

Effect of Salicylic Acid and Mycorrhiza on Morphophysiological Traits, Yield, and Nutrient Uptake of Two Rainfed Chickpea Cultivars in Lorestan, Iran

Zeinab Imani¹, Mohamad Reza Moradi Telavat², Ahmad Koochekzadeh³, Behrooz Mir Drikvand⁴, Aydin Khodaei Joghani⁵

- 1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
- 2- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
- 3- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
- 4- Agricultural Jihad Organization of Lorestan Province
- 5- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

Email: koochekzadeh@asnr.kh.ac.ir

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 $\times$ 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 $\times$ 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 $\times$ mycorrhiza treatment, showing a significant 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.

Conclusion

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

تأثیر اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و جذب عناصر دو رقم

نخود دیم در لرستان

زینب ایمانی^۱، محمدرضا مرادی تلاوت^۲، احمد کوچک زاده^۳، بهروز میردریکوند^۴، آیدین خدایی

جوقان^۵

- ۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
- ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
- ۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
- ۴- جهادکشاورزی استان لرستان
- ۵- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

Email: koochekzadeh@asnrkh.ac.ir

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر اسیدسالیسیلیک و قارچ مایکوریزا در کاهش خسارت تنش خشکی آخر فصل در کشت دیم نخود و ارزیابی خصوصیات رشدی و عملکردی آن، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل بر پایه 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 فاکتور اصلی، دو ژنوتیپ نخود (توده محلی لرستان و رقم گوکسو) و دو سطح تلقیح مایکوریزایی (تلقیح با گونه *Glomus intraradices* و عدم تلقیح) به‌عنوان فاکتورهای 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 و 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 به‌دست 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 تیمار شاهد بیش از

دو برابر بود. اثر اصلی وزن صد دانه و عملکرد دانه با کاربرد ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک معنی دار و مقدار آن‌ها به ترتیب ۳۸/۰۶ گرم و ۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. نتیجه اینکه محلول پاشی برگی ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک و تلقیح میکوریزا می تواند به عنوان یک استراتژی کم‌نهاد و سازگار با محیط زیست برای افزایش شاخص های عملکردی نخود دیم در شرایط نیمه خشک و سرد مشابه استان لرستان توصیه شود.

واژه های کلیدی: پروتئین دانه، تنش خشکی، دمای سایه انداز، شاخص سطح برگ

مقدمه

نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) در خانواده بقولات پس از لوبیا دومین جایگاه مصرف را در ایران دارد. سطح زیر کشت این محصول در ایران ۶۱۸ هزار هکتار و تولید ۵۵۵ هزار تن است (Agricultural Statistics, 2023). این گیاه با ۲۰ تا ۲۳ درصد پروتئین، یکی از کشت های دیم مهم استان های غربی کشور محسوب می شود. یکی از عوامل محدود کننده تولید این محصول، تنش خشکی است که دسترسی به عناصر غذایی را کاهش می دهد. 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 به عنوان یک ماده شبه هورمونی تحمل گیاه به تنش های محیطی را افزایش داده و تنش اکسیداتیو را با تنظیم فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانت کاتالاز و پراکسیداز، کاهش می دهد (Baghizadeh et al., 2020). آنتی اکسیدان ها آنزیم ها و برخی ترکیبات مواد غیر آنزیمی هستند که برای مقابله با خسارت سلولی در تنش ها توسط گیاهان استفاده می شوند (Ashraf et al., 2010). گزارش شده است که اسیدسالیسیلیک دسترسی عناصر غذایی به گیاه را بهبود بخشیده و به این ترتیب باروری گل ها را افزایش داد (Yeganehpour et al., 2016). در مطالعه ای نشان داده شد که محلول پاشی با اسیدسالیسیلیک، تمام صفات مورد ارزیابی دو رقم نخود را به جز تعداد دانه در غلاف، به طور معنی داری افزایش داد (Salek Mearaji & Hatami, 2020). قارچ میکوریزا 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 تنش های زیستی و غیرزیستی شد. در گزارشی نشان داده شد که تلقیح میکوریزایی همیشه بهار باعث افزایش درصد کلونیزاسیون ریشه و به دنبال آن، افزایش عملکرد بذر نسبت به شاهد گردید (Taheri Asghari, 2022). همچنین میکوریزا با تولید پروتئینی به نام گلوبالین، نقش کلیدی در تشکیل خاکدانه ها و ایجاد حفرات مناسب در خاک دارند، لذا هیف های قارچ با سهولت بیشتری وارد آن ها شده و انتقال مواد غذایی بخصوص فسفر را تسهیل می کنند (Piotrowski et al., 2004). از طرف دیگر تأثیر ژن ها به طور مستقیم و غیرمستقیم بر روی صفات زراعی

بیان شده است، بنابراین بین ارقام مختلف نخود نیز از این نظر تفاوت وجود دارد (Tahir & Karim, 2011). رقم نقش مهم و تعیین کننده‌ای در میزان عملکرد دانه دارد که این نتیجه 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 صد 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 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 مندرج در **جدول (۱)** می‌باشد. همچنین خصوصیات خاک محل مورد آزمایش در **جدول (۲)** آورده 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 temp. (°C)	9.8	6.5	6.0	10.6	15.7	19.6	27.1
حداکثر دما Max temp. (°C)	16.2	11.8	12.8	17.2	24.8	27.6	37.6
حداقل دما Min temp. (°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	کل نیتروژن Total N (%)	فسفر قابل جذب Pava. (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Kava. (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic carbon (%)	بافت خاک Soil 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 با روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اسید آسکوربیک (Kuo, 1996)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیم (Helmke & Sparks, 1996) و کربن آلی به روش والکی-بلاک (Nelson & Sommers, 1996) انجام شد.

آزمایش به صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ عامل و ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل اسیدسالیسیلیک در چهار سطح (شاهد، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار) به عنوان فاکتور اصلی، دو رقم نخود (توده محلی منطقه لرستان (به عنوان شاهد) و رقم گوکسو) و قارچ مایکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح) به عنوان فاکتورهای 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 کم‌نهاد و شرایط کم‌آبی ارزشمند است. 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. به طور کلی، بذر رقم گوکسو، اصلاح شده، 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. (Yuje and Karakoy, 2024). در این آزمایش مایع تلقیح مایکوریزا (*Glomus intraradices*) با تعداد اسپور ۵۰ عدد در گرم ماده حامل، تهیه شده از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور 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 به صورت محلول‌پاشی استفاده شد. هر واحد آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول شش متر و عرض ۱/۸ متر 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 به صورت دستی در کرت‌های مسطح در نیمه اول آذر ماه انجام گرفت. در طی مراحل رشد کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. برداشت در اواخر خرداد به صورت دستی و از سطح یک متر مربع وسط هر کرت (با حذف اثرات حاشیه) انجام گردید. همچنین از کود فسفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار قبل از کشت استفاده گردید.

صفات اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد 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. به منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، از هر کرت، ۵ بوته انتخاب و تمام برگ‌های آن پس از قرار گرفتن بر روی کاغذ سفید عکس‌برداری و توسط نرم افزار Digimizer 6.4 برای محاسبه سطح برگ‌های نمونه‌برداری شده در هر تیمار قرائت شدند. شاخص سطح برگ (LAI) برای هر نمونه از طریق **فرمول (۱)** محاسبه شد.

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

LA: سطح برگ (مساحت برگ‌های بوته‌ها)

GA: مساحت زمین تحت اشغال بوته‌ها

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

همچنین برای نیتروژن دانه، بوته و فسفر بوته، نمونه‌ها آسیاب و یک گرم از آن‌ها به مدت چهار ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس با اسید کلریدریک دو نرمال عصاره‌گیری انجام گرفت. نیتروژن دانه و بوته با روش [Nelson](#) (1980) و [Sommers &](#) (1982) و فسفر بوته با روش [Olsen & Sommers](#) (1982) انجام شد. مقدار پروتئین دانه نیز از ضرب نیتروژن دانه در ۶/۲۵ منظور گردید. تجزیه آماری داده‌ها و مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد و با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گردید. قبل از آنالیز آماری، به وسیله رویه Univariate از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل شد.

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 (Panda et al., 2015). ارتفاع بوته نخود از صفات اثرپذیر کاربرد اسیدسالیسیلیک بود (جدول ۳). بر طبق این نتایج 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 تیمار شاهد با ۳۳/۲ سانتی‌متر حاصل گردید. کاربرد اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش طولی شدن ساقه از راه بهبود وضعیت آبی سلول‌ها شده که در نتیجه ارتفاع بوته نیز افزایش می‌یابد (Hafez et al., 2019). در پژوهشی بر روی نخود زراعی گزارش شد که با کاربرد اسیدسالیسیلیک، نشت یونی و تجمع یون‌های سمی در گیاهان کاهش و سبب افزایش سیتوکینین‌ها شد (Krantev et al., 2008) که تأثیر مثبتی بر رشد طولی گیاه دارد. علی‌رغم این که 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، لیکن در این آزمایش اسیدسالیسیلیک تا غلظت ۱/۵ میلی‌مولار شاخص‌های رشدی و عملکردی نخود را افزایش داد. نتایج نشان داد 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 تیمار شاهد (۳۶/۸ سانتی‌متر) بالاتر بود (جدول ۴). قارچ مایکوریزا با فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک برای گیاه، سبب بهبود رشد آن (Ferrolet 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 (Garg & Bharti, 2018). بین ارقام محلی و خارجی نیز اختلاف معنی‌دار از نظر ارتفاع بوته وجود داشت و نتایج نشان داد ارتفاع بوته در رقم گوکسو و توده محلی به ترتیب 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 (۱۸/۴) در تیمار بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک حاصل شد (جدول ۴). 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 کارایی ریشه‌های موین، جذب آب و عناصر را تسهیل می‌کند (Hafez et al., 2019) که 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 دانه 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 افزایش داد (Afshari et al., 2013). این یافته در آزمایش شیروی و همکاران (Shiroui et al., 2023) روی نخود گوکسو در اراضی دیم نیز تکرار شد. اما شاه‌قاسی و همکاران (Shahghasi et al., 2023) گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک تعداد دانه در غلاف گوار 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 رقم گوکسو با شاخص سطح برگ ۲/۰۸ به طور معنی‌داری بالاتر از توده محلی (۱/۸۵) قرار داشت (جدول ۴). برگ‌ها اندام‌های اصلی دریافت نور و انجام فتوسنتز در گیاهان هستند. سطح برگ، ظرفیت جذب انرژی کانوپی را تعیین کرده و نقش مهمی در تخمین زیست‌توده و تبخیر-تعرق پوشش گیاهی ایفا می‌کند (Verrelst et al., 2012). به نظر می‌رسد 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، اما این افزایش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود (جدول ۹). در این رابطه گزارش شده است که میکوریزا به طور 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 یافته با گزارش واسایا و همکاران (Wasaya et al., 2021) که نشان دادند کاربرد اسیدسالیسیلیک دمای سایه‌انداز گیاهی را کاهش می‌دهد، همسو است. 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 کانوپی 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 (۸/۱۸) مربوط به توده محلی، عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک و عدم تلقیح مایکوریزا بود (جدول ۵). کاهش کلروفیل در تیمار شاهد احتمالاً به دلیل کاهش سنتز و افزایش تخریب کلروفیل تحت تنش خشکی در شرایط دیم می‌باشد. استفاده از اسیدسالیسیلیک به دلیل دسترسی به موقع عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Yeganehpour et al., 2016). همچنین در شرایط تنش خشکی، اسیدسالیسیلیک با افزایش تراکم کلروفیل در واحد سطح برگ، شاخص کلروفیل را ارتقا می‌دهد (Baljani & Shekari, 2012). پژوهش حافظ و همکاران (Hafez et al., 2019) روی گندم نشان داد که محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک شاخص کلروفیل برگ را افزایش داده و اثرات منفی خشکی را کاهش می‌دهد. همچنین تلقیح بذر با میکروارگانیزم‌های زیستی همراه با اسیدسالیسیلیک، افزایش بیشتری در شاخص کلروفیل ایجاد کرد. به نظر می‌رسد افزایش کلروفیل در هم‌زیستی با قارچ‌های مایکوریزا به دلیل جذب بیشتر فسفر و عناصر ضروری در بیوسنتز کلروفیل باشد (Aghababaei & Raiesi, 2011). همچنین مایکوریزا با کمک به جذب منیزیم، سنتز کلروفیل را افزایش می‌دهد (Hashem et al., 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات اندازه‌گیری شده نخود زراعی

Table 3- Variance analysis of some evaluated traits of chickpea

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	میانگین مربعات (MS) 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 Rep	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	3	4.355 ^{ns}	5.235 [*]	0.091 [*]	0.251 ^{ns}

SA × M رقم × مایکوریزا C × M	1	15.881 ^{ns}	0.494 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.014 ^{ns}
سالیسیلیک × 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 CV(%)	-	7.55	5.48	12.02	17.32

^{ns}: غیرمعنی دار و * و ** به ترتیب معنی دار 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 معنی دار بود. بیشترین مقدار نیتروژن بوته (۴۰/۳۸ درصد) در تیمار ترکیبی اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی مولار همراه با تلقیح مایکوریزا و کمترین مقدار (۱۹/۸۲ درصد) در تیمار 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 (Garg & Bharti, 2018). 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 مکانیسم‌های اصلی افزایش عملکرد دانه و محتوای پروتئین نخود است.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده نخود زراعی تحت تاثیر ترکیبات نیماری

Table 9- 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 صد دانه 100-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg/ha)	عملکرد زیستی Biological yield (kg/ha)
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، بر اساس 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 میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار تلقیح مایکوریزا همراه با اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی مولار به دست آمد که با تیمار ۱ میلی مولار همراه با مایکوریزا تفاوت معنی‌دار نداشت. کمترین مقدار فسفر (۱/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار شاهد (بدون تلقیح و بدون اسیدسالیسیلیک) مشاهده شد (جدول ۶). پژوهش‌های مختلف افزایش معنی‌دار جذب فسفر در گیاهان تلقیح شده با مایکوریزا را تأیید کرده‌اند (Begum et al., 2019). مایکوریزا 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 مایکوریزا، به طور غیرمستقیم جذب فسفر را افزایش می‌دهد (Garg & Bharti, 2018). با توجه به مقدار کم فسفر قابل جذب خاک منطقه (جدول ۲)، پاسخ مناسب گیاه به مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک قابل انتظار بود. ریزجانداران حل‌کننده فسفر با ترشح اسیدهای آلی، فسفر قابل جذب را افزایش می‌دهند (Ferrolet et al., 2019) براساس پژوهش مومنی و همکاران (Momeni et al., 2020)، مصرف اسیدسالیسیلیک و مایکوریزا مقدار فسفر را در نخود دیم افزایش داد. اسیدسالیسیلیک با تنظیم خصوصیات فیزیولوژیکی، محتوای آب سلول و فتوسنتز را بهبود بخشیده و با افزایش کارایی 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 مایکوریزا نسبت به عدم تلقیح برتری داشت. رقم گوکسو در تیمار تلقیح با مایکوریزا دارای بالاترین میزان فسفر (۳/۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم) و توده محلی در تیمار عدم تلقیح دارای کمترین میزان (۲/۹۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۱). به احتمال زیاد، خصوصیات ژنتیکی و مورفولوژیکی ریشه و اندام هوایی رقم گوکسو در جذب بهتر آب و عناصر مؤثر بوده است (Momeni et al., 2020). مایکوریزا با فراهم نمودن فسفر غیرقابل جذب خاک، سرعت و مقدار جذب این عنصر را افزایش می‌دهد (Ferrolet et al., 2019).

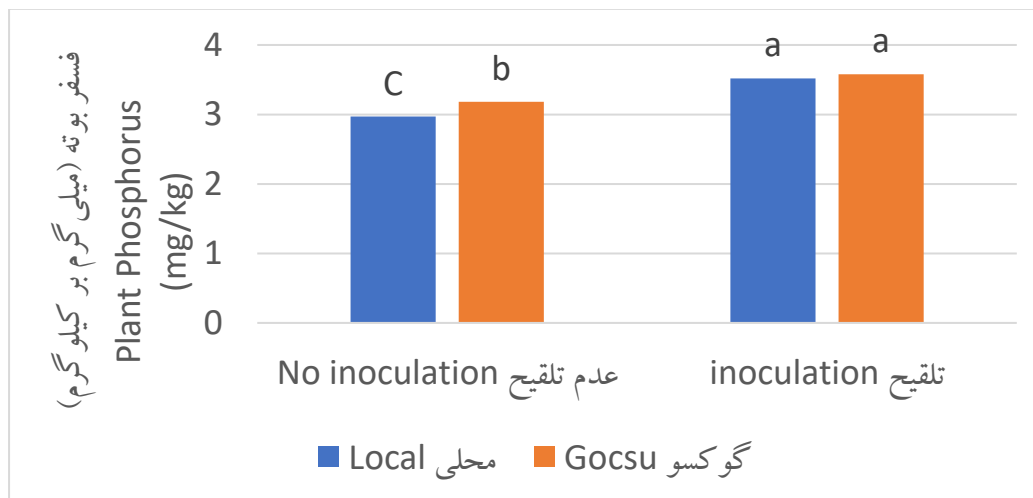
جدول ۵- برهمکنش اسیدسالیسیلیک، مایکوریزا و رقم بر شاخص کلروفیل برگ نخود زراعی

Table 4- 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، بر اساس 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 محلول پاشی اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزایی بدور (جدول ۶) ضمن برتری تیمار تلقیح مایکوریزایی، نشان داد که افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک نیز افزایش درصد پروتئین دانه را در پی داشت (جدول ۶). به طوری که بالاترین درصد پروتئین دانه در تیمار تلقیح مایکوریزایی به همراه کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱/۵ میلی مولار به میزان ۳۰/۰۵ درصد و کمترین آن با ۲۱/۹۷ درصد بدون تلقیح و بدون مصرف اسیدسالیسیلیک بود (جدول ۶) که افزایش ۳۷ درصدی را نشان داد. نقش اسید سالیسیلیک در بهبود ویژگی های بیوشیمیایی گیاه مانند پروتئین های محلول در شرایط تنش بیان شده است (Pakar et al., 2016). نتایج سایر محققان نیز افزایش معنی دار پروتئین دانه نخود دیم را با کاربرد اسیدسالیسیلیک تأیید کرده است (Abbasi et al., 2019) 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 می شود. هم افزایی 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 صد دانه معنی دار بود. با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک، وزن صد دانه به طور معنی داری افزایش یافت؛ بالاترین میزان (۳۸/۰۶ گرم) در تیمار ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک حاصل شد که نسبت به کمترین

مقدار (۲۹/۱۶ گرم در شاهد) ۳۰/۵ درصد افزایش داشت. همچنین تلقیح مایکوریزا وزن صد دانه را تا ۳۶/۰۵ گرم افزایش داد (جدول ۴). این یافته با نتایج مطالعات متعدد تأییدکننده اثر مثبت اسیدسالیسیلیک بر وزن دانه نخود زراعی همسو است (Gupta et al., 2020; Momeni et al., 2020). اسیدسالیسیلیک به دلیل دسترسی به موقع عناصر غذایی به ویژه 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 صد دانه نخود در شرایط دیم را تأیید کرده‌اند (Gupta et al., 2020; Patel & Hemantaran, 2012). مایکوریزا نیز از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای در ریزوسفرا، سطح تماس ریشه با خاک را افزایش داده و جذب آب و عناصر به ویژه فسفر و نیتروژن را بیشتر می‌کند (Oliveira et al., 2017; Ferrolet 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 پرشدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک می‌کند (Laranjeira et al., 2021).

عملکرد دانه نیز تحت تأثیر اثر اصلی مایکوریزا و اسیدسالیسیلیک قرار گرفت. عملکرد دانه با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک به طور معنی‌دار 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 به دست 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 به دست آمد. اسیدسالیسیلیک با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، از تخریب کلروفیل و ساختار روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی جلوگیری کرده و طول دوره مؤثر پرشدن 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 به تنهایی 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., 2018; Drecer et al., 2017). مایکوریزا در شرایط دیم با بهبود روابط آبی و افزایش رطوبت نسبی برگ، از کاهش شدید فتوسنتز در مرحله پرشدن دانه جلوگیری کرده و عملکرد را افزایش می‌دهد (Momeni et al., 2020). همچنین کاربرد قارچ مایکوریزا 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 تحت تأثیر اثر اصلی میکوریزا قرار گرفت. بیشترین مقدار (۵۰۳۴ کیلوگرم در هکتار) با تلقیح میکوریزایی بذور حاصل شد، درحالی که 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 کم آبی از طریق کاهش سطح و دوام برگ ها و اختلال در جذب و انتقال عناصر و فتوسنتز (Dreccer et al. 2018) باعث کاهش عملکرد زیستی می شود، هرچند در تحقیق حاضر این کاهش معنی دار نبود. فرجام و همکاران (Farjam et al., 2014) نیز گزارش کردند که اسیدسالیسیلیک اثر معنی داری بر عملکرد زیستی گلرنگ نداشت که با تحقیق حاضر مطابقت دارد. کاربرد میکوریزا عملکرد زیستی لوبیا قرمز را نسبت به شاهد افزایش داده است (Tanhaei et al., 2018). این قارچ ها با تولید هورمون های رشد به ویژه جیبرلین، تعداد برگ، قطر، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد گلرنگ را افزایش می دهند (Omidi et al., 2009). همچنین پس از تلقیح میکوریزا، وزن تر و خشک ریحان نسبت به شاهد افزایش یافت (Zolfaghari et al., 2013).

جدول ۶- برهمکنش اسیدسالیسیلیک، میکوریزا و رقم بر برخی اجزای عملکرد، دمای سایه انداز، نیتروژن، فسفر و پروتئین بونه نخود
Table 8- Interaction of salicylic acid, mycorrhiza and cultivar on yield components, canopy temperature, N, P and Protein of chickpea

میکوریزا 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 سایه انداز 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 Nitrogen	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 Phosphorus	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 میانگین هایی که حرف مشترک دارند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

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

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک و میکوریزا به طور جداگانه و به ویژه در تیمار ترکیبی، بر ویژگی های رشدی، عملکردی و جذب عناصر در نخود دیم و در شرایط اقلیمی سرد و نیمه خشک استان لرستان اثر داشته و آن ها را بهبود بخشیده است. بالاترین

عملکرد دانه (۲۰۲۲ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک، بیشترین میزان پروتئین دانه (۳۰ درصد)، نیتروژن گیاه (۴۰/۳۸ درصد) و فسفر گیاه (۴/۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم) با کاربرد توأم ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک و تلقیح مایکوریزا به دست آمد که حاکی از اثر هم افزایی این دو عامل است. جذب بیشتر عناصر غذایی بخصوص نیتروژن و فسفر توسط هیف های مایکوریزا و به دنبال آن افزایش کلروفیل برگ ها باعث شد تا فتوسنتز افزایش یافته که نتیجه آن زیاد شدن تعداد غلاف در بوته و دانه در غلاف بود. این امر به همراه خنک تر بودن کانوبی گیاه باعث افزایش وزن صد 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 اصلاح شده گوکسو قادر است تا ۹/۱ درصد محصول را افزایش دهد. علی رغم معنی دار نبودن اختلاف بین دو رقم مورد بررسی، رقم گوکسو با قابلیت برداشت مکانیزه می تواند مورد توجه بیشتری قرار گیرد. به طور کلی نتایج نشان داد که غلظت ۱/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک همراه با کاربرد مایکوریزا به عنوان یک راهکار کم نهاده و سازگار با محیط زیست برای افزایش بهره وری نخود دیم در مناطق مشابه در صورت تکرار نتایج در مطالعات آینده قابل توصیه خواهد بود.

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 with English Abstract). <https://doi/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. (In Persian with English Abstract).
- Agricultural Statistics 2023. Volume One: Crop Products. 120 Pages (In Persian).
- Aghababaei, F., & Raiesi, F. (2011). The influence of mycorrhizal symbiosis on chlorophyll, photosynthesis and water use efficiency in four almond genotypes in Chahae Mahal va Bakhtiary. *Journal of water and soil science*, 15(56), 91-102. (In Persian with English Abstract).
- 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>
- Baghizadeh, A., Hajmohammadrezaei, M., & Tohidi, Z. (2020). Evaluation of interaction effect of drought 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 Persian with English Summary). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832738.1399.33.1.5.5>
- Baljani, R., Shekari, F. (2012). The effect of phenic acid with salicylic acid on growth and functional indices in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought conditions of the end of season. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 22(1), 87-108. (In Persian with English Summary).
- 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.
- 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, and 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.
- 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 with English Summary).
- 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.
- Garg, N., & Bharti, A. (2018). Salicylic acid improves arbuscular mycorrhizal symbiosis, and chickpea growth and yield by modulating carbohydrate metabolism under salt stress. *Mycorrhiza*. 28(8), 727–746. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0856-6>
- 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/10.3390/agronomy9090524>
- 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 *Cucumis 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. and 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, and 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.
- 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 Chickpea under rainfed condition Bangladesh. *Journal of Agricultural Research*, 34, 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>.
- Khan, N.A., Shabian, S., Masood, A., Nazar, A. & Iqbal, N. (2010). Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, 1: 1-8.
- 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.
- 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, and 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 with English Summary). <https://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 with English Summary). [https://doi/ 10.22092/idaj.2021.342974.307](https://doi/10.22092/idaj.2021.342974.307)
- Nejatzadeh, F. (2015). Effect of nitrogenous biochemical fertilizers on growth, yield, and composition of dill essential oil (*Graveolens anethum* L.). *New Journal of Cellular-Molecular Biotechnology*, 3(5), 77 - 84. (In Persian with English Summary).
- 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/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, and 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 (Eds.). *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., Goltzad, A., & Torabi, H. Fotoukian, 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(4), 98-109. (In Persian with English Summary).
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H. and 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/10.1080/01904167.2016.1143498>

- Panda, D., Sen, A., Dhakre, D.S., & Mondal S. (2015). Correlation analysis of some growth, physiological parameters, yield and yield attributes of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Bio-Resource, Environment and Agricultural Sciences* 1(3): 90-95.
- 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.
- 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.
- 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. <http://dx.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, and 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*, 5(1), 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 with English abstract). <https://doi/10.30495/jcep.2020.671638>
- Sandeep, G.S., Chil, U., & Viswanadhuni, U.K. (2023). Effect of dates of sowing on growth and yield of chickpea varieties. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(10), 834–838. <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102723>
- Shahghasi, M., Seghatoleslami, M., Moosavi, S.Gh. & 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 with English abstract). <https://doi/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 with English abstract).
<https://doi/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 officinalis* L.). *Field Crops Research*, 20 (1), 93-103. (In Persian with English Summary). <https://doi/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 dehnnavi, 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 with English abstract).
- 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, and 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, Sh., & 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 Sentinel-2 and-3. *Remote Sensing of Environment*, 118: 127-139
- Wasaya, A., Manzoor, S., Yasir, T.A., Sarwar, N., Mubeen, Kh., 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/10.1016/j.sjbs.2021.08.052>
- 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 with English abstract).

Yüce, İ., & Karaköy, T. (2024). Türkiye orijinli yabani nohut (*Cicer reticulatum* L.) genotiplerinin agromorfolojik özelliklerinin belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 8(2), 502–518. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11468891>

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 with English abstract). <https://doi.org/10.30495/ijpp.2013.540674>

