant water requirement) and foliar application of salicylic acid at 200 mg L⁻¹ exhibited the highest values for the number of pods per plant, the number of seeds per plant, the number of two-seeded pods per plant, biological yield, grain yield, water-use efficiency, and 100-seed weight. Mean comparisons also showed that the Bionige and Mansour cultivars had the highest and lowest total chlorophyll contents, respectively, under foliar application of salicylic acid at 200 mg L⁻¹. The lowest grain yield, water-use efficiency, and 100-seed weight were also recorded for the Bionige cultivar under 50% of the plant water requirement and foliar application of distilled water. The higher grain yield of chickpea under full irrigation (100% of the plant water requirement) was attributed to increases in the number of pods per plant, the number of seeds per plant, the number of two-seeded pods per plant, biological yield, water-use efficiency, 100-seed weight, and harvest index. Grain yield depends on the allocation of plant dry matter to reproductive organs, as reflected by the harvest index, as well as on the number of grains set and grain weight. In this study, these traits increased significantly when 100% of the plant water requirement was supplied, particularly in the Bionige cultivar treated with salicylic acid at 200 mg L⁻¹, compared with the other treatments. In addition, biological yield was higher under full irrigation than under irrigation at 75% or 50% of the crop's water requirement and responded positively to salicylic acid application.

Conclusion

Overall, the highest yield was obtained when 100% of the plant water requirement was supplied. Under deficit irrigation, however, supplying less than 75% of the plant water requirement is not recommended. Salicylic acid application also improved chickpea traits, with responses increasing up to 200 mg L⁻¹. However, further evaluation of additional salicylic acid concentrations is required to determine the optimal concentration. Overall, the Mansour cultivar performed better than the Bionige cultivar under deficit irrigation, whereas the Bionige cultivar performed better under full irrigation. In conclusion, the combination of full irrigation supplying 100% of the crop's water requirement and foliar application of salicylic acid at 200 mg L⁻¹ in the Bionige cultivar produced the best overall results and is recommended for chickpea cultivation under similar climatic conditions.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Number of pods, Water deficit stress, Water requirement

تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات کمی و کیفی دانه، ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بهره‌وری آب در دو ژنوتیپ نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت سطوح مختلف رطوبتی

محمد سعید محمدی^۱، مجید جامی الاحمدی^{۲*}، حسن حیدری^۳، سهیل پارسا^۴

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۴. دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی عملکرد دانه نیاز آبی تعداد غلاف کلروفیل	تنش کم آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که هر ساله خسارت‌های هنگفتی به محصولات زراعی و باغی در جهان و به‌ویژه ایران که به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، وارد می‌کند. تعیین مقادیر بهینه اسید سالیسیلیک و سطوح رطوبتی از اهداف مهم در دستیابی به عملکرد مناسب گیاه نخود است که نیاز به تحقیقات در شرایط مزرعه‌ای دارد. این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه به شکل اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. سطوح رطوبتی در کرت‌های اصلی شامل سه سطح ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد (شاهد) نیاز آبی گیاه و ژنوتیپ‌های نخود (بیونج و منصور) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح (صفر) (شاهد) محلول پاشی با آب مقطر)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) کرت‌های فرعی آزمایش را تشکیل دادند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که رقم بیونج در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک، بالاترین مقادیر را در خصوص تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف‌های دارای دو بذر، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، بهره‌وری آب و وزن صد دانه به دست آورده است. همچنین، بر اساس یافته‌ها، رقم بیونج با محلول پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک و رقم منصور با همان تیمار، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار محتوای کلروفیل کل را نشان داده‌اند.

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.)، مشابه با دیگر لگوم‌های دانه‌ای مهم همچون لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، خودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و سویا (*Glycine max* L.)، از نظر سطح زیر کشت در سراسر جهان اهمیت زیادی دارد (Koul et al., 2022). درحالی‌که نخود در مناطق متنوعی کشت می‌شود، تنش خشکی همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولید آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود (Nasr Esfahani, 2013).

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از محصولات زراعی مهم در سراسر جهان است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان منبعی غنی از پروتئین گیاهی مصرف می‌شود (Shekari et al., 2024). این گیاه به طور عمده به‌صورت خشک یا کنسرو در بازار عرضه می‌شود و از نظر محتوای تغذیه‌ای شامل پروتئین، چربی و کربوهیدرات‌های باارزش است. دانه‌ها به طور متوسط حدود ۲۰ درصد پروتئین، ۵ درصد چربی و ۵۵ درصد کربوهیدرات دارند. بذرها به‌صورت خشک یا کنسرو در بازار به فروش می‌رسند. نخود زراعی

اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان یک عامل ضد تنش در گیاه نخود عمل کند و موجب بهبود عملکرد در شرایط خشکی شود (Mehrasa et al., 2022). در تحقیقی که بر روی نخود انجام شد، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در مقادیر مختلف (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش تعداد غلاف‌ها و دانه‌ها در بوته و همچنین افزایش وزن دانه‌ها و عملکرد دانه تحت تنش خشکی شد. به‌ویژه، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر در بهبود صفات کمی دانه و کاهش اثرات منفی خشکی داشت (Anwar et al., 2025). در پژوهش فرجام و همکاران (Farjam et al., 2015)، تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر بهره‌وری آب در گیاه نخود تحت شرایط خشکی بررسی شد. این تحقیق نشان داد که اسید سالیسیلیک می‌تواند با بهبود توانایی گیاه در استفاده بهینه از منابع آبی، بهره‌وری آب را در گیاه نخود افزایش دهد. اسید سالیسیلیک موجب افزایش جذب آب توسط ریشه‌ها و بهبود تنظیم گشودگی روزنه‌ها در شرایط خشکی شد که نتیجه آن کاهش مصرف آب و افزایش عملکرد در نخود بود. در تحقیقی نشان داده شد که اسید سالیسیلیک می‌تواند تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های کیفی دانه نخود، مانند محتوای پروتئین، و همچنین صفات کمی مانند تعداد دانه‌ها و وزن دانه در شرایط مختلف رطوبتی داشته باشد. این تحقیق نشان داد که در شرایط رطوبتی کم، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به افزایش کیفیت دانه‌ها و کاهش اثرات منفی خشکی بر گیاه کمک کند (Weissnad and Talebi, 2015).

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و سطوح مختلف رطوبتی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های مرتبط با گیاه نخود است. علاوه بر این، اثرات این عوامل بر بهره‌وری آب در شرایط خشکی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

محل اجرای تحقیق

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با شرایط آب‌وهوایی معتدل، واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا، انجام شد.

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل محدودکننده اساسی در تولید گیاهان زراعی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت دانه‌ها و همچنین بهره‌وری مصرف آب می‌شود. در این راستا، راهبردهایی مانند آبیاری تنظیم‌شده برای بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش عملکرد در شرایط محدودیت آبی مطرح شده‌اند (Chai et al., 2016). گیاه نخود نیز نشان داده است که در صورت اعمال آبیاری تکمیلی، به‌ویژه در مرحله گلدهی، می‌تواند واکنش‌های مثبت و بهبود در ویژگی‌های رشدی و عملکرد دانه‌ها داشته باشد (Varol et al., 2023). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش اثرات تنش خشکی استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید سالیسیلیک است. این ترکیب با اثرات ضد استرسی که دارد، می‌تواند عملکرد گیاهان را در شرایط تنش محیطی بهبود بخشد. اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک پیام‌رسان مولکولی، فرایندهای فیزیولوژیکی نظیر سنتز کلروفیل، تنظیم گشودگی روزنه‌ها و فعالیت آنزیم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقاومت گیاه به خشکی را تقویت می‌کند (Gao et al., 2023). بررسی‌های اخیر نشان داده‌اند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف به‌ویژه در شرایط آبیاری محدود، باعث افزایش تعداد غلاف‌ها و دانه‌ها، بهبود کیفیت دانه‌ها و افزایش بهره‌وری آب در نخود گردید. این تحقیق بیان کرد که اثرات مثبت این ترکیب بر ویژگی‌های کمی دانه به‌ویژه در ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی، بیشتر به چشم می‌خورد (Anwar et al., 2025). در تحقیق فرجام و همکاران (Farjam et al., 2015) تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر بهره‌وری آب در گیاه نخود تحت شرایط خشکی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند باعث بهبود بهره‌وری آب در گیاهان تحت تنش خشکی شود. اسید سالیسیلیک با افزایش ظرفیت نگهداری آب در گیاه و بهبود جذب آب از خاک، بهره‌وری آب را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. این مطالعه نشان داد که در شرایط محدودیت آبی، استفاده از اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب بهبود عملکرد و کاهش مصرف آب در نخود گردد. بر اساس مطالعه اخیر که بر روی نخود انجام شد، نشان داد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، تأثیرات مثبتی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله سطح کلروفیل و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشت. این تحقیق به‌ویژه بر بهبود مقاومت گیاه به تنش اکسیداتیو تأکید داشت و نشان داد که

طرح آزمایش و تیمارها

برای بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک و سطوح رطوبتی بر ارقام نخود زراعی، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. سطوح رطوبتی در کرت های اصلی شامل سه سطح تأمین ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد (شاهد) نیاز آبی گیاه بودند و فاکتوریل ژنوتیپ های نخود (بیونچ و منصور) و محلول پاشی اسید سالیسیلیک در سه سطح صفر (شاهد؛ محلول پاشی با آب مقطر)، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر (Bin Saif et al., 2023) در دو نوبت، کرت های فرعی آزمایش را تشکیل می دادند. کشت به صورت کشت بهاره و به صورت دستی انجام شد. تاریخ کاشت در اواخر اسفند و تاریخ برداشت در اواخر تیر بود. هر کرت شامل ۶ خط کشت با فاصله خطوط ۵۰ سانتی متر و طول ۳ متر و به مساحت ۹ متر مربع بود. تراکم کاشت ۲۵ بوته در متر مربع و فاصله بوته ها روی ردیف ۸ سانتی متر بود. فاصله بین کرت های اصلی ۳ متر و بین بلوک ها ۳ متر بود. محلول پاشی در دو نوبت، ۳۰ روز پس از سبز شدن در مرحله گیاهچه ای و مرحله گلدهی، به وسیله سم پاش پستی اعمال شد.

عملیات زراعی و برآورد نیاز آبی

زمین اجرای طرح در هنگام گاو رو بودن (رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) و قبل از کشت با گاو آهن شخم زده شد. بذور نخود به روش دستی در هفته آخر اسفند کشت شدند. در طول فصل کشت در صورت مشاهده آفات، بیماری ها و علف های هرز به روش مناسب با آنها مبارزه شد. علف های هرز غالب مزرعه شامل خردل وحشی (*Sinapsis arvensis*)، جو وحشی (*Hordeum spontaneum*) و میاگروم (*Myagrum* sp.) بودند.

نیاز آبی نخود بر مبنای تحقیقات قبلی صورت گرفته در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (Ghamarnia et al., 2017) تعیین شد. با استفاده از نرم افزار CropWat، علاوه بر تعیین نیاز آبی، حجم خالص آب آبیاری هر کرت نیز به وسیله دبی آب ورودی آب پاش های پروب بر حسب زمان محاسبه شد. در صورت بارندگی، میزان بارش از نیاز آبی گیاه کسر شد (شکل ۱). پس از شروع تیمارهای تنش، برای جلوگیری از تداخل بارندگی روی تمامی کرت ها از پوشش پلاستیکی استفاده شد. مقدار آب مصرفی

در کل دوره رشد برای سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب ۵۰۰، ۳۷۵ و ۲۵۰ مترمکعب در هکتار بود.

اندازه گیری صفات

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، محتوای پروتئین، پایداری غشا، پرولین، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، تعداد غلاف دارای تک بذر در بوته، تعداد غلاف دارای دو بذر در بوته، تعداد غلاف پوک در بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن صد دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره وری آب اندازه گیری شدند. میزان پرولین با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) در آغاز غلاف دهی محاسبه شد. محتوی پروتئین برگ نیز به روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه گیری شد. جهت اندازه گیری پایداری غشا از روش لاتس و همکاران (Lutts et al., 1996) با استفاده از ۵ برگ توسعه یافته از سه بوته اندازه گیری شد (رابطه ۱)

$$CMS = (EC1/EC2) \times 100 \quad [1]$$

که در آن CMS پایداری غشای سلولی، EC1 هدایت الکتریکی پس از ۲۴ ساعت استراحت نمونه ها و قبل از اتوکلاو و EC2 هدایت الکتریکی بعد از خروج از دستگاه اتوکلاو (در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد) هستند.

غلظت کلروفیل a و b و کاروتنوئیدها با استفاده از روش لیچنتنایر و ولبورن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) روی برگ های جوان و کاملاً توسعه یافته با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر بر اساس روابط زیر انجام شد. برای استخراج کلروفیل ها، از حلال استون استفاده گردید.

$$Chl.a(mg^{-1}FW) = [12.21(A_{663}) - 2.81(A_{646})] \quad [2]$$

$$Chl.b(mg^{-1}FW) = [20.13(A_{645}) - 5.1(A_{663})] \quad [3]$$

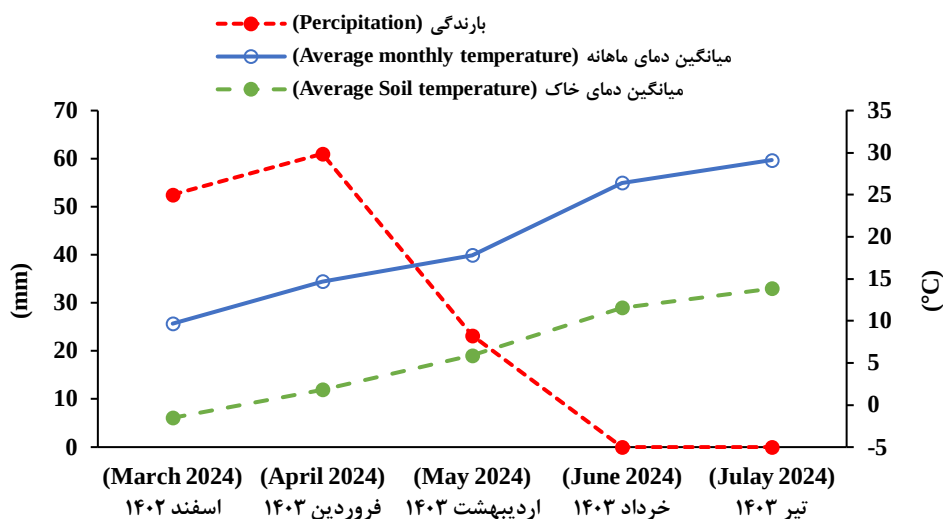
$$Chl.total(mg^{-1}FW) = Chl.a + Chl.b \quad [4]$$

$$Car = (1000(A_{470}) - 3.27[Chl.a] - 104[Chl.b])/227 \quad [5]$$

A_{663} و A_{646} و A_{470} به ترتیب عبارت اند از مقدار جذب خوانده شده در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۶ نانومتر و ۴۷۰ نانومتر. برای تعیین عملکرد دانه، ردیف های حاشیه و نیم متر از هر دو طرف ردیف های میانی حذف شد. سپس غلاف های رسیده بوته های ردیف های میانی برداشت شده و پس از خشک شدن، دانه ها از غلاف ها جدا و توزین شدند. برای تعیین وزن صد دانه، وزن سه نمونه از بذرهای تولیدی در هر کرت با استفاده از ترازوی حساس اندازه گیری و میانگین آن بر

برداشت به‌عنوان نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک و به‌صورت درصد محاسبه گردید. همچنین، بهره‌وری آب از نسبت عملکرد دانه در هکتار به میزان آب مصرفی در هکتار به دست آمد. برداشت در اواخر تیرماه انجام شد.

حسب گرم محاسبه گردید. در راستای محاسبه عملکرد بیولوژیک، وزن تمامی بوته‌های موجود در سطح کرت، پس از حذف ردیف‌های حاشیه و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها، اندازه‌گیری و بر حسب گرم محاسبه شد. شاخص



شکل ۱. تغییرات داده‌های هواشناسی استان کرمانشاه در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۳ بر اساس پارامترهای مختلف

Fig. 1. Variations of meteorological data in Kermanshah Province during 2023–2024 based on different parameters

سالیسیلیک مشخص شد که واکنش دو رقم بیونیچ و منصور کاملاً متفاوت بود (جدول ۲). در رقم بیونیچ، محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد (محلول‌پاشی آب مقطر) موجب افزایش حدود ۱۴/۴ درصدی کلروفیل a و ۱۴/۲ درصدی کلروفیل کل گردید (جدول ۲). تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز نسبت به شاهد افزایش کمتری نشان داد، به‌طوری‌که کلروفیل a تنها ۵ درصد و کلروفیل کل حدود ۱/۸ درصد بیشتر شد. مقایسه بین دو سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر نشان داد که تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری عملکرد بهتری داشت و حدود ۸/۹ درصد کلروفیل a بیشتری نسبت به تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایجاد کرد (جدول ۲). این یافته‌ها نشان می‌دهد که در رقم بیونیچ، سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بهینه‌ترین پاسخ را برای حفظ و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی فراهم کرده است. در مقابل، رقم منصور واکنشی کاملاً متفاوت داشت. در این رقم، محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد باعث کاهش حدود ۹/۷ درصدی کلروفیل a که نشان‌دهنده اثر منفی این سطح تیمار در این ژنوتیپ است (جدول ۲). باین‌حال، تیمار ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثر مثبتی نشان داد و

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه و تحلیل آن‌ها به کمک نرم‌افزار SAS ۹/۴ و مقایسات میانگین با آزمون LSD محافظت‌شده در سطح معنی‌دار ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایشی بر هیچ یک از صفات کلروفیل a، b، کاروتنوئید، پرولین، پایداری غشا و پروتئین معنی‌دار نشد (جدول ۱).

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کلروفیل a در دو عامل رقم در اسید سالیسیلیک معنی‌دار است (جدول ۱). بر اساس مقایسه میانگین، ترکیب رقم بیونیچ با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک و رقم منصور با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب بیشترین و کمترین کلروفیل a را داشتند (جدول ۲). در بررسی تغییرات کلروفیل a و کلروفیل کل در اثر تیمار محلول‌پاشی اسید

نسبت به شاهد به ترتیب باعث افزایش ۱۳/۷ درصدی کلروفیل a گردید (جدول ۲). همچنین، مقایسه بین دو سطح ۴۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر بیانگر آن بود که سطح ۴۰۰ میلی گرم در لیتر نسبت به ۲۰۰ میلی گرم در لیتر حدود ۲۵/۹ درصد کلروفیل a بیشتری ایجاد کرده است (جدول ۲). به طور کلی، این نتایج نشان می دهد که ژنوتیپ بیونج در سطح ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بیشترین بهره‌وری را در افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی دارد، درحالی که ژنوتیپ منصور برای رسیدن به چنین پاسخی نیازمند سطح

بالتری از این ترکیب (۴۰۰ میلی گرم در لیتر) است؛ بنابراین، واکنش به تیمار اسید سالیسیلیک کاملاً ژنوتیپ وابسته بوده و انتخاب غلظت مناسب می تواند در بهبود صفات فیزیولوژیکی مرتبط با فتوسنتز دارای نقش کلیدی است. نتایج حاضر با گزارش‌های اخیر در سایر گونه‌ها مطابقت دارد. در نخود نیز نشان داده شده است که محلول پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش معنی دار کلروفیل a می شود (Farjam et al., 2018; Hussain et al., 2020).

جدول ۱. تجزیه واریانس مربوط به صفات فیزیولوژیک دو رقم نخود تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول پاشی اسید سالیسیلیک

Table 1. Analysis of variance related to physiologic of two chickpea cultivars as affected by irrigation levels

		میانگین مربعات							
		کلروفیل							
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chl. A	کلروفیل b Chl. b	کل Chl. Total	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	پایداری غشا Membrane stability	پروتئین Protein
Block	بلوک	2	15 ^{ns}	0.55 ^{ns}	20 ^{ns}	0.9 ^{ns}	0.00014 ^{ns}	69608 ^{ns}	14 ^{ns}
Irrigation (I)	آبیاری	2	2 ^{ns}	0.28 ^{ns}	3 ^{ns}	0.9 ^{ns}	0.00014 ^{ns}	37670 ^{ns}	18 ^{ns}
Error (a)	خطا (الف)	4	13	0.64	19	1.3	0.00028	17013	44
Salysilic acid (S)	اسید سالیسیلیک	2	1 ^{ns}	0.08 ^{ns}	2 ^{ns}	0.3 ^{ns}	0.00041 ^{ns}	69163 ^{ns}	19 ^{ns}
I × S	آبیاری × اسید سالیسیلیک	4	7 ^{ns}	0.67 ^{ns}	12 ^{ns}	0.6 ^{ns}	0.00018 ^{ns}	50523 ^{ns}	2 ^{ns}
Cultivar (C)	رقم	1	16 ^{ns}	0.52 ^{ns}	23 ^{ns}	2.5 ^{ns}	0.00081 ^{ns}	76536 ^{ns}	27 ^{ns}
I × C	آبیاری × رقم	2	9 ^{ns}	0.79 ^{ns}	15 ^{ns}	0.7 ^{ns}	0.00054 ^{ns}	15277 ^{ns}	20 ^{ns}
C × S	رقم × اسید سالیسیلیک	2	50*	2.18 ^{ns}	74**	4.4 ^{ns}	0.00124 ^{ns}	6283 ^{ns}	1 ^{ns}
I×C×S	آبیاری × رقم × اسید سالیسیلیک	4	11 ^{ns}	0.41 ^{ns}	15 ^{ns}	1.1 ^{ns}	0.00013 ^{ns}	32546 ^{ns}	19 ^{ns}
Error (b)	خطا (ب)	30	13	0.69	20	1.3	0.00008	34290	8
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	27	28	27	28	27	33	11.70

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کلروفیل کل در دو عامل رقم در اسید سالیسیلیک معنی دار است (جدول ۱). طبق نتایج، میزان کلروفیل کل در گیاه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک افزایش پیدا کرد. به طور خاص، با افزایش میزان اسید سالیسیلیک از صفر به ۲۰۰ میلی گرم در لیتر، مقدار کلروفیل کل در گیاهان به طور قابل توجهی یافت (جدول ۲).

این افزایش در گیاهانی که تحت تیمار ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک قرار گرفتند، نسبت به شرایط کنترل (محلول پاشی آب مقطر) تغییرات قابل توجهی در حدود ۱۴ درصد تا ۱۸ درصد مشاهده شد (جدول ۲). درحالی که در تیمار ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، میزان کلروفیل کل به طور نسبی افزایش یافت یا به حالت اولیه نزدیک شد که نشان دهنده یک پاسخ غیرخطی به افزایش دوز

اسید سالیسیلیک است (جدول ۲). این روند نشان می‌دهد که در رقم بیونج، افزایش غلظت اسید سالیسیلیک به ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش میزان کلروفیل کل شده است (حدود ۲۲ درصد) که ممکن است نشان‌دهنده اثرات منفی این دوز بر سنتز کلروفیل باشد. این کاهش ممکن است به دلیل سمیت بالا یا تغییرات در فرایندهای فیزیولوژیکی و متابولیک گیاه در پاسخ به دوزهای بالای اسید سالیسیلیک باشد. درعین‌حال، در رقم منصور، افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان کلروفیل کل شد (حدود ۱۸ درصد افزایش) که نشان‌دهنده تفاوت‌های ارقام در پاسخ به این ترکیب است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی در مورد تأثیر اسید سالیسیلیک بر میزان کلروفیل در گیاهان نخود همخوانی دارد. طبق تحقیقات سونگ و همکاران (Song et al., 2023) و پاتل و همکاران (Patel et al., 2012)، افزایش اسید سالیسیلیک به‌طور کلی باعث بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاهان می‌شود و این تأثیر به‌ویژه در دوزهای متوسط مشهودتر است. در مقابل، مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از دوزهای بالاتر ممکن است موجب کاهش بهره‌وری فتوسنتز و یا افزایش اثرات منفی در بعضی گیاهان شود. در نتیجه، این تحقیق نشان می‌دهد که اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان یک محرک فیزیولوژیکی، در دوزهای متوسط موجب افزایش کلروفیل کل و بهبود فرایندهای فتوسنتزی در گیاه نخود شود. باین‌حال، دوزهای بالاتر ممکن است نتایج متفاوتی بسته به نوع رقم و شرایط محیطی داشته باشد. این نتایج ممکن است برای مدیریت تغذیه‌ای و افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مفید باشد.

تعداد غلاف در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد غلاف در بوته در سه عامل آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونج ثبت شد، درحالی‌که کمترین مقدار در همین رقم تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (جدول ۵). براین‌اساس، میزان تغییرات تعداد غلاف در بوته معادل ۲۶۲ درصد افزایش نسبت به تیمار تنش شدید خشکی بود (جدول ۵). این نتایج بیانگر آن است که تنش خشکی با ایجاد

اختلال در تقسیم سلولی، لقاح و پر شدن دانه، باعث کاهش چشمگیر تعداد غلاف در بوته می‌شود. مصرف اسید سالیسیلیک در غلظت مناسب (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) توانست تا حد زیادی اثرات منفی خشکی را کاهش دهد و موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو، بهبود فتوسنتز و تولید کلروفیل تنظیم تعادل هورمونی و تسهیل پر شدن دانه و تشکیل غلاف افزایش تجمع ماده خشک و بهبود کارایی مصرف آب باشد و فرایند تشکیل غلاف را تسهیل نماید. باین‌حال، غلظت بالاتر اسید سالیسیلیک (۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط تنش شدید منجر به کاهش تعداد غلاف گردید. این نتایج با گزارش‌های اخیر نیز همخوانی دارد. در تحقیقی که بر روی گیاه لوبیاسبز (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام شد گزارش شد که اسید سالیسیلیک در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین تأثیر را بر صفت تعداد غلاف در بوته داشت (Hoseini et al., 2019). در تحقیق دیگر که بر روی گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) انجام شد گزارش شد که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل بر خصوصیات عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (Heidari et al., 2019). همچنین در پژوهش دیگر که بر روی گیاه گوار (*Cyamopsis Tetragonoloba* L.) انجام شد نتیجه‌گیری شد که بیشترین تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف در مترمربع در شرایط تأمین آب کامل و کاربرد اسید سالیسیلیک به دست آمد (Shahghasi et al., 2023).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نخود

Table 2. Mean comparison of the interaction effects of genotype and salicylic acid on selected chickpea traits

رقم	سالیسیلیک اسید	کلروفیل کل	کلروفیل a
Cultivar	Salysilic acid	Total Chlorophyll	Chlorophyll a
	mg L ⁻¹	----- mg g ⁻¹ FW -----	
بیونج	0	16.9	13.9
	200	19.3	15.9
Bionige	400	15.0	12.3
منصور	0	15.1	12.4
	200	13.7	11.2
Mansoor	400	17.8	14.6
	LSD (0.05)	4.1	3.3

تعداد غلاف پوک در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری بر تعداد غلاف پوک در بوته معنی‌داری است (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد غلاف پوک در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد که نسبت به تیمار کم‌آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی) حدود ۵۱ درصد افزایش و نسبت به آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) حدود ۲۵ درصد بیشتر بود (جدول ۴). کمترین تعداد غلاف پوک نیز در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی ثبت گردید (جدول ۴). به نظر می‌رسد که افزایش غلاف‌های پوک در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی، ناشی از وقوع تنش ملایم رطوبتی در مرحله گلدهی و غلاف‌بندی باشد که موجب اختلال در لقاح و ریزش بخشی از دانه‌ها شده و در نهایت تعداد غلاف‌های پوک را افزایش داده است (Randhawa et al., 2014) (جدول ۴). در تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، با تأمین کامل رطوبت، تشکیل بذر در غلاف‌ها بهتر انجام شد و تعداد غلاف‌های پوک کاهش یافت (جدول ۵). درحالی‌که در شرایط تنش شدیدتر (۵۰ درصد نیاز آبی)، هرچند میزان تشکیل گل و غلاف کاهش می‌یابد، اما غلاف‌های تشکیل‌شده عمدتاً دارای بذر بوده و نسبت غلاف‌های پوک کمتر است (جدول ۴). این نتایج با گزارش‌های اخیر نیز همخوانی دارد. برای نمونه، گودرزوند چگینی و همکاران (Goodarzvand Chegini et al., 2017) در نخود گزارش کردند که تنش خشکی در مراحل زایشی با ایجاد اختلال در تشکیل دانه، موجب افزایش چشمگیر تعداد غلاف‌های پوک در بوته می‌شود. همچنین پانگ و همکاران (Pang et al., 2017) نشان دادند که تنش خشکی انتهای میزبان سقط گل‌ها و غلاف‌ها را در بوته افزایش داده و در نتیجه تعداد غلاف‌های پوک در هر بوته بیشتر می‌شود. افزون بر این، آواد و همکاران (Awad et al., 2025) گزارش کردند که تنش هم‌زمان خشکی و گرما موجب تشدید پوکی غلاف‌ها به دلیل کاهش فتوسنتز و محدودیت انتقال مواد پرورده به دانه‌ها می‌شود. به طور مشابه، ساچدوا و همکاران (Sachdeva et al., 2022) با بررسی تغییرات متابولیتی در مرحله پرشدن غلاف نشان دادند که در شرایط خشکی، مواد فتوسنتزی به طور ناکافی به دانه منتقل شده و همین امر احتمال پوک شدن غلاف‌ها را افزایش می‌دهد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت بهینه آبیاری در مراحل حساس مانند گلدهی و پرشدن غلاف، نقش اساسی

در کاهش تعداد غلاف‌های پوک در بوته و بهبود عملکرد نهایی دارد.

تعداد غلاف دارای تک بذر در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری بر تعداد غلاف دارای تک بذر در بوته معنی‌دار است (جدول ۳). در شرایط تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، بیشترین تعداد غلاف تک بذری مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) حدود ۳۳/۳ درصد افزایش و نسبت به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی حدود ۵۰ درصد افزایش داشت (جدول ۴). در مقابل، کمترین تعداد غلاف تک بذری مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی بود که نسبت به شاهد ۱۱/۱ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). به‌طور کلی دامنه تغییرات این صفت بین تیمارهای مختلف حدود ۴۱ درصد نسبت به میانگین داده‌ها بود که بیانگر حساسیت تعداد غلاف تک بذری به مدیریت آبیاری است.

افزایش تعداد غلاف‌های تک بذری در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی احتمالاً ناشی از آن است که در این سطح، گیاه علاوه بر بهره‌گیری بهینه از رطوبت خاک، دچار تنش خفیف نیز می‌شود که می‌تواند تخصیص مواد فتوسنتزی به غلاف‌ها را تعدیل کرده و منجر به تشکیل بیشتر غلاف تک بذری شود (Safari et al., 2017) (جدول ۴). درحالی‌که کاهش رطوبت به سطح ۵۰ درصد نیاز آبی، به علت محدودیت شدید آب، منجر به کاهش فتوسنتز خالص و در نتیجه کاهش تعداد غلاف تک بذری گردید (جدول ۴). ازسوی دیگر، در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی)، احتمالاً به دلیل عدم بروز تنش و رقابت کمتر بین غلاف‌ها برای دریافت مواد پرورده، تعداد غلاف‌های تک بذری در سطح متوسطی قرار گرفت (جدول ۴). مطالعات متعددی نیز بیان کرده‌اند که تنش خشکی در مراحل زایشی موجب کاهش تشکیل دانه در غلاف‌ها و افزایش غلاف‌های پوک یا تک بذری می‌شود (Farooq et al., 2017; Azizi et al., 2024). به گزارش قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2012)، عملکرد دانه متأثر از تنش کمبود آب اعمال شده در آزمایش آنها نزدیک به ۳۰ درصد کاهش نشان داد؛ بنابراین، به نظر می‌رسد مدیریت صحیح آبیاری به‌ویژه در مراحل گلدهی و غلاف‌بندی نقش اساسی در بهبود تعداد بذر در غلاف و در نتیجه عملکرد نهایی دارد.

تعداد غلاف دارای دو بذر در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد غلاف دارای دو بذر در بوته در سه عامل آبیاری * رقم * اسید سالیسیلیک معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف دو بذری در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونچ به دست آمد، درحالی‌که کمترین مقدار در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی همراه با محلول‌پاشی آب مقطر ثبت شد (جدول ۵)؛ بنابراین، کاربرد اسید سالیسیلیک تحت شرایط مطلوب آبیاری موجب افزایش ۴۶۵ درصدی تعداد غلاف‌های دو بذری نسبت به شاهد شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک با نقشی که در افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، بهبود فتوسنتز و تنظیم تعادل هورمونی ایفا می‌کند، توانسته است فرایند گرده‌افشانی و تشکیل بذر در غلاف را تقویت نماید (Hayat et al., 2022; Li et al., 2010) در واقع، محلول‌پاشی این ترکیب شبه‌هورمونی سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب، تثبیت

فتوسنتز و کاهش ریزش گل و غلاف گردیده و در نتیجه تعداد غلاف‌های دو بذری در بوته افزایش یافته است. مطالعات گذشته نیز این نتایج را تأیید می‌کنند. (شیری و همکاران Shirui et al., 2023) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک منجر به افزایش معنی‌دار تعداد بذر در غلاف و بهبود عملکرد شد. تیمار سالیسیلیک اسید موجب افزایش تعداد غلاف‌های پر و کاهش غلاف‌های پوک در شرایط بدون تنش گردید (Abbasi et al., 2024). افزون بر این، پیراسته و همکاران (Pirasteh-Anosheh et al. 2019) اشاره کردند که کاربرد سالیسیلیک اسید در گیاهان تحت شرایط آبیاری کامل و یا تنش، باعث بهبود تشکیل دانه در غلاف‌ها و افزایش اجزای عملکرد می‌شود. براین‌اساس می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت تغذیه‌ای با سالیسیلیک اسید به‌ویژه در کنار آبیاری کامل، یک راهکار مؤثر برای افزایش تعداد غلاف‌های دو بذری و بهبود عملکرد نهایی ارقام سویا محسوب می‌شود.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم نخود تحت تأثیر سطوح آبیاری و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک

Table 3. Mean squares of measured traits related to yield and yield components of two chickpea cultivars, as affected by irrigation levels and salicylic acid foliar spray

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات				
			تعداد غلاف		تعداد غلاف		تعداد دانه در بوته
			تعداد غلاف در بوته	تعداد غلاف پوک در بوته	دارای تک بذر در بوته	دارای دو بذر در بوته	
			Number of pods per plant	Number of empty pods per plant	Number of single-seed pods per plant	Number of two-seed pods per plant	Number of seeds per plant
Block	بلوک	2	31**	8.0 ^{ns}	108 ^{ns}	28**	32
Irrigation (I)	آبیاری	2	1284 ^{ns}	31.0**	291**	12 ^{ns}	882**
Error (a)	خطا (الف)	4	142	1.9	57	4	114
Salysilic acid (S)	اسید سالیسیلیک	2	119 ^{ns}	7.4 ^{ns}	16 ^{ns}	55**	87 ^{ns}
I × S	آبیاری × اسید سالیسیلیک	4	333**	3.3 ^{ns}	58 ^{ns}	34**	196*
Cultivar (C)	رقم	1	178 ^{ns}	15.7 ^{ns}	193 ^{ns}	0.6 ^{ns}	35 ^{ns}
I × C	آبیاری × رقم	2	516**	9.5 ^{ns}	113 ^{ns}	17*	282**
C × S	رقم × اسید سالیسیلیک	2	214*	0.3 ^{ns}	7 ^{ns}	15*	128 ^{ns}
I × C × S	آبیاری × رقم × اسید سالیسیلیک	4	288**	2.2 ^{ns}	80 ^{ns}	13*	248**
Error (b)	خطا (ب)	30	61	4.6	51	4	47
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	24.30	36.04	36	25.14	27.08

Table 3. Continued

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	وزن صد دانه 100-seed weight	عملکرد			بهره‌وری آب Water use efficiency
				عملکرد دانه Grain yield	بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	
Block	بلوک	2	16 ^{ns}	28 ^{ns}	2604 ^{ns}	12**	0.0001**
Irrigation (I)	آبیاری	2	184**	245720**	425172**	1232**	0.1903 ^{ns}
Error (a)	خطا (الف)	4	40	3074	6875	83	0.0182
Salysilic acid (S)	اسید سالیسیلیک	2	307**	24709*	10362*	499**	0.1344**
I × S	آبیاری × اسید سالیسیلیک	4	72 ^{ns}	10281*	10789*	163 ^{ns}	0.0322 ^{ns}
Cultivar (C)	رقم	1	427**	3406 ^{ns}	44 ^{ns}	40 ^{ns}	0.0047 ^{ns}
I × C	آبیاری × رقم	2	120*	14770*	25067**	55 ^{ns}	0.0700 ^{ns}
C × S	رقم × اسید سالیسیلیک	2	528*	23816**	17024**	195 ^{ns}	0.1061*
I × C × S	آبیاری × رقم × اسید سالیسیلیک	4	83*	18349**	18792**	140 ^{ns}	0.0908*
Error (b)	خطا (ب)	30	27	3275	2850	79	0.0229
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	15.79	22.60	11.59	16.91	23.18

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** means non-significant and significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

تعداد دانه در بوته

صفت شد. درحالی‌که کاربرد اسید سالیسیلیک در غلظت مناسب (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) توانست اثرات منفی خشکی را به طور معنی‌داری کاهش دهد. احتمالاً این بهبود ناشی از نقش تنظیم‌کنندگی اسید سالیسیلیک در تحریک سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی، افزایش فتوسنتز و حفظ تعادل آبی گیاه است (Amini et al., 2019). باین‌حال، مصرف غلظت‌های بالاتر (۴۰۰ میلی گرم در لیتر) در برخی شرایط سبب کاهش تعداد دانه در بوته شد که می‌تواند ناشی از اثرات بازدارنده و سمی این ترکیب در مقادیر بالا باشد. این نتایج همسو با گزارش‌های آرفان و همکاران (Arfan et al., 2007) و همکاران (Hayat et al., 2010) است که به وابستگی پاسخ گیاهان به غلظت اسید سالیسیلیک اشاره کرده‌اند.

وزن صد دانه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تغییرات وزن صد دانه تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین وزن صد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونج ثبت شد، درحالی‌که کمترین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در رقم در سالیسیلیک بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین تعداد دانه در بوته در رقم بیونج تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار این صفت در رقم بیونج تحت آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۵). نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر قابل‌توجهی بر تعداد دانه در بوته داشت، به‌طوری‌که در شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک، تعداد دانه در بوته به حداقل رسید (جدول ۵). در مقابل، در شرایط آبیاری کامل همراه با مصرف همین غلظت اسید سالیسیلیک بیشترین مقدار این صفت حاصل شد. به بیان دیگر، تعداد دانه در بوته در شرایط مطلوب بیش از ۲۳۱ درصد بالاتر از تیمار تنش شدید خشکی بود (جدول ۵). این یافته‌ها نشان می‌دهد که خشکی شدید با ایجاد اختلال در فرایند گرده‌افشانی و کاهش بهره‌وری پر شدن دانه، منجر به افت چشمگیر این

مقدار مربوط به آبیاری ۵۰ درصد و محلول پاشی آب مقطر در رقم بیونج بود (جدول ۵). در رقم بیونج، محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر باعث افزایش وزن صد دانه در همه سطوح آبیاری شد و بیشترین اثر در آبیاری کامل و متوسط مشاهده گردید (جدول ۵). در رقم منصور، بیشترین اثر مثبت محلول پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) حاصل شد، درحالی که در آبیاری متوسط و کامل، اثر آن محدود یا حتی کاهش وزن دانه مشاهده شد (جدول ۵). این یافته‌ها نشان می‌دهد که پاسخ ارقام مختلف نخود به محلول پاشی اسید سالیسیلیک وابسته به شرایط آبیاری و غلظت محلول است و ترکیب تأمین رطوبت کافی با مصرف اسید سالیسیلیک می‌تواند بهبود پرشدن دانه و تجمع ماده خشک را افزایش دهد که بیانگر وابستگی پاسخ گیاه به غلظت اسید سالیسیلیک و شرایط آبیاری است (جدول ۵). این نتایج با یافته‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد. پاتل و همانتارانجان (Patel and Hemantaranjan., 2012) گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک در نخود موجب افزایش وزن دانه و عملکرد گیاه تحت تنش خشکی شد. حیات و همکاران (Hayat et al., 2010) نیز نشان دادند که اسید سالیسیلیک با بهبود کارایی فتوسنتزی و تنظیم تعادل هورمونی می‌تواند رشد و وزن دانه را در لوبیا افزایش دهد. علاوه بر این، محلول پاشی اسید سالیسیلیک باعث تجمع اسمولیت‌ها و حفظ پایداری غشاهای سلولی شده و فرایند پرشدن دانه را بهبود می‌بخشد که نهایتاً به افزایش وزن صد دانه منجر می‌شود (Maddah et al., 2007). در مجموع، یافته‌های حاضر نشان داد که استفاده از اسید سالیسیلیک به‌ویژه در شرایط تأمین کامل نیاز آبی، یک راهکار مؤثر برای بهبود وزن دانه و افزایش عملکرد در رقم بیونج است. کاهش وزن دانه در تیمار با ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی آب مقطر نیز تأییدکننده اثر منفی کم آبی بدون مدیریت مناسب بر پرشدن دانه و وزن دانه است. این نتایج می‌تواند راهنمایی برای برنامه‌های مدیریت آبیاری و کاربرد اسید سالیسیلیک در حبوبات باشد.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در سه عامل آبیاری * رقم * اسید سالیسیلیک معنی دار است (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در رقم بیونج تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی ۲۰۰

میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار در همین رقم تحت آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و محلول پاشی آب مقطر به دست آمد (جدول ۵). افزایش سطح آبیاری به‌طور کلی موجب بهبود عملکرد دانه در هر دو رقم شد و بیشترین مقادیر عملکرد در آبیاری کامل و رقم بیونج مشاهده گردید (جدول ۵). اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک نیز وابسته به رقم، سطح آبیاری و غلظت محلول بود؛ در رقم بیونج، محلول پاشی ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر در آبیاری کامل بیشترین افزایش عملکرد (۵۵ درصد نسبت به شاهد) را ایجاد کرد، درحالی که غلظت بالاتر ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر تأثیر نسبتاً کمتری داشت (جدول ۵). در رقم منصور، محلول پاشی با غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر تحت آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی موجب افزایش عملکرد حدود ۲۸ درصد شد، اما همین غلظت‌ها در آبیاری ۷۵ درصد موجب کاهش عملکرد شدند. در آبیاری کامل نیز افزایش عملکرد ناشی از محلول پاشی به ۱۰ تا ۱۳ درصد محدود شد (جدول ۵)؛ بنابراین، رقم بیونج پاسخ مثبت بیشتری به محلول پاشی در شرایط آبیاری کامل نشان داد، درحالی که رقم منصور در سطوح آبیاری متوسط اثر محدود یا کاهش عملکرد را تجربه کرد (جدول ۵). علاوه بر این، غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر در بیشتر شرایط مؤثرترین میزان محلول پاشی در شرایط بدون تنش کم آبی بود، اما در شرایط کم آبی افزایش غلظت به ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر می‌تواند اثر افزایش عملکرد را تا حدی تقویت کند (جدول ۵). این نتایج بر اهمیت مدیریت هم‌زمان سطح آبیاری و غلظت محلول اسید سالیسیلیک به‌منظور بهینه‌سازی عملکرد دانه در نخود تأکید دارد. آبیاری و تأمین نیاز آبی کامل گیاه نقش مهمی در تولید زیست‌توده گیاه، بهبود عملکرد دانه و صفات مرتبط به آن دارد. عملکرد دانه حاصل تخصیص بالاتر وزن خشک گیاه به بخش زایشی (شاخص برداشت) و در نتیجه تعداد دانه تشکیل شده و وزن دانه است که در این تحقیق همه این عوامل در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ویژه در رقم بیونج با کاربرد ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک افزایش چشمگیری نسبت به سایر سطوح تیماری نشان دادند (جدول ۵). در تحقیقی، آبیاری در مراحل آخر رشد، موجب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه نخود گردید و به ازای هر میلی‌متر آبیاری تحت استفاده اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد در غلظت بالا شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Khademian and Yaghoubian, 2018). در مجموع، کاربرد ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید

کمتر مواد به دانه باعث می‌شوند که در شرایط خشکی دانه‌ها لاغرتر و کم‌وزن تر شوند (Sehgal et al., 2018).

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد عملکرد بیولوژیک در سه عامل آبیاری * رقم * اسید سالیسیلیک معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونج حاصل شد، درحالی‌که کمترین مقدار در رقم بیونج تحت شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی محلول‌پاشی آب مقطر اسید سالیسیلیک مشاهده گردید (جدول ۵). نتایج نشان داد که اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد بیولوژیک در دو رقم نخود متفاوت بود. در رقم بیونج، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش عملکرد بیولوژیک در تمام سطوح آبیاری شد و بیشترین اثر آن در شرایط آبیاری کامل مشاهده گردید هرچند در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم نیز عملکرد نسبت به شاهد بالاتر بود، اما در برخی موارد کاهش جزئی نسبت به تیمار ۲۰۰ میلی‌گرم مشاهده شد (جدول ۵). در رقم منصور، بیشترین افزایش عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش خشکی شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد، درحالی‌که در سطح آبیاری متوسط (۷۵ درصد نیاز آبی) اثر اسید سالیسیلیک محدود بود و تغییرات در برخی تیمارها اندکی بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری کامل، غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک موجب افزایش ملایم عملکرد گردید، اما اثر آن کمتر از رقم بیونج بود (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ ارقام مختلف نخود به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک وابسته به سطح رطوبتی خاک است و استفاده از غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند تا حدی اثرات تنش خشکی را کاهش دهد و تجمع ماده خشک و عملکرد بیولوژیک را بهبود بخشد. نتایج حاضر با مطالعات پیشین همخوانی دارد و نقش اسید سالیسیلیک در افزایش عملکرد بیولوژیک را تأیید می‌کند. گزارش شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش تجمع ماده خشک و عملکرد کل گیاه تحت تنش خشکی می‌شود (Shirui et al., 2023). حیات و همکاران (Hayat et al., 2010) بیان کردند که اسید سالیسیلیک از طریق بهبود فعالیت فتوسنتزی و افزایش مقاومت به تنش، عملکرد بیولوژیک لوبیا را افزایش می‌دهد.

سالیسیلیک تأثیر بهتری نسبت به سایر سطوح اسید سالیسیلیک داشت و در شرایط تأمین کمتر آب توانست تا حدی عملکرد را بهبود بخشد، هرچند تأثیر آن در شرایط آبیاری کامل چشمگیرتر بود. بهبود عملکرد دانه با اسید سالیسیلیک در نخود رقم عادل نیز گزارش شده است (Shirui et al., 2023). محلول‌پاشی گیاهان نخود با اسید سالیسیلیک سبب افزایش میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه شد و کیفیت دانه نخود را افزایش داد. به‌طورکلی غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نقش مؤثرتری در افزایش غلظت عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه نخود استفاده شود (Mozafari et al., 2025). در تحقیقی دیگر بیشترین عملکرد دانه نخود با محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک توأم با ۱۸ گرم در هکتار سلنیوم حاصل شد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد (Norouzi and Sajedi, 2020). سالیسیلیک اسید به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد، نقش مؤثری در برخی فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه، مانند رشد، نمو گیاه، جذب یونی و فتوسنتز ایفا می‌کند. از این رو می‌تواند نقش مهمی در ایجاد مقاومت به تنش‌های محیطی ایفا نماید (Hayat et al., 2010). تحت تنش خشکی، پتانسیل آب برگ و فشار تورژسانس سلولی که برای رشد سلول‌ها و بافت‌های گیاهی ضروری هستند، کاهش می‌یابند (Farooq et al., 2009). کمبود آب همچنین با تأثیرگذاری بر فرایندهای آنزیمی که مستقیماً تحت کنترل پتانسیل آب هستند، موجب محدودیت در رشد می‌شود (Oguz et al., 2022). پس از گرده‌افشانی موفق و تشکیل دانه، پر شدن دانه و رشد میوه به انتقال کارآمد مواد فتوسنتزی بستگی دارد. تنش خشکی شدید، فتوسنتز را مهار کرده و متابولیسم و انتقال مواد را مختل می‌کند (Negussu et al., 2023). تنفس و تعریق گیاه و گشودگی روزنه نیز تحت تأثیر کمبود آب قرار می‌گیرد که در نهایت بر فتوسنتز خالص تأثیر منفی می‌گذارد (Oguz et al., 2022). این محدودیت در دسترسی به مواد فتوسنتزی که به دلیل توقف فتوسنتز و تغییر در توزیع مواد فتوسنتزی ایجاد می‌شود، واکنش رشد گیاه را تحت تنش خشکی تعیین می‌کند. تنش خشکی دوره پر شدن دانه و رسیدن را کوتاه می‌کند و در نتیجه عملکرد را به شدت کاهش می‌دهد (Dietz et al., 2021). تمامی این عوامل به همراه تسهیم

همچنین خادهمیان و یعقوبیان (Khademian and Yaghoubian, 2018) نشان دادند که در نخود، مصرف اسید سالیسیلیک عملکرد بیولوژیک و تجمع ماده خشک را تحت شرایط محدودیت آبی بهبود می بخشد. در مجموع، یافته‌های حاضر تأکید می کند که ترکیب تأمین کامل نیاز آبی با مصرف اسید سالیسیلیک یک راهکار مؤثر برای افزایش عملکرد بیولوژیک در رقم بیونج است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری و اسید سالیسیلیک بر شاخص برداشت دارای تأثیر معنی داری است (جدول ۳). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب در سطوح آبیاری ۷۵ درصد و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شدند (جدول ۴). در این مطالعه، شاخص برداشت نخود در سطوح مختلف آبیاری با تغییرات قابل توجهی مواجه شد. بیشترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده گردید (جدول ۴). درحالی که در شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، شاخص برداشت به میزان ۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴). ازسوی دیگر، در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، شاخص برداشت با ۵۵ درصد اندکی کاهش

یافت (جدول ۴). این نتایج نشان دهنده این است که آبیاری مناسب، به ویژه در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی، می تواند به بهبود عملکرد گیاه در شرایط طبیعی و غیر تنش آمیز کمک کند. به طور خاص، تفاوت های مشاهده شده بین ۵۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی نشان دهنده تأثیر منفی کمبود آب بر تولید گیاه است، زیرا کمبود شدید آب (۵۰ درصد نیاز آبی) منجر به کاهش شاخص برداشت شد. درحالی که در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد عملکرد گیاه به دلیل تأمین کامل آب گیاه به سطح مطلوب رسید، اما تفاوت قابل توجهی با شرایط آبیاری ۷۵ درصد مشاهده نشد. این روند می تواند به دلیل بهبود شرایط فیزیولوژیکی گیاه در سطح آبیاری ۷۵ درصد باشد که به میزان کافی آب برای فعالیتهای متابولیک فراهم می کند (جدول ۴). مطالعات متعدد نیز نشان داده اند که کاهش سطح آبیاری به ویژه در مراحل بحرانی رشد گیاهان، اثرات منفی بر شاخص برداشت خواهد داشت. حسین و همکاران (Hussain et al. 2017) و فاروق و همکاران (Farooq et al., 2019) نشان داده اند که کمبود آب به ویژه در شرایط تنش آبی موجب کاهش میزان تولید محصول و شاخص برداشت می شود. به طور کلی، نتایج این تحقیق با مطالعات قبلی همسو است که تأکید دارند آبیاری مطلوب در رشد و عملکرد گیاهان، به ویژه در گیاهانی مانند نخود که به آب نیاز دارند، نقش اساسی دارد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نخود

Table 4. Mean comparison of the main effects of irrigation and salicylic acid on selected chickpea traits

آبیاری (درصد از نیاز آبی گیاه) Irrigation (plant water requirement) %	تعداد غلاف دارای تک بذر در بوته Number of one-seeded pods per plant	شاخص برداشت Harvest index %	تعداد غلاف پوک در بوته Number of empty pods per plant	سالیسیلیک اسید Salicylic acid mg L ⁻¹	شاخص برداشت Harvest index %
50	16	43	4.9	0	46
75	24	56	7.4	200	56
100	18	58	5.5	400	55
LSD (0.05)	7	8	1.4	LSD (0.05)	6

این تحقیق، استفاده از ۲۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک منجر به بیشترین شاخص برداشت (۵۶ درصد) شد. همچنین، در میزان ۴۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک شاخص برداشت به ۵۵ درصد کاهش یافت که نشان دهنده این است که افزایش بیشتر مقدار اسید

بالاترین شاخص برداشت نیز با کاربرد ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر حاصل شد و محلول پاشی آب مقطر منجر به کمترین شاخص برداشت شد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک به عنوان یک هورمون گیاهی شناخته شده است که می تواند بر عملکرد گیاه تحت شرایط مختلف محیطی تأثیر بگذارد. در

سالیسیلیک تأثیر مثبتی بر شاخص برداشت نخود نداشته است. نتایج نشان می‌دهند که اسید سالیسیلیک در مقادیر ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر قادر است با بهبود فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند فتوسنتز و افزایش مقاومت به تنش‌ها، عملکرد نخود را بهبود بخشد. در شرایط محلول‌پاشی آب مقطر، شاخص برداشت به ۴۶ درصد رسید که با افزودن اسید سالیسیلیک تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، شاهد افزایش ۱۰ درصدی در شاخص برداشت بودیم. این امر می‌تواند به دلیل اثرات مثبت اسید سالیسیلیک بر افزایش سطح آنتی‌اکسیدانی

و بهبود فرایندهای متابولیک گیاه در شرایط تنش باشد. تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که اسید سالیسیلیک می‌تواند به بهبود عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش آبی کمک کند. اسید سالیسیلیک می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی و بهبود شاخص برداشت شود. در این مطالعه نیز نتایج مشابهی مشاهده شد که استفاده از این هورمون گیاهی در شرایط مختلف آبیاری موجب بهبود شاخص برداشت در نخود گردید (Norouzi and Sajedi, 2020).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، رقم و سالیسیلیک اسید بر برخی صفات نخود

Table 5. Mean Comparison of the interaction effects of irrigation, cultivar, and salicylic acid on some chickpea traits

آبیاری		تعداد غلاف				وزن		کارایی	
(درصد از نیاز آبی گیاه)		اسید	تعداد	دارای دو بذر		صد دانه	عملکرد	عملکرد	مصرف آب
Irrigation	رقم	سالیسیلیک	غلاف در	در بوته	تعداد دانه	100	بیولوژیک	دانه	Water
(plant water requirement)	Cultivar	Salicylic acid	Pods per plant	Pods with two seeds per plant	Seeds per plant	seeds weight	Biological yield	Seed yield	use efficiency
%		mg L ⁻¹	no.	no.	no.	g	g m ⁻²	g m ⁻²	kg m ⁻³
50	بیونج	0	24.3	5.4	21.8	25	319	117	0.42
		200	20.4	5.2	18.0	28	340	126	0.50
		400	17.9	3.6	19.0	30	360	135	0.54
	منصور	0	30.6	5.9	20.6	30	297	118	0.47
		200	26.4	7.8	22.6	31	430	151	0.60
		400	27.4	4.7	25.9	32	440	152	0.61
75	بیونج	0	44.5	7.0	31.6	26	363	181	0.48
		200	39.4	7.5	34.0	30	480	249	0.66
		400	47.8	6.0	40.0	32	500	296	0.79
	منصور	0	38.3	6.5	32.9	31	528	295	0.79
		200	39.2	6.7	31.1	28	514	290	0.77
		400	39.0	9.4	31.4	30	514	257	0.77
100	بیونج	0	25.4	2.6	24.7	35	555	254	0.51
		200	64.9	14.7	42	39	655	394	0.80
		400	29.1	3.3	36	35	623	370	0.78
	منصور	0	23.3	3.2	20.5	33	511	230	0.46
		200	25.2	7.7	26.7	27	560	252	0.50
		400	29.1	4.8	20.9	32	580	261	0.52
LSD (0.05)			14.5	3.8	12.8	9	96.4	95	0.25

بهره‌وری آب

نتایج تجزیه واریانس نشان داد بهره‌وری آب در سه عامل آبیاری در رقم در اسید سالیسیلیک معنی‌دار است (جدول ۳). بیشترین بهره‌وری آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونج مشاهده شد و کمترین مقدار مربوط به آبیاری ۵۰ درصد نیاز

آبی و محلول‌پاشی آب مقطر در همین رقم بود (جدول ۵). در مقایسه با شرایط آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی که بهره‌وری آب در هر دو رقم کاهش یافت، در شرایط آبیاری کامل، بهره‌وری آب به میزان زیادی افزایش یافت که این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در بهبود استفاده از منابع آبی است (جدول ۵). به طور خاص، در آبیاری ۷۵

نتیجه‌گیری نهایی

بهترین عملکرد با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد و در صورت انجام کم‌آبیاری، کاهش مصرف آب به زیر ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه توصیه نمی‌شود. کاربرد اسید سالیسیلیک نیز حداکثر تا سطح ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب بهبود صفات نخود شد. به طور متوسط، رقم منصور برای شرایط کم‌آبیاری نسبت به رقم بیونیک برتری داشت و در صورت آبیاری کامل بهتر است از رقم بیونیک استفاده نمود. در نهایت، بهترین نتیجه با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک در رقم بیونیک حاصل شد و این ترکیب تیماری برای کشت نخود در شرایط اقلیمی مشابه قابل‌توصیه است. در مجموع تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، رقم بیونیک و محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید سالیسیلیک برای کشت نخود در شرایط اقلیمی مشابه توصیه می‌گردد.

درصد نیاز آبی نیز بهره‌وری آب در هر دو رقم نسبت به آبیاری ۵۰ درصد بهبود قابل‌توجهی داشت که این امر نشان‌دهنده تأثیر هم‌زمان بهینه‌سازی آبیاری و استفاده از اسید سالیسیلیک است (جدول ۵). این یافته‌ها با نتایج پیشین از جمله مطالعات فاروق و همکاران (Farooq et al., 2019) هم‌راستا است که نشان می‌دهند استفاده از اسید سالیسیلیک می‌تواند در شرایط تنش آبی موجب بهبود کارایی مصرف آب و افزایش تحمل به کم‌آبی در گیاهان نخود شود. همچنین، تأکید شده که آبیاری بهینه موجب بهبود کارایی مصرف آب و عملکرد گیاهان نخود می‌شود (Jalali, 2019). در مجموع، این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب آبیاری بهینه با اسید سالیسیلیک، به‌ویژه در رقم بیونیک، می‌تواند موجب بهبود قابل‌توجه کارایی مصرف آب و استفاده مؤثرتر از منابع آبی در شرایط مختلف آبیاری گردد.

منابع

- Abbasi, L., Khourgami, A., Rafiee, M., 2024. Morphophysiological response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salicylic acid priming and chelate nanofertilizer application in dryland conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 34, 165-180. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2023.55487.3002>
- Amini, Gh., Mashmol Delkhah, R., Qanad, M., Keramati, S., 2019. The effect of drought stress and foliar application of salicylic acid on chickpea yield. 11th National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. 13 March 2021. Hamadan, Iran. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1178829>
- Anwar, I., Bibi, S., Mahmood, A., Anjum Zia, M., Javaid, M.M., Ali, L., Nadeem, M.A., Naeem, Z., Al-Ashkar, I., Gharzeddin, K., Ayman, E.S., 2025. Impact of foliar spray of salicylic acid on morpho-physiological and biochemical responses of pea (*Pisum sativum* L.) under drought stress. *BMC Plant Biology*. 25, 1123. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06644-1>
- Arfan, M., Athar, H. R., Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? *Journal of Plant Physiology*. 164, 685-694. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.05.010>
- Awad, A.E., Abuarab, M.E., Abdelraouf, R.E., Bakeer, G.A., El-Shawadfy, M.A., Ragab, R., 2025. Improving yield and irrigation water productivity of green beans under water stress with agricultural solid waste-based material of compacted rice straw as a sustainable organic soil mulch. *Irrigation Science*. 43, 465-490. <https://doi.org/10.1007/s00271-024-00973-z>
- Azizi, S., Zare, N., Sheikhzadeh, P., Azizi Mobser, J., Karimizadeh, R., 2024. Effects of drought stress and re-irrigation at the flowering stage on the physiological and biochemical responses and yield in promising lentil lines. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 55, 123-137. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.362098.655018>
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bin Saif, H., Mokarroma, N., Ruma, K.F., Islam, M.A., Karim, M.R., 2023. Enhancing chickpea

- (*Cicer arietinum* L.) tolerance to salinity through plant growth regulators. Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry. 9, 161–170.
<https://doi.org/10.9734/ajraf/2023/v9i4243>
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72, 248–254.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Hui-Lian, X., Waskom, R.M., Niu, Y., Siddique, K.H.M., 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. Agronomy for Sustainable Development. 36, 3.
<https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>
- Dietz, K.-J., Zörb, C., Geilfus, C.-M., 2021. Drought and crop yield. Plant Biology Journal. 23, 881–893. <https://doi.org/10.1111/plb.13304>
- Farjam, S., Kazemi Arbat, H., Siosemardeh, A., Yarnia, M., Rokhzadi, A. 2015. Effects of salicylic and ascorbic acid applications on growth, yield, water use efficiency and some physiological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under reduced irrigation. Legume Research, 38, 66–71.
<https://doi.org/10.5958/0976-0571.2015.00011.9>
- Farjam, S., Siosemardeh, A., Kazemi-Arbat, H., Yarnia, M., Rokhzadi, A. 2018. Effects of ascorbic and salicylic acid foliar application on physiological traits of two chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Pulses Research. 9, 99–117. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v9i1.56269>
- Farooq, M., Hussain, M., Siddique, K.H.M., 2017. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. Critical Reviews in Plant Sciences. 33, 331–349.
<https://doi.org/10.1080/07352689.2014.875291>
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A. 2019. Salicylic acid as an effective tool in improving plant performance under stress. Environmental and Experimental Botany, 160, 36–46.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.01.004>
- 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, 185–212.
<https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Gao, Q., Liu, Y., Liu, Y., Dai, C., Zhang, Y., Zhou, F., Zhu, Y. 2023. Salicylic acid modulates the osmotic system and photosynthesis rate to enhance the drought tolerance of *Toona ciliata*. Plants. 12, 4187.
<https://doi.org/10.3390/plants12244187>
- Ghamarnia, H., Nazari, B., Ghobadi, M.E., 2017. Estimation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) (Bivani) water requirement, single and dual crop coefficient in lysimeter conditions and comparison with the SIMDualKc model. Iranian Journal of Pulses Research. 8, 164–179. [In Persian with English Summary].
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.48100>
- Ghanbari, A.A., Keshavarz, S., Mousavi, S.H., Abbasian, A. 2012. Effect of water deficit on yield and yield components of white, red and pinto beans. 5th Iranian Pulses Symposium. 26 February 2014, University of Tehran, Tehran, Iran. [In Persian].
<https://en.civilica.com/doc/275796>
- Goodarzvand Chegini, K., Bihamta, M.R., Fotovat, R., Omid, M., Shahnejat Bushehri, A.A., 2017. Study of genetic variation of Kabuli chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) using morphological traits with statistical multivariate analysis. Iranian Journal of Field Crop Science. 48, 465–481. [In Persian].
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.200415.654044>
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., Ahmad, A., 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environmental and Experimental Botany. 68, 14–25.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- Hussain, I., Rasheed, R., Ashraf, M. A., Mohsin, M., Shah, S.M A., Rashid, D.A., Akram, M., Nisar, J, Riaz, M., 2020. Foliar applied acetylsalicylic acid induced growth and key-biochemical changes in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Dose Response. 18(4), 1559325820956801.
<https://doi.org/10.1177/1559325820956801>
- Hoseini, S.Z., Barzegar, T., Nikbakht, J., Ghahremani, Z. 2019. Growth and physiological reactions of common bean cv. Sanry in response to salicylic acid and biostimulants under different irrigation regimes. Journal of Plant Ecophysiology.

- 10(35), 74-87. [In Persian].
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1397.10.35.8.9>
- Heidari, H., Alizadeh, Y., Fazeli, A. 2019. Effects of seed priming and foliar application of salicylic acid on some of physiological characteristics and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.) under drought stress conditions. Journal of Plant Production. 26(2), 127-141.
<https://doi.org/10.22069/jopp.2019.14863.2327>
- Jalali, A.H., 2019. Comparison of yield and water use efficiency of three chickpea cultivars under rainfed and irrigation condition. Iranian Journal of Pulses Research. 10, 52-62. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.62160>
- Khademian, R., Yaghoubian, I., 2018. Growth of chick pea (*Cicer arietinum* L.) in response to salicylic acid under drought stress. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 12, 255-263.
- Koul, B., Sharma, K., Sehgal, V., Yadav, D., Mishra, M., Bhargadwaj, C., 2022. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Biology and Biotechnology: From Domestication to Biofortification and Biopharming. Plants (Basel). 11, 2926.
<https://doi.org/10.3390/plants11212926>
- Li, A., Sun, X., Liu, L., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. Frontiers in Plant Science. 13, 878076.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076>
- Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes. Methods in Enzymology. 148, 350-382.
[https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 11, 591-592.
<https://doi.org/10.1042/bst0110591>
- Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl- induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany. 78, 389-398.
<https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Maddah, S.M., Falahian, F.A., Sabaghpour, S.H., Chalabian, F., 2007. Effect of salicylic acid on yield, yield components and anatomical structures of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Sciences (Islamic Azad University), 16(62/1) (Biology Issue), 61-70. [In Persian].
<https://sid.ir/paper/70474/en>
- Mehrasa, H., Farnia, A., Jafarzadeh Kenarsari, M.I., Nakhjavan, S., 2022. Study of the effect of salicylic acid foliar application and application of biofertilizers on yield, physiological characteristics and antioxidant defense system of bean under drought stress. Crop Physiology Journal. 13, 21-39. [In Persian].
<http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1442-en.html>
- Mozafari, F., Heidari, G., Khalesro, S., 2025. Effect of applying different levels of humic acid and salicylic acid on yield and quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed. Iranian Journal of Field Crops Research. 23(3), 303-320. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>
- Nasr Esfahani, M., 2013. Effect of dry stress on growth and antioxidant system in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Journal of Plant Biological Sciences. 5, 111-124. [In Persian].
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088264.1392.5.15.10.6>
- Negussu, M., Karalija, E., Vergata, C., Buti, M., Subašić, M., Pollastri, S., Loreto, F., Martinelli, F., 2023. Drought tolerance mechanisms in chickpea (*Cicer arietinum* L.) investigated by physiological and transcriptomic analysis. Environmental and Experimental Botany. 215, 104745.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105488>
- Norouzi, M., Sajedi, N., 2020. Effect of Salicylic acid and Selenium application at different growth stages on some physiological traits of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Research. 10, 36-48. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.65944>
- 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., Du, Y.L., Colmer, T.D., Siddique, K.H.M., 2017. Pattern of water use and seed yield under terminal drought in chickpea genotypes. Frontiers in Plant Science.

- 8, 1375.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01375>
- Patel, P.K., Hemantaranjan, A., Sarma, B., 2012. Effect of salicylic acid on growth and metabolism of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Indian Journal of Plant Physiology*. 17, 151-157.
- Patel, P.K., Hemantaranjan, A., 2012. Salicylic acid induced alteration in dry matter partitioning, antioxidant defence system and yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Asian Journal of Crop Science*. 4, 86-102.
<https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.86.102>
- Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H., Emam, Y., 2019. Improving drought tolerance of soybean by exogenous application of salicylic acid. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 205, 576-586.
<https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.22.61>
- Randhawa, N., Kaur, J., Singh, S., Singh, I. 2014. Growth and yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in response to water stress. *African Journal of Agricultural Research*. 9, 982-992.
- Sachdeva, S., Bharadwaj, C., Patil, B.S., Pal, M., Roorkiwal, M., Varshney, R.K., 2022. Agronomic performance of chickpea affected by drought stress at different growth stages. *Agronomy*. 12, 995.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12050995>
- Safari, M., Arghavani, M., Kheiri, A., 2017. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics of vetiver grass under water deficit stress conditions. *Journal of Crops Improvement*. 19(3), 591-603. [In Persian].
<https://doi.org/10.22059/jci.2017.60464>
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H.M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V.V., Nayyar, H., 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*. 9, 1705.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>
- Shahghasi, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, S. G. and Nakhaei, F. 2023. To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 4, 487-502. [In Persian].
<https://doi.org/10.22034/csrar.2023.326353.1184>
- Shekari, Z., Tahmasebi, Z., Kanouni, H., Mehrabi, A.A., 2024. Investigation of diversity of root traits of chickpea lines. *Iranian Journal of Pulses Research*. 15, 23-37. [In Persian].
<https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.80655.1051>
- Shirui, H., Hatami, A., Zeidali, E., Alizadeh, Y., 2023. Effect of foliar application of salicylic acid and biofertilizers on yield and yield components of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) in dryland conditions. *Plant Production and Genetics*. 4, 71-86. [In Persian].
<https://doi.org/10.34785/J020.2022.017>
- Song, W., Shao, H., Zheng, A., Zhao, L., Xu, Y., 2023. Advances in Roles of Salicylic Acid in Plant Tolerance Responses to Biotic and Abiotic Stresses. *Plants*. 12, 3475.
<https://doi.org/10.3390/plants12193475>
- Varol, I. S., Kırnak, H., Irik, H. A., Özaktan, H. 2023. Effects of supplementary drip irrigations applied in different growth stages on yield and yield components of chickpea plants grown under semiarid climate conditions. *Gesunde Pflanzen*. 75, 1307-1314.
<https://doi.org/10.1007/s10343-022-00742-y>
- Weissnad, Sh., Talebi, R., 2015. Studying the effect of different levels of salicylic acid and water deficit stress on yield and yield components in two cultivars of Kabuli type chickpea. *The First National Conference on New Achievements in Life Sciences and Agriculture*. 21 May, 2015. Zabol University, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/417983>