Iranian Journal of Pulses Research **Original Research**
Vol. 17, No. 1, June 2026, pp. 119-133 **Homepage: https://ijpr.um.ac.ir**

https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135

Effect of Salicylic Acid and Mycorrhiza on Morphophysiological Traits, Yield, and Nutrient Uptake of Two Rainfed Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars in Lorestan, Iran

Zeinab Imani[1], Mohamad Reza Moradi Telavat[1], Ahmad Koochekzadeh[1]*, Behrooz Mir Drikvand[2], Aydin Khodaei Joghan[1]

Received: 09 May 2026
Revised: 18 June 2026
Accepted: 21 June 2026
Available Online: 21 June 2026

Cite this article:
Imani, Z., Moradi Telavat, M. R., Koochekzadeh, A., Mir Drikvand, B., & Khodaei Joghan, A. (2026). Effect of salicylic acid and mycorrhiza on morphophysiological traits, yield, and nutrient uptake of two rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in Lorestan, Iran. *Iranian Journal of Pulses Research*, *17*(1), 119-133. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135

Introduction
Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important rainfed legumes in the western regions of Iran; however, its production is severely constrained by late-season drought stress. Drought stress disrupts photosynthetic processes and reproductive growth by reducing the availability of essential nutrients. Salicylic acid, as a plant growth regulator, enhances drought tolerance. Furthermore, mycorrhizal fungi such as *Glomus intraradices*, through the extension of their hyphal network, facilitate the uptake of water and low-mobility elements such as phosphorus (P), thereby improving stress resilience. Given the decisive role of cultivar selection in yield performance, this study was conducted to evaluate the interactive effects of salicylic acid and mycorrhizal inoculation on the morphophysiological characteristics, yield, and nutrient acquisition of two rainfed chickpea cultivars under the climatic conditions of Lorestan province.

Materials and Methods
The experiment was carried out during the 2021–2022 growing season at the Beyranshahr Research Station (northeast of Khorramabad, altitude 1660 m, cold semi-arid climate with an average annual rainfall of 250 mm). The experiment was arranged as a split-plot factorial based on a randomized complete block design with three replications. The main factor consisted of salicylic acid at four levels (0, 0.5, 1.0, and 1.5 mM). Subplot factors included two chickpea cultivars (Lorestan local and the Goksu cultivar) and two mycorrhizal inoculation levels (inoculation with *Glomus intraradices* and non-inoculated). Seeds were hand-planted in December. Mycorrhizal inoculum was incorporated into the root-zone soil, before sowing, and salicylic acid was applied as a foliar spray at the pre-flowering stage. Measured traits included plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, 100-seed weight, seed yield, biological yield, leaf area index (LAI), canopy temperature, leaf chlorophyll index (SPAD), plant nitrogen and phosphorus concentration, and seed protein content. Data were analyzed using SAS software (version 9.4, SAS Institute Inc.). Analysis of variance (ANOVA) was performed, and treatment means were compared using Duncan's multiple range test ($\alpha = 0.05$).

Results and Discussion
Analysis of variance revealed that the salicylic acid × mycorrhiza interaction had a significant effect on number of pods per plant, number of seeds per pod, canopy temperature, leaf chlorophyll index, plant nitrogen and phosphorus concentrations, and seed protein content. The highest number of pods per plant (26.30) and seeds per pod (2.15) were recorded in the 1.5 mM salicylic acid × mycorrhiza treatment. Moreover, the highest leaf chlorophyll index (17.08) was observed in the Goksu cultivar treated with 1.5 mM salicylic acid and mycorrhiza, which was twice the minimum value (8.18 in the untreated local cultivar, 0 mM salicylic acid, no mycorrhiza). The combined application of 1.5 mM salicylic acid and mycorrhiza increased plant nitrogen concentration (by 40.38%), plant phosphorus concentration (to 4.16 $mg.kg^{-1}$) which were more than double the lowest values (19.82% and 1.98 $mg.kg^{-1}$, respectively). The lowest canopy temperature (23.45 °C) was also recorded under the 1.5 mM salicylic acid × mycorrhiza treatment, showing a significant

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
2- Agricultural Jihad Organization of Lorestan Province, Khorramabad, Iran
* Corresponding Author: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

reduction compared to the control (31.53 °C). The main effect of salicylic acid was significant on plant height, 100-seed weight, and seed yield; the application of 1.5 mM salicylic acid resulted in the highest plant height (42.07 cm), 100-seed weight (38.06 g), and seed yield (2022 kg.ha^{-1}), which were increases of 26.6%, 30.5%, and 56%, respectively, over the control. Mycorrhizal inoculation alone also increased seed yield to 1864 kg ha^{-1}. The Goksu cultivar was superior to the local cultivar in terms of plant height (39.03 cm vs. 37.52 cm) and leaf area index (2.08 vs. 1.85), but no significant difference in seed yield was detected between the two cultivars.

Conclusions
Based on the results obtained from this experiment, it was established that the main effects of salicylic acid application and mycorrhizal inoculation individually increased seed yield. Mycorrhiza, through the expansion of its hyphal network, improves phosphorus uptake, which provides the energy required for nitrogen fixation and chlorophyll synthesis. Salicylic acid appears to improve nitrogen metabolism and prevent protein degradation under drought conditions by enhancing nitrate reductase activity and modulating antioxidant responses. Furthermore, the synergy between these two factors reduced canopy temperature (which improves plant water status) and increased the chlorophyll index (enhancing photosynthetic capacity), thereby promoting the translocation of photosynthates to the seed. Although the Goksu cultivar was superior in certain vegetative traits, its seed yield was similar to the local cultivar, which is likely attributable to the greater adaptation of the local cultivar to the region's rainfed conditions. In conclusion, the foliar application of 1.5 mM salicylic acid combined with soil inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can be recommended as a low-input, environmentally sustainable strategy to increase seed yield (up to 56%), protein content (up to 37%), and nutrient uptake in rainfed chickpea under cold semi-arid conditions similar to those of Lorestan province.

Keywords: Canopy temperature, Drought stress, Leaf area index, Seed protein

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، نیمه اول ۱۴۰۵، ص. ۱۳۳-۱۱۹
نوع مقاله: پژوهشی
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/ijpr.2026.98564.1135

تأثیر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و جذب عناصر دو رقم نخود (*Cicer arietinum* L.) دیم در لرستان

زینب ایمانی[۱]، محمدرضا مرادی تلاوت[۱]، احمد کوچک زاده[۱*]، بهروز میردریکوند[۲]، آیدین خدایی جوقان[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۳۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر اسیدسالیسیلیک و قارچ مایکوریزا در کاهش خسارت تنش خشکی آخر فصل در کشت دیم نخود (*Cicer arietinum* L.) و ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکردی آن، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر استان لرستان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح اسیدسالیسیلیک (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل اصلی، دو ژنوتیپ نخود (توده محلی لرستان و رقم گوکسو) و دو سطح تلقیح مایکوریزایی (تلقیح با گونه *Glomus intraradices* و عدم تلقیح) به‌عنوان عامل‌های فرعی بودند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص کلروفیل برگ، درصد نیتروژن، فسفر بوته و پروتئین دانه معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزایی به تعداد ۲/۱۵ به دست آمد. همچنین مقدار نیتروژن و فسفر بوته در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزا به‌ترتیب ۴۰/۳۸ درصد و ۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل شد که نسبت به شاهد بیش از دو برابر بود. اثر اصلی وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک معنی‌دار و مقدار آن‌ها به‌ترتیب ۳۸/۰۶ گرم و ۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی برگی ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و تلقیح میکوریزا می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد کم‌نهاده و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش شاخص‌های عملکردی نخود دیم در شرایط نیمه‌خشک و سرد مشابه استان لرستان توصیه شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تنش خشکی، دمای سایه‌انداز، شاخص سطح برگ

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) در خانواده بقولات پس از لوبیا دومین جایگاه مصرف را در ایران دارد. سطح زیرکشت این محصول در ایران ۶۱۸ هزار هکتار و مقدار تولید آن ۵۵۵ هزار تن است (Agricultural Statistics, 2023). این گیاه با ۲۰ تا ۲۳ درصد پروتئین، یکی از کشت‌های دیم مهم استان‌های غربی کشور محسوب می‌شود. یکی از عوامل محدودکننده تولید این محصول، تنش خشکی است که دسترسی به عناصر غذایی را کاهش می‌دهد. در این رابطه، کاربرد اسیدسالیسیلیک، تحمل گیاه به تنش خشکی را تعدیل و بر فرآیندهای رشدی و عملکردی گیاه مؤثر است (Sahraei et al., 2018). اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه‌هورمونی، تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش داده و تنش اکسیداتیو را با تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز، کاهش می‌دهد (Baghizadeh et al., 2020). آنتی‌اکسیدان‌ها، آنزیم‌ها و برخی ترکیبات مواد غیرآنزیمی هستند که برای مقابله با خسارت سلولی در تنش‌ها توسط گیاهان استفاده می‌شوند (Ashraf et al., 2010). گزارش شده است که اسیدسالیسیلیک، دسترسی عناصر غذایی به گیاه را بهبود بخشیده و به این ترتیب باروری گل‌ها را افزایش داد (Hasanvand et al., 2020). در مطالعه‌ای نشان داده شد که محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک، تمام صفات مورد ارزیابی دو رقم نخود را به‌جز تعداد دانه در غلاف، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Salek Mearaji & Hatami, 2020). قارچ مایکوریزا با بهبود جذب آب و مواد غذایی مانند منیزیم و آهن، غلظت کلروفیل را افزایش داده (Aghababaei & Raiesi, 2011) و از این طریق باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شد (Koochekzadeh et al., 2023; Jahangiri-Nia et al., 2016). نشان داده شده است که تلقیح مایکوریزایی همیشه‌بهار (*Calendula officinallis* L.) باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و به‌دنبال

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
۲- جهاد کشاورزی استان لرستان، خرم‌آباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: koochekzadeh@asnrukh.ac.ir)

آن، افزایش عملکرد بذر نسبت به شاهد گردید (Taheri Asghari, 2022). همچنین مایکوریزا با تولید پروتئینی به‌نام گلومالین، نقش کلیدی در تشکیل خاک‌دانه‌ها و ایجاد حفرات مناسب در خاک دارند، لذا هیف‌های قارچ با سهولت بیشتری وارد آن‌ها شده و انتقال مواد غذایی به‌خصوص فسفر را تسهیل می‌کنند (Piotrowski et al., 2004). از طرف دیگر، تأثیر ژن‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر صفات زراعی بیان شده است، بنابراین بین ارقام مختلف نخود نیز از این نظر تفاوت وجود دارد (Tahir & Karim, 2011; Bagheri et al., 2019).رقم، نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در میزان عملکرد دانه دارد که به‌دلیل خصوصیات ژنتیکی آن می‌باشد (Kabir-Fazlul et al., 2009). در مطالعه‌ای نشان داده شد که کاربرد رقم، اسیدسالیسیلیک و کودهای زیستی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه نخود زراعی شد (Momeni et al., 2021). با توجه به اثر سوء تنش خشکی در انتهای فصل رشد و هنگام شکل‌گیری اندام‌های زایشی نخود، این پژوهش با هدف اثر کاربرد اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر دو رقم نخود در شرایط دیم انجام شد تا تغییرات ویژگی‌های رشدی و عملکردی آن‌ها بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر واقع در استان لرستان، در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال شرق خرم‌آباد با عرض شمالی ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه، طول شرقی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه و ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. منطقه دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک با مشخصات هواشناسی جدول ۱ می‌باشد. همچنین خصوصیات خاک محل مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات دما و میزان بارندگی منطقه در طول دوره آزمایش (سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰)

Table 1- Temperature and rainfall characteristics of the region during the experiment

ماه Month	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
میانگین دما Mean temperature (°C)	9.8	6.5	6.0	10.6	15.7	19.6	27.1
حداکثر دما Max temperature (°C)	16.2	11.8	12.8	17.2	24.8	27.6	37.6
حداقل دما Min temperature (°C)	3.5	1.2	-0.8	3.9	6.6	11.5	16.5
مقدار بارندگی Precipitation (mm)	89.5	89.8	29.7	33.6	5.0	29.0	0

جدول ۲- نتایج آنالیز فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (ایستگاه تحقیقاتی بیرانشهر استان لرستان)

Table 2- Results of physical and chemical analysis of soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available potassium ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی Organic C (%)	بافت Texture
0-30	2.5	7.1	0.06	8.0	180	0.62	Loam

اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Rhoades, 1996)، pH در خمیر اشباع (Thomas, 1996)، توزیع اندازه ذرات به‌روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، نیتروژن کل به‌روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل‌جذب به‌روش اسید آسکوربیک (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل جذب به‌روش استات آمونیم (Helmke & Sparks, 1996) و کربن آلی به‌روش والکی- بلاک (Nelson & Sommers, 1996) انجام شد.

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و سه تکرار اجرا گردید. عامل‌های مورد مطالعه شامل اسیدسالیسیلیک در چهار سطح (شاهد، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل اصلی، دو رقم نخود (توده محلی منطقه لرستان (به‌عنوان شاهد) و رقم گوکسو) و قارچ مایکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) به‌عنوان عامل‌های فرعی بودند. توده محلی لرستان مناسب مناطق دیم و کم‌آب است که عادت رشد نیمه‌قائم دارد و نسبت به ارقام جدید عملکرد کمتری دارد، ولی از نظر پایداری عملکرد در سیستم‌های کم‌نهاده و شرایط کم‌آبی ارزشمند محسوب می‌شود. رقم نخود گوکسو (Göksu) یک رقم نسبتاً جدید ترکیه‌ای است که برای کشت پاییزه (زمستانه) و همچنین کشت بهاره

در مناطق مرتفع معرفی شده است. این رقم یک نخود درشت‌دانه از تیپ کابلی، زودرس، متحمل به خشکی و مناسب برداشت مکانیزه با ارتفاع بوته حدود ۳۸ تا ۷۰ سانتی‌متر است که برای کشت پاییزه در مناطق گرم‌تر و کشت بهاره در مناطق مرتفع طراحی شده و پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط آبی و دیم دارد. عملکرد در شرایط دیم ۲/۸۷ تن در هکتار و در شرایط آبی تا حدود ۴/۵۵ تن در هکتار است. به‌طور کلی، بذر رقم گوکسو، اصلاح‌شده، دانه درشت، مقاوم به برق‌زدگی و فوزاریوم، مقاوم به سرمای زمستان، مناسب کشت دیم و آبی، دارای ارتفاع بلند و قابلیت برداشت مکانیزه و توده محلی، دانه ریز، متوسط رشد و دارای حساسیت نسبی به برق‌زدگی است (Yuce and Karakoy, 2024). در این آزمایش، مایع تلقیح مایکوریزا (*Glomus intraradices*) که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده بود، به تعداد اسپور ۵۰ عدد در گرم ماده حامل، قبل از کاشت با اختلاط با خاک مرطوب منطقه توسعه ریشه به کار برده شد. محلول اسید سالیسیلیک نیز در یک مرحله قبل از گل‌دهی به‌صورت محلول‌پاشی استفاده گردید. هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به‌طول شش متر و عرض ۱/۸ متر بود که یک ردیف از هر طرف و نیم متر از بالا و پایین برای حاشیه در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بذرها روی هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌های اصلی ۵۰ سانتی‌متر، فاصله کرت‌های فرعی ۳۰ سانتی‌متر و فاصله تکرارها از هم ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. کاشت به‌صورت دستی در کرت‌های مسطح در نیمه اول آذر ماه انجام گرفت. در طی مراحل رشد، مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. برداشت در اواخر خرداد به‌صورت دستی و از سطح یک متر مربع وسط هر کرت (با حذف اثرات حاشیه) انجام گردید. همچنین از کود فسفات پتاسیم به‌مقدار ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار قبل از کشت استفاده شد.

صفات اندازه‌گیری‌شده شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص سطح برگ، دمای سایه‌انداز گیاهی، شاخص کلروفیل برگ، درصد نیتروژن بوته، درصد فسفر بوته و پروتئین دانه بودند. برای اندازه‌گیری دمای سایه‌انداز جامعه گیاهی، از دستگاه دماسنج مادون قرمز استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، از هر کرت، پنج بوته انتخاب و تمام برگ‌های آن پس از قرار گرفتن روی کاغذ سفید عکس‌برداری و توسط نرم‌افزار Digimizer 6.4 برای محاسبه سطح برگ‌های نمونه‌برداری شده در هر تیمار قرائت شدند. شاخص سطح برگ (LAI) برای هر نمونه از طریق معادله ۱ محاسبه شد.

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، LA: سطح برگ (مساحت برگ‌های بوته‌ها) و GA: مساحت زمین تحت اشغال بوته‌ها است.

ارتفاع ساقه در مرحله برداشت با استفاده از خط‌کش و با نمونه‌برداری ۱۰ بوته از هر کرت اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ در مرحله گل‌دهی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD مدل ۵۰۲ انجام شد. برای این کار پنج بوته از هر کرت انتخاب و در آخرین برگ توسعه‌یافته آن‌ها، سه نقطه قرائت گردید (در مجموع ۱۵ عدد برای هر کرت) و میانگین آن‌ها به‌عنوان عدد کلروفیل هر کرت آزمایشی ثبت شد. اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف با نمونه‌برداری ۱۰ بوته از هر کرت و میانگین‌گیری آن‌ها اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری وزن ۱۰۰ دانه با جدا کردن دانه‌ها و اندازه‌گیری دو نمونه تصادفی ۱۰۰ تایی از هر کرت به‌وسیله ترازوی دیجیتال با دقت یک صدم اعشار انجام شد و میانگین وزن ۱۰۰ دانه برای هر کرت آزمایشی محاسبه گردید. عملکرد دانه، پس از جداکردن دانه‌ها از غلاف با رطوبت ۱۲ درصد محاسبه شد. اندازه‌گیری عملکرد زیستی پس از قرارگیری نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت و دمای ۷۵ درجه سلسیوس در آون با ترازوی دقیق انجام گردید.

همچنین جهت اندازه‌گیری نیتروژن دانه، بوته و فسفر بوته، ابتدا نمونه‌ها آسیاب و یک گرم از آن‌ها به مدت چهار ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس عصاره‌گیری به‌وسیله اسیدکلریدریک دو نرمال انجام گرفت. نیتروژن دانه و بوته به‌روش نلسون و سامرز (Nelson & Sommers, 1980) و فسفر بوته به‌روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شد. مقدار پروتئین دانه نیز از ضرب نیتروژن دانه در ۶/۲۵ منظور گردید. تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین به‌روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. قبل از آنالیز آماری، به‌وسیله رویه Univariate از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع گیاه یکی از مهم‌ترین صفات مورد استفاده در تعیین ارقام مناسب برای شرایط دیم و پیش‌بینی عملکرد دانه می‌باشد. ارتفاع بوته نخود از صفات اثرپذیر کاربرد اسیدسالیسیلیک بود (جدول ۳). طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش مشخص شد که افزایش میزان کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش ارتفاع بوته گردید (جدول ۴)، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته (۴۲/۱ سانتی‌متر) با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار حاصل شد که با اسیدسالیسیلیک ۱ میلی‌مولار تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۴). کمترین ارتفاع بوته نیز

در شاهد با ۳۳/۲ سانتی‌متر مشاهده گردید. کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش طویل شدن ساقه از راه بهبود وضعیت آبی سلول‌ها شده که در نتیجه ارتفاع بوته نیز افزایش می‌یابد (Hafez et al., 2019). در پژوهشی روی نخود زراعی گزارش شد که با کاربرد اسیدسالیسیلیک، نشت یونی و تجمع یون‌های سمی در گیاهان کاهش و سبب افزایش سیتوکینین‌ها گردید (Krantev et al., 2008) که تأثیر مثبتی بر رشد طولی گیاه دارد. علی‌رغم اینکه اشرف و همکاران (Ashraf et al., 2010) بیان داشتند که اسیدسالیسیلیک در غلظت زیاد، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی عمل کرده و با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برهم‌کنش ایجاد می‌کند، ولی در این آزمایش، اسیدسالیسیلیک تا غلظت ۱/۵ میلی‌مولار، شاخص‌های رشدی و عملکردی نخود را افزایش داد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تلقیح بذرهای نخود زراعی با مایکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد، به‌طوری‌که در تیمار تلقیح با مایکوریزا، ارتفاع بوته به ۳۹/۷ سانتی‌متر رسید که نسبت به شاهد (۳۶/۸ سانتی‌متر) بیشتر بود (جدول ۴). قارچ مایکوریزا با فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک برای گیاه سبب بهبود رشد آن (Ferrol et al., 2019) و در نتیجه افزایش ارتفاع گیاه گردید. مایکوریزا با جذب بیش‌تر عناصر غذایی، ریشه‌های گیاه را گسترش داده که از این طریق بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Hasanvand et al., 2020).

بین ارقام محلی و خارجی نیز از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری وجود داشت و نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در رقم گوکسو و توده محلی به‌ترتیب ۳۹/۰۳ و ۳۷/۵۲ سانتی‌متر بود (جدول ۴).

اجزای عملکرد

نتایج نشان داد که اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف (۲۶/۳ در بوته) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار و کمترین تعداد آن (۱۸/۴) در تیمار بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک حاصل شد (جدول ۶). تعداد غلاف از مهم‌ترین صفات زایشی مؤثر بر عملکرد دانه است. افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک باعث افزایش تعداد غلاف شد و این افزایش در حضور مایکوریزا تشدید گردید. اسیدسالیسیلیک با تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی، محتوای آب سلول و فتوسنتز را بهبود بخشیده و با افزایش کارآیی ریشه‌های موبین، جذب آب و عناصر را تسهیل می‌کند (Hafez et al., 2019) و در نتیجه مقاومت به خشکی و اجزای عملکرد را افزایش می‌دهد.

همچنین اثر متقابل اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دلنه در غلاف (۲/۱۵ دانه) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۶). اسیدسالیسیلیک در شرایط کم‌آبی (مشابه دیم) تعداد غلاف و دانه را در لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) افزایش داد (Afshari et al., 2013). مشابه همین نتایج در آزمایش شیرویی و همکاران (Shiroui et al., 2023) روی نخود گوکسو در اراضی دیم نیز مشاهده شد. امّا شاه‌قاسی و همکاران (Shahghasi et al., 2023) گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک، تعداد دانه در غلاف گوار (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) را افزایش نداد که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت ندارد.

شاخص‌های فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که تنها اثر رقم بر شاخص سطح برگ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین داده‌ها مشخص کرد که شاخص سطح برگ ۲/۰۸ رقم گوکسو به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده محلی (۱/۸۵) بود (جدول ۴). برگ‌ها، اندام‌های اصلی دریافت نور و انجام فتوسنتز در گیاهان هستند. سطح برگ، ظرفیت جذب انرژی تاج‌پوشش را تعیین کرده و نقش مهمی در تخمین زیست‌توده و تبخیر–تعرق پوشش گیاهی ایفا می‌کند (Verrelst et al., 2012). به نظر می‌رسد که ارقام با خلوص و پتانسیل ژنتیکی بیشتر، توانایی بهتری در جذب آب و مواد غذایی از خاک داشته و در نتیجه از سطح برگ گسترده‌تری برخوردار می‌شوند. اگرچه کاربرد جداگانه اسیدسالیسیلیک یا مایکوریزا باعث افزایش عددی شاخص سطح برگ گردید، امّا این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۴). در این رابطه گزارش شده است که میکوریزا به‌طور مستقیم سطح برگ را افزایش نمی‌دهد، بلکه بر دوام سطح برگ و وزن مخصوص برگ اثر می‌گذارد (Valentine et al., 2006).

اثر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر دمای سایه‌انداز معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک در تیمارهای حاوی مایکوریزا منجر به کاهش دمای سایه‌انداز گردید. کمترین میزان دمای سایه‌انداز (۲۳/۴۵ درجه سلسیوس) در تیمار تلقیح مایکوریزایی همراه با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار حاصل شد، درحالی‌که بیشترین دمای سایه‌انداز (۳۱/۵۳ درجه سلسیوس) در تیمار بدون اسیدسالیسیلیک و بدون تلقیح مایکوریزا مشاهده گردید (جدول ۶). این یافته‌ها با گزارش واسایا و همکاران (Wasaya et al., 2021) همسو است، آن‌ها نشان دادند که کاربرد اسیدسالیسیلیک دمای سایه‌انداز گیاهی را کاهش می‌دهد. حسن و همکاران (Hassan et al., 2022) اعلام کردند که اسیدسالیسیلیک یک تنظیم‌کننده تولید گرما در گیاه بوده و غلظت‌های مختلف آن ممکن است اثرات متفاوتی بر دمای تاج‌پوشش داشته باشد. عواملی که سطح برگ و بازشدگی روزنه‌ها را افزایش می‌دهند باعث افزایش

تبخیر و تعرق شده و در نتیجه دمای سایه‌انداز گیاهی کاهش می‌یابد (Wasaya et al., 2021). بگوم و همکاران (Begum et al., 2019) عنوان کردند که کاربرد مواد مغذی و بهبود تغذیه گیاه با افزایش سطح برگ و حفظ محتوای آب درونی، دمای سایه‌انداز را کاهش می‌دهد. همچنین گزارش شده است که هر عاملی جذب آب توسط گیاه را افزایش دهد موجب کاهش دمای سایه‌انداز می‌گردد (Liu et al., 2021).

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سه‌گانه اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار بود. بیشترین میزان شاخص کلروفیل (۱۷/۰۸) در تیمار کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار، رقم گوکسو و تلقیح مایکوریزایی حاصل شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت. کمترین میزان این صفت (۸/۱۸) نیز مربوط به توده محلی، عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک و عدم تلقیح مایکوریزا بود (جدول ۵). کاهش کلروفیل در شاهد احتمالاً به‌دلیل کاهش سنتز و افزایش تخریب کلروفیل تحت تنش خشکی در شرایط دیم می‌باشد. استفاده از اسیدسالیسیلیک به‌دلیل دسترسی به‌موقع عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Yeganehpour et al., 2016). همچنین در شرایط تنش خشکی، اسیدسالیسیلیک باعث افزایش تراکم کلروفیل در واحد سطح برگ شده (Baljani & Shekari, 2012) و در نتیجه شاخص کلروفیل ارتقاء می‌یابد. پژوهش حافظ و همکاران (Hafez et al., 2019) روی گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک، شاخص کلروفیل برگ را افزایش داده و اثرات منفی خشکی را کاهش می‌دهد. همچنین تلقیح بذر با ریزجانداران زیستی همراه با اسیدسالیسیلیک، افزایش بیشتری در شاخص کلروفیل ایجاد کرد. به نظر می‌رسد که افزایش کلروفیل در همزیستی با قارچ‌های میکوریزا به‌دلیل جذب بیشتر فسفر و عناصر ضروری در بیوسنتز کلروفیل باشد (Aghababaei & Raiesi, 2011). همچنین میکوریزا با کمک به جذب منیزیم، سنتز کلروفیل را افزایش می‌دهد (Hashem et al., 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات اندازه‌گیری‌شده نخود زراعی

Table 3- Variance analysis of some evaluated traits of chickpea

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means of squares(MS)			
		ارتفاع بوته Height of plant	تعداد غلاف در بوته No. of pods.plant^{-1}	تعداد دانه در غلاف No. of seed.pod^{-1}	شاخص سطح برگ Leaf area index
تکرار Replication	2	3.168 ^{ns}	0.453 ^{ns}	0.308**	3.92**
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	184.419**	73.328**	1.141**	0.170 ^{ns}
خطای اصلی Ea	6	10.359	1.955	0.063	2.225
رقم Cultivar (C)	1	27.075*	2.895 ^{ns}	0.067 ^{ns}	0.671**
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	1	99.907**	29.657**	0.700**	0.048 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × رقم SA × C	3	6.938 ^{ns}	0.282 ^{ns}	0.040 ^{ns}	0.206 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × مایکوریزا SA × M	3	4.355 ^{ns}	5.235*	0.091*	0.251 ^{ns}
رقم × مایکوریزا C × M	1	15.881 ^{ns}	0.494 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.014 ^{ns}
اسیدسالیسیلیک × رقم × مایکوریزا SA × C× M	3	8.105 ^{ns}	0.758 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.053 ^{ns}
خطای فرعی Eb	24	8.368	1.432	0.038	0.116
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.55	5.48	12.02	17.32

^{ns}: غیرمعنی‌دار و * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جذب عناصر

اثر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر مقدار نیتروژن بوته معنی‌دار بود. بیشترین مقدار نیتروژن بوته (۴۰/۳۸ درصد) در تیمار ترکیبی اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار همراه با تلقیح مایکوریزا و کمترین مقدار (۱۹/۸۲ درصد) در شاهد (بدون اسیدسالیسیلیک و بدون مایکوریزا) حاصل شد (جدول ۶). به عبارت دیگر، کاربرد تلفیقی این دو تیمار موجب افزایش دو برابری نیتروژن بوته نسبت به شاهد گردید. مایکوریزا با افزایش فسفر قابل جذب خاک، تثبیت زیستی نیتروژن را افزایش (Oliveira et al., 2017) و با فعال کردن آنزیم‌های گلوتامین سنتتاز، آرژیناز و اوره‌آز، مقدار نیتروژن را در گیاهان زیاد می‌کند (Ashraf, 2010). کاربرد اسیدسالیسیلیک همراه با همزیستی میکوریزایی، کلونیزاسیون ریشه و گسترش آن را افزایش داده و جذب آب و عناصر را بهبود می‌بخشد (Hasanvand et al., 2020). از سوی دیگر، اسیدسالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در برگ، احیای نیترات را تسریع کرده و متابولیسم نیتروژن را تسهیل می‌کند (Khaled & Fawy, 2011). در شرایط کم‌آبی دیم، بهبود کلونیزاسیون میکوریزا در حضور اسیدسالیسیلیک و متعاقب آن افزایش جذب نیتروژن، یکی از سازوکارهای اصلی افزایش عملکرد دلنه و محتوای پروتئین نخود است.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری‌شده نخود زراعی تحت تأثیر ترکیبات تیماری

Table 4- Mean comparison of measured some evaluated traits of chickpea affected by treatments

تیمار Treatment	سطوح تیمار Treatment levels	ارتفاع بوته Height of plant (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	شاهد Control	33.24 ^{c*}	1.83 ^{a}	29.16 ^{c}	1295.6 ^{c}	4462.3 ^{a}
	0.5 mM	37.21 ^{b}	1.91 ^{a}	34.29 ^{b}	1599.2 ^{bc}	4661.2 ^{a}
	1.0 mM	40.58 ^{a}	2.02 ^{a}	36.84 ^{ab}	1822.4 ^{ab}	4767.3 ^{a}
	1.5 mM	42.07 ^{a}	2.10 ^{a}	38.06 ^{a}	2022.1 ^{a}	5038.3 ^{a}
رقم Cultivar	محلی Local	37.52 ^{b}	1.85 ^{b}	34.11 ^{a}	1611.3 ^{a}	4576.4 ^{a}
	گوکسو Goksu	39.03 ^{a}	2.08 ^{a}	35.06 ^{a}	1758.6 ^{a}	4888.2 ^{a}
مایکوریزا Mycorrhiza	عدم تلقیح No inoculation	36.83 ^{b}	1.93 ^{a}	33.12 ^{b}	1505.6 ^{b}	4430.1 ^{b}
	تلقیح Inoculation	39.72 ^{a}	2.00 ^{a}	36.05 ^{a}	1864.3 ^{a}	5034.4 ^{a}

* در هر ستون میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

همچنین برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر فسفر بوته معنی‌دار بود. در تمام سطوح اسیدسالیسیلیک، تلقیح با مایکوریزا منجر به افزایش درصد فسفر بوته گردید. بالاترین مقدار فسفر (۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار تلقیح مایکوریزا همراه با اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار به دست آمد که با تیمار ۱ میلی‌مولار همراه با مایکوریزا تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار فسفر (۱/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز در شاهد (بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک) به دست آمد (جدول ۶). پژوهش‌های مختلف افزایش معنی‌دار جذب فسفر در گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا را تأیید کرده‌اند (Begum et al., 2019). میکوریزا با توسعه هیف خود، دسترسی به عناصر غذایی به‌ویژه فسفر با تحرک کم در خاک را تسهیل می‌کند (Ferrol et al., 2019). اسیدسالیسیلیک با افزایش کلونیزاسیون ریشه و بهبود استقرار میکوریزا، به‌طور غیرمستقیم جذب فسفر را افزایش می‌دهد (Hasanvand et al., 2020). با توجه به مقدار کم فسفر قابل جذب خاک منطقه (جدول ۲)، پاسخ مناسب گیاه به میکوریزا و اسیدسالیسیلیک قابل انتظار بود. ریزجانداران حل‌کننده فسفر با ترشح اسیدهای آلی، فسفر قابل‌جذب را افزایش می‌دهند (Ferrol et al., 2019). براساس پژوهش مؤمنی و همکاران (Momeni et al., 2020)، مصرف اسیدسالیسیلیک و میکوریزا، مقدار فسفر را در نخود دیم افزایش داد. اسیدسالیسیلیک با تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی، محتوای آب سلول و فتوسنتز را بهبود بخشیده و با افزایش کارآیی ریشه‌های مویین، جذب آب و عناصر را تسهیل می‌کند (Hafez et al., 2019).

علاوه بر این، اثر رقم و مایکوریزا بر فسفر بوته معنی‌دار بود. در هر دو رقم (توده محلی و گوکسو)، تلقیح میکوریزا نسبت به عدم تلقیح برتری داشت. رقم گوکسو در تیمار تلقیح با میکوریزا دارای بیشترین

میزان فسفر (۳/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و توده محلی در تیمار عدم تلقیح دارای کمترین میزان فسفر (۲/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). به احتمال زیاد، خصوصیات ژنتیکی و ریخت‌شناختی ریشه و اندام هوایی رقم گوکسو در جذب بهتر آب و عناصر مؤثر بوده است (Momeni et al., 2020). میکوریزا با فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک، سرعت و مقدار جذب این عنصر را افزایش می‌دهد (Ferrol et al., 2019).

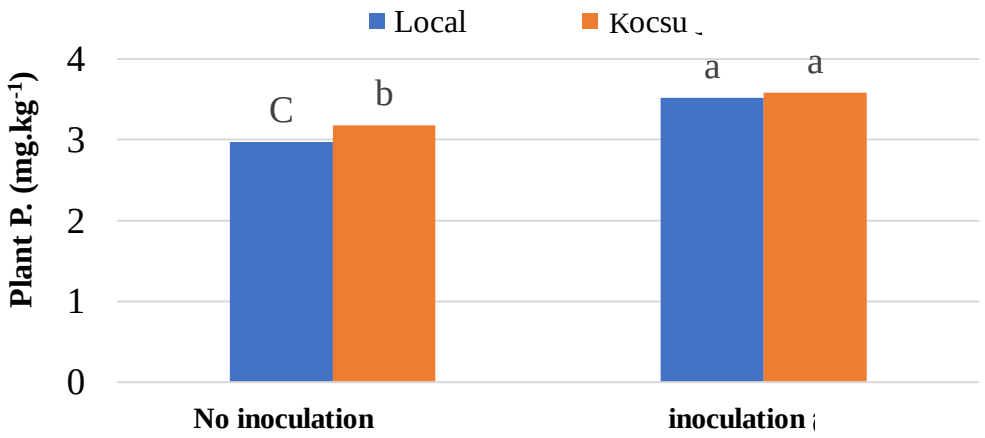
جدول ۵- برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر شاخص کلروفیل برگ نخود زراعی

Table 5- Interaction of salicylic acid, mycorrhiza and cultivar on leaf chlorophyll index of chickpea

مایکوریزا Mycorrhiza	عدم تلقیح No inoculation				تلقیح Inoculation			
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (mM)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
محلی Local	8.18 g*	10.98 f	12.50 de	13.24 cd	9.94 f	12.07 e	13.72 c	15.00 b
گوکسو Goksu	9.73 ef	12.00 e	12.53 de	13.51 c	10.14 f	12.31 e	14.59 b	17.08 a

* میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.



شکل ۱- برهم‌کنش مایکوریزا و رقم بر فسفر بوته نخود زراعی

Figure 1- Interaction of mycorrhiza and cultivar on plant phosphorus of chickpea

پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزایی بذور (جدول ۶) ضمن برتری تیمار تلقیح مایکوریزایی، نشان داد که افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک نیز افزایش درصد پروتئین دانه را به همراه داشت (جدول ۶). به‌طوری‌که بالاترین درصد پروتئین دانه در تیمار تلقیح مایکوریزایی به همراه کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی‌مولار به‌میزان ۳۰/۰۵ درصد و کمترین مقدار آن به‌میزان ۲۱/۹۷ درصد در شرایط بدون تلقیح و بدون مصرف اسیدسالیسیلیک مشاهده شد (جدول ۶) که افزایش ۳۷ درصدی را نشان داد. نقش اسید سالیسیلیک در بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه مانند پروتئین‌های محلول در شرایط تنش بیان شده است (Pakar et al., 2016). نتایج سایر محققان نیز افزایش معنی‌دار پروتئین دانه نخود دیم را با کاربرد اسیدسالیسیلیک تأیید کرده است (Abbasi et al., 2024) که با این تحقیق مطابقت دارد. نتایج تحقیق پژوهشگران نشان داد که کاربرد مایکوریزا، مقدار پروتئین دانه در نخود دیم را افزایش داد (Momeni et al., 2020). گزارش شده است که مایکوریزا با افزایش فسفر قابل جذب خاک، تثبیت زیستی نیتروژن را افزایش داده (Oliveira et al., 2017) که باعث تجمع بیشتر نیتروژن در گیاه و در نهایت انباشتگی پروتئین در دانه می‌شود. هم‌افزایی مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک در مطالعه حاضر نشان داد که کاربرد تلفیقی این دو تیمار، پروتئین دانه نخود در شرایط دیم را افزایش داد.

اجزای عملکرد

اثر اصلی اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بود. با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک، وزن ۱۰۰ دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بالاترین میزان (۳۸/۰۶ گرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار (۲۹/۱۶ گرم در شاهد) ۳۰/۵ درصد افزایش داشت. همچنین تلقیح مایکوریزا، وزن ۱۰۰ دانه را تا ۳۶/۰۵ گرم افزایش داد (جدول ۴). یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات متعدد تأییدکننده اثر مثبت اسیدسالیسیلیک بر وزن دانه نخود زراعی همسو است (Gupta et al., 2020; Momeni et al., 2020). اسیدسالیسیلیک به‌دلیل دسترسی به‌موقع عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فتوسنتز را بهبود بخشیده (Yeganehpour et al., 2016) و تسهیم مواد فتوسنتزی به دانه‌ها را افزایش می‌دهد. گزارش‌های متعددی تأثیر معنی‌دار اسیدسالیسیلیک بر وزن ۱۰۰ دلنه نخود در شرایط دیم را تأیید کرده‌اند (Gupta et al., 2020; Patel & Hemantaran, 2012). مایکوریزا نیز از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای در ریزوسفر، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب آب و عناصر به‌ویژه فسفر و نیتروژن را بیشتر می‌کند (Oliveira et al., 2017; Ferrol et al., 2019). افزایش جذب آب و مواد مغذی، تولید و تسهیم ماده خشک بهینه‌تری به همراه داشته و با اختصاص سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی، وزن دانه را افزایش می‌دهد (Oliveira et al., 2017). افزون بر این، مایکوریزا با بهبود روابط آبی گیاه و افزایش رطوبت نسبی برگ در شرایط دیم، از طریق کاهش تنش خشکی در مرحله پُر شدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک می‌کند (Laranjeira et al., 2021).

عملکرد دانه نیز تحت‌تأثیر اثر اصلی مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک قرار گرفت. عملکرد دانه با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین مقدار (۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) پس از مصرف ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک با افزایش ۵۶ درصدی نسبت به شاهد، و کمترین مقدار (۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار بدون اسیدسالیسیلیک به‌دست آمد. همچنین کاربرد مایکوریزا، عملکرد دانه را تا ۱۸۶۴ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (جدول ۴). بر این اساس، در تیمارهای برتر آزمایش حاضر، با توجه به بارش حدود ۳۰۰ میلی‌متر باران طی پنج ماه اجرای آزمایش که با پراکنش مناسبی نیز همراه بود (جدول ۱)، عملکرد نخود زراعی در منطقه در سطح اقتصادی قابل قبولی به‌دست آمد. اسیدسالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، از تخریب کلروفیل و ساختار روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرده و طول دوره مؤثر پُر شدن دانه را افزایش می‌دهد (Gupta et al., 2020). کاربرد برگی اسیدسالیسیلیک سبب بهبود انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های هوایی به دانه می‌شود که عامل کلیدی در افزایش وزن و عملکرد دانه در شرایط دیم است (Patel & Hemantaran, 2012). مصرف اسیدسالیسیلیک به‌تنهایی عملکرد نخود رقم گوکسو را در شرایط دیم افزایش داده است (Shiroui et al., 2023). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که خشکی آخر فصل با کاهش زنده‌مانی گرده‌ها، اختلال در عملکرد کلاله، کاهش تعداد گل‌ها، ریزش غلاف‌ها و کاهش اندازه بذرها، عملکرد دانه نخود را کاهش می‌دهد (Pang et al., 2017; Dreccer et al., 2018). مایکوریزا در شرایط دیم با بهبود روابط آبی و افزایش رطوبت نسبی برگ، از کاهش شدید فتوسنتز در مرحله پُر شدن دانه جلوگیری کرده و عملکرد را افزایش می‌دهد (Momeni et al., 2020). همچنین کاربرد قارچ میکوریزا با بهبود جذب نیتروژن، رشد، کلروفیل برگ و فتوسنتز را افزایش داده و در نتیجه عملکرد را بالا می‌برد (Oliveira et al., 2017).

عملکرد زیستی تنها تحت‌تأثیر اثر اصلی مایکوریزا قرار گرفت. بیشترین مقدار (۵۰۳۴ کیلوگرم در هکتار) با تلقیح مایکوریزایی بذور حاصل شد، درحالی‌که عدم تلقیح، آن را به ۴۴۳۰ کیلوگرم در هکتار کاهش داد (جدول ۴). گزارش شده است که اثر اسیدسالیسیلیک در افزایش نسبی عملکرد زیستی و دانه نخود در خشکی آخر فصل ممکن است با القای نقش محافظتی غشاء مرتبط باشد (Vaisnad & Talebi, 2015). تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح و دوام برگ‌ها و اختلال در جذب و انتقال عناصر و فتوسنتز (Dreccer et al., 2018) باعث کاهش عملکرد زیستی می‌شود، هرچند در تحقیق حاضر این کاهش معنی‌دار نبود. فرجام و همکاران (Farjam et al., 2014) نیز گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد زیستی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نداشت که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. کاربرد مایکوریزا، عملکرد زیستی لوبیا قرمز را نسبت به شاهد افزایش داده است (Tanhaei et al., 2018). این قارچ‌ها با تولید هورمون‌های رشد به‌ویژه جیبرلین، تعداد برگ، قطر، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد گلرنگ را افزایش می‌دهند (Omidi et al., 2009). همچنین پس از تلقیح میکوریزا، وزن تر و خشک ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نسبت به شاهد افزایش یافت (Zolfaghari et al., 2013).

جدول ۶- برهم‌کنش اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر برخی اجزای عملکرد، دمای سایه‌انداز، نیتروژن، فسفر و پروتئین بوته نخود

Table 6- Interaction of salicylic acid, mycorrhiza and cultivar on yield components, canopy temperature, N, P and Protein od chickpea

مایکوریزا Mycorrhiza	عدم تلقیح No inoculation				تلقیح Inoculation			
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid (mM)	0	0.5	1.0	1.5	0	0.5	1.0	1.5
تعداد غلاف در بوته No. of pods.plant^{-1}	18.38 f*	20.47 de	22.54 bc	22.75 bc	19.22 ef	21.58 cd	23.33 b	26.30 a
تعداد دانه در غلاف No. of seeds.pod^{-1}	1.24 d	1.42 cd	1.57 c	1.81 b	1.37 cd	1.48 cd	2.00 ab	2.15 a
دمای سایه‌انداز Canopy temperature	31.53 a	27.78 b	25.63 c	24.75 cd	28.26 b	27.34 b	24.20 b	23.45 b
نیتروژن بوته Plant N	19.82 f	27.86 d	29.97 bc	31.74 b	23.98 e	28.79 cd	32.70 b	40.38 a
فسفر بوته Plant P	1.98 g	3.04 e	3.44 c	3.83 b	2.64 f	3.29 d	4.11 a	4.16 a
پروتئین دانه Seed protein	21.97 e	23.27 de	25.76 bc	26.50 b	22.72 e	24.34 c	27.08 b	30.05 a

* در هر ردیف، میانگین‌هایی که حرف مشترک دارند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each row, followed by a similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan test.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک و مایکوریزا به‌طور جداگانه و به‌ویژه در تیمار ترکیبی بر ویژگی‌های رشدی، عملکردی و جذب عناصر در نخود دیم و در شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک استان لرستان اثر داشته و آن‌ها را بهبود بخشیده است. بیشترین عملکرد دانه (۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، و بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۰ درصد)، نیتروژن گیاه (۴۰/۳۸ درصد) و فسفر گیاه (۴/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با کاربرد توأم ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزا به دست آمد که حاکی از اثر هم‌افزایی این دو عامل است. جذب بیشتر عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و فسفر توسط هیف‌های مایکوریزا و به‌دنبال آن افزایش کلروفیل برگ‌ها باعث شد تا فتوسنتز افزایش یافته که نتیجه آن زیاد شدن تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف بود. این امر به‌همراه خنک‌تر بودن تاج‌پوشش گیاه باعث افزایش وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و زیستی شد. از طرف دیگر، افزایش نیتروژن دانه، بر مقدار پروتئین آن اثر گذاشت و ازدیاد آن را سبب شد. همچنین استفاده از بذر اصلاح‌شده گوکسو قادر است تا ۹/۱ درصد محصول را افزایش دهد. علی‌رغم معنی‌دار نبودن اختلاف بین دو رقم مورد بررسی، رقم گوکسو با قابلیت برداشت مکانیزه می‌تواند مورد توجه بیشتری قرار گیرد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که غلظت ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک همراه با کاربرد مایکوریزا به‌عنوان یک راهکار کم‌نهاده و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش بهره‌وری نخود دیم در مناطق مشابه در صورت تکرار نتایج در مطالعات آینده قابل توصیه خواهد بود.

سپاسگزاری

از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و همچنین معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که از تحقیق حاضر حمایت کردند، سپاسگزاری می‌شود.

References

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*(3), 165-180. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2023.55487.3002

Afshari, M., Shekari, F., Azimkhani, R., Habibi, H., & Fotokian, M. H. (2013). Effects of foliar application of salicylic acid on growth and physiological attributes of cowpea under water stress conditions. *Iran Agricultural Research*, *32*(1), 55-70. https://doi.org/10.22099/iar.2013.1817

Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosynthesis and water use efficiency in four almond genotypes in Chahar Mahal va Bakhtiary. *Journal of Water and Soil Science, 15*(56), 91-102. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.56.7.7

Agricultural Statistics. (2023). Volume One: Crop Products. 120 p. (In Persian).
Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances, 28*, 169–183. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005
Ashraf, M., Akram, N. A., Arteca, R. N., & Foolad, M. R. (2010). The Physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences, 29*(3), 162-190. https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483580
Bagheri, A. , Siadat, A. , Koochekzadeh, A. , Moradi Telavat, M. R. and Rafiee, M. (2019). Physiological responses of chickpea cultivars to supplemental irrigation and super-absorbent polymer using under rainfed farming system. *Journal of Crops Improvement, 21*(3), 259-273. https://doi.org/10.22059/jci.2019.277271.2178.
Baghizadeh, A., Hajmohammadrezaei, M., & Tohidi, Z. (2020). Evaluation of interaction effect of drougth stress with ascorbate and salicylic acid on the activity of some antioxidant enzymes and flavonoids in *Hibiscus esculentus* L. *Journal of Cellular and Molecular Research* (*Iranian Journal of Biology*), *33*(1), 142-152. (In Persion with English Abstract).
Baljani, R., & Shekari, F. (2012). Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) plants under end season drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 22*(1), 87-108. (In Persian).
Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science, 10*, 1068. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068
Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal, 54*, 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
Bremner, J. M. (1996). Nitrogen- Total. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 1085-1121.
Dreccer, M., Fainges, J., Whish, J., Francis, C. O., & Sadras, V. O. (2018). Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. *Agricultural and Forest Meteorology, 248*, 275-294. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.006
Farjam, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, H., & Ghaleshakhati, S. (2014). Effect of cut irrigation tension and foliar application of salicylic acid on growth, yield and yield components of three safflower cultivars. *Crop Physiology Journal*, *6*(23), 99-112. (In Persian).
Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., & Pérez-Tienda, J. (2019). Review: Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. *Plant Science, 280*, 441-447. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.11.011
Gupta, K. C., Praharaj, C. S., Jain, S. K., Kumar, V., & Yadav, M. R. (2020). Crop, water productivity and economics in chickpea as influenced by application of hydrogel and foliar nutrition. *Journal of Food Legumes, 33*(2), 101-108.
Hafez, E., Omara, A., & Ahmed, A. (2019). The coupling effects of plant growth promoting rhizobacteria and salicylic acid on physiological modifications, yield traits, and productivity of wheat under water deficient conditions. *Agronomy*, *9*(9), 524. https://doi.org/10.3390/agronomy9090524
Hasanvand, H. , Siadat, S. , Bakhshandeh, A. , Moradi Telavat, M. R. and Poshtdar, A. (2020). Effects of salicylic acid on yield and nutrient uptake of borage (Borago officinalis L.) under interrupting irrigation conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(2), 519-531. https://doi.org/10.22077/escs.2019.2035.1504.
Hashem, A., Alqarawi, A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A., AbdulazizAldehaish, H., Egamberdieva, D., & Fathi Abd Allah, E. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones, and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumi sativus* L. *Saudi Journal of Biological Sciences, 25*(6), 1102–1114. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.009
Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Afzal, A., Batool, M., Ahmed, H. A. I., Guoqin, H., & Shahzad, B. (2022). Salicylic acid-mediated physiological and molecular mechanisms in plants under heat stress. In: A. Sharma, R. Bhardwaj, V. Kumar, B. Zheng and D.K. Tripathi (Eds.), Managing Plant Stress Using Salicylic Acid (Chapter 9). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119671107.ch9
Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 551-574.

Jahangiri Nia, E. , Siyadat, S. A. , Koochakzadeh, A. , Moradi Telavat, M. and Sayyah far, M. (2016). Effect of the usage of vermicompost and mycorrhizal fertilizer on quantity and quality yield of soybean in water deficit stress condition. Journal of Crops Improvement, 18(2), 319-331. https://doi.org/10.22059/jci.2016.59877.

Kabir-Fazlul, A. H. M., Bari, M. N., Abdul-Karim, M. D., Khaliq, Q. A., & Uddin-Ahmad, J. (2009). Effect of sowing time and cultivars on the growth and yield of chikpea under rainfed condition. *Bangladesh Journal of Agricultural Research, 34*(2), 335-342.

Khaled, H., & Fawy, H. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil Water Research, 6*(1), 21–29. https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR.

Koochekzadeh, A. , Siahpoosh, A. , Moradi Telavat, M. R. and shafiee, M. (2023). Effect of Mycorrhizal inoculation and Salicylic Acid on Growth Characteristics, Yield and Quality of Marigold under Salinity Stress. Journal of Crops Improvement, 25(4), 1141-1156. https://doi.org/10.22059/jci.2023.344308.2719.

Krantev, A., Yordanova, R., Janda, T., Szalai, G., & Popova, L. (2008). Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, *165*(9), 920-931. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.11.014

Kuo, S., (1996). Phosphorus. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 869-919.

Laranjeira, S., Fernandes-Silva, A. A., Reis, S., Torcato, C., Raimundo, F., Ferreira, L., Carnide, V., & Marques, G. (2021). Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions. *Applied Soil Ecology, 164*, https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103927

Liu, H., Gao, Z., Zhang, L., & Liu, Y. (2021). Stomatal conductivity, canopy temperature and evapotranspiration of maize (*Zea mays* L.) to water stress in Northeast China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *14*(2), 112-119. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211402.5289

Momeni, F., Abdali Mashhadi, A. R., Siadat, S. A., Pakdaman Sardrood, B., & Ghobadi, M. (2020). The effect of application of biofertilizer and salicylic acid on biochemical characteristics and grain elements of chickpea cultivars under rainfed conditions in Kermanshah. *Scientific Journal of Crop Physiology. 12*(47), 5-25. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1399.12.47.3.7

Momeni, F., Siadat, S. A., Abdali Mashhadi, A. R., Pakdaman, B., & Ghobadi, M. (2021). Effect of biofertilizers and salicylic acid foliar application on yield and yield components of chickpea cultivars under rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal, 9*(2), 195-216. (In Persian). https://doi.org/10.22092/idaj.2021.342974.307

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1980). Total nitrogen analysis of soil and plant tissues. *Association of Official Analytical Chemists, Oxford University Press*, 63(4), 770-778. https://doi.org/10.1093/jaoac/63.4.770

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 961-1010.

Oliveira, R. S., Carvalho, P., Marques, G., Ferreira, L., Nunes, M., Rocha, I., Ma, Y., Carvalho, M. F., Vosátka, M., & Freitas, H. (2017). Increased protein content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria under water deficit conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(13), 4379-4385. https://doi.org/10.1002/jsfa.8201

Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In: A. L. Page (Ed.). Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 403-430.

Omidi, H., Naghdibadi, H. A., Golzad, A., Torabi, H., & Footoukian, M. H. (2009). The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal Plants, 8*(30), 98–109. (In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2009.8.30.11.4

Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., & Emam, Y. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes and ion accumulation as affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition, 39*(10), 1372-1379. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143498

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

Patel, P. K., & Hemantaran, 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*(3), 86-102. https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.86.102

Piotrowski, J. S., Denich, T., Klironomos, J. N., Graham, J. M., & Rillig, M. C. (2004). The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. *New Phytologist, 164*(365-373), 365-373. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01181.x

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 417-435.

Sahraei, E., Maleki, A., Pazoki, A., & Fathi, A. (2018). The effect of salicylic and ascorbic acid on ecophysiological characteristics and German chamomile essences in deficit of water. *Applied Research of Plant Ecophysiology, 6*(11), 117-142.

Salek Mearaji, H., & Hatami, A. (2020). The effect of foliar application of glycine-betaine and salicylic acid on yield and yield components of two dryland chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Scientific Journal of Crop Ecophysiology, 14*(1), 1-20. (In Persian).

Shahghasi, M., Seghatoleslami, M., Moosavi, S. G., &, Nakhaei, F. (2023). To study the effect of irrigation, plant density and salicylic acid on yield and yield components of Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 4*(2), 487-502. (In Persian). https://doi.org/10.22034/CSRAR.2023.326353.1184

Shiroui, 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 arientinum* L.) in dryland conditions. *Journal of Plant Production and Genetics, 4*(1), 71-86. (In Persian). https://doi.org/10.34785/J020.2022.017

Taheri Asghari, M. (2022). Effect of Mycorrhizal fungi symbiosis and foliar application of amino acids on some growth traits and pot marigold oil (*Calendula officinallis* L.). *Field Crops Research, 20*(1), 93-103. (In Persion with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.72735.1092

Tahir, N. A., & Karim, H. F. (2011). Determination of genetic relationship among some varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L) in sulaimani by RAPD and ISSR markers. *Jordan Journal of Biological Sciences, 4*(2), 77-86.

Tanhaei, R., Yadavi, A. R., Movahhedi Dehnavi, M., & Salehi, A. (2018). Effects of mycorrhizal fungi and biofertilizer on yield and yield components of red bean (*phaseolus vulgaris* l.) in drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 28*(3), 277-291. (In Persian).

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods. Soil Science Society American Inc. American Society Agronomy Inc. Book Series, No. 5, Madison, WI, USA, pp. 475-490.

Vaisnad, S., & Talebi, R. (2015). Salicylic acid-enhanced morphological and physiological responses in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under water deficit stress. *Environmental and Experimental Biology, 13*, 109-115.

Valentine, A. J., Mortimer, P. E., Lintnaar, A. & Borgo, R. (2006). Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. *Symbiosis, 41*, 127-133.

Verrelst, J., Muñoz, J., Alonso, L., Delegido, J., Rivera, J. P., Camps-Valls, G., & Moreno, J. (2012). Machine learning regression algorithms for biophysical parameter retrieval: Opportunities for Sentine l-2 and-3. *Remote Sensing of Environment, 118*, 127-139. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.002

Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T. A., Sarwar, N., Mubeen, K., Ismail, I. A., Reza, A., Rehman, A., Hossain, A., & El-Sabagh, A. (2021). Evaluation of fourteen bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes by observing gas exchange parameters, relative water and chlorophyll content, and yield performance under drought stress. *Saudi Journal of Biological Sciences, 28*(12), 7345-7354. https://doi.org/10.3390/su13094799

Yeganehpour, F., Zehtab Salmasi, S., Shafaq Kalvanagh, J., & Ghasemi Golazani, K. (2016). Effect of drought stress, chemical and biological fertilizer, and salicylic acid hormone on grain yield and yield components

in (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Crop Production*, *9*(4), 37-55. (In Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2017.8717.1672

Yuce, I., & Karakoy, T. (2024). Determination of agro-morphological characteristics of turkey origin wild chickpea (*Cicer reticulatum* L.) genotypes. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, *8*(2), 502–518.

Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *3*(2), 643–650. (In Persian).