



Research Article

Vol. 23, No. 3, Fall 2025, p. 303-320

Effect of Applying Different Levels of Humic Acid and Salicylic Acid on Yield and Quality of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seed

F. Mozafari¹, Gh. Heidari^{1*}, Sh. Khalesro¹

1- Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 03 October 2024
Revised: 15 November 2024
Accepted: 02 December 2024
Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Mozafari, F., Heidari, Gh., & Khalesro, Sh. (2025). Effect of applying different levels of humic acid and salicylic acid on yield and quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 303-320. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most significant crops in the legume family, ranking third globally after beans and peas. This plant plays a crucial role in biological stabilization and serves as an important source of nutrition for humans, as well as animal feed and forage. The majority of chickpea production in Iran occurs through spring sowing under rain-fed conditions, where terminal drought stress particularly during seed filling significantly impacts growth and productivity, leading to yield reductions of up to 70%. To enhance plant growth under dryland conditions, using compounds that improve drought tolerance and metabolic activities in plants represents a practical strategy. Among the identified compounds, humic acid (HA) and salicylic acid (SA) have shown promise. Humic acid has a significant effect on root growth and the emergence of lateral roots and increases the levels of auxins, cytokinins, and gibberellins in plants. Salicylic acid stimulates flowering and enhances defensive responses to water deficiency conditions. External application of SA reduces cellular lipid peroxidation and hydrogen peroxide accumulation, thereby mitigating membrane damage in leaves of water-stressed plants. Thus, this study aims to investigate the effects of varying levels of humic acid and salicylic acid on the yield and quality of chickpea seeds.

Materials and Methods

This study was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design with four replications. The experimental factors included foliar spraying of humic acid at three levels: 0, 3, and 6 L ha⁻¹ as the first factor, and salicylic acid at four levels: 0, 50, 100, and 150 mg L⁻¹ as the second factor. The plants were sprayed with these treatments at two stages: during vegetative growth and just before flowering. The following variables were measured in this experiment: number of pods per plant, seeds per square meter, weight of 100 seeds, grain yield, biological yield, harvest index, and the content of protein, potassium, phosphorus, iron, zinc, and manganese in the seeds. The experimental data were analyzed using SAS 9.1 statistical software, and the comparison of the means was conducted based on the Least Significant Difference (LSD) test at the 1% and 5% probability levels.

Results and Discussion

Results revealed significant effects of salicylic acid on pod number per plant, seed number per square meter, 100 seed weight and seed and biological yield, while humic acid did not have a significant effect on chickpea



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

yield and yield components. The highest number of pods per plant (20.95) was achieved with the application of 150 mg L⁻¹ of salicylic acid. Foliar spraying with this concentration led to increases of 35.27% in the number of seeds per square meter and 26.80% in the weight of 100 seeds, compared to the untreated control. Additionally, the application of 150 mg L⁻¹ salicylic acid resulted in the highest seed yield (1488.85 kg ha⁻¹) and biological yield (3451.93 kg ha⁻¹). Results indicated significant effects of both humic and salicylic acid on the protein content and nutrient levels (potassium, phosphorus, iron, zinc, and manganese) of chickpea seeds. As the concentration of salicylic acid and humic acid increased, so did the levels of protein and potassium in the seeds. Conversely, foliar applications of humic acid and salicylic acid on chickpea plants not only enhanced the nutrient content and protein levels in chickpea seeds but also improved the overall quality of the seeds.

Conclusion

This study highlights the effectiveness of foliar application of humic acid at 6 L ha⁻¹ and salicylic acid at 150 mg L⁻¹ in improving growth, yield, and nutritional quality of chickpeas under dryland conditions. Salicylic acid particularly enhanced reproductive success and biomass allocation, whereas humic acid improved nutrient availability and metabolic activity. These findings suggest that simultaneous applications of HA and SA could serve as effective strategies for boosting chickpea productivity and quality under challenging dryland farming conditions.

Keywords: 100-seed weight, Harvest index, Number of pods, Nutrient element, Seed protein content

اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه نخود

*(Cicer arietinum L.)*فرشید مظفری^۱، غلامرضا حیدری^{۱*}، شیوا خالصرو^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

چکیده

با توجه به اهمیت نخود (*Cicer arietinum L.*)، از نظر ارزش غذایی و مساحت کشت آن در دیمزارها، این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد و کیفیت دانه، نخود آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان کرمانشاه با مختصات جغرافیایی ۳۴/۴۵ درجه شمالی و ۴۶/۵۸ درجه شرقی به صورت دیم اجرا شد. عوامل آزمایش شامل محلول‌پاشی برگ‌ی اسید هیومیک با سه سطح صفر، سه و شش لیتر در هکتار به عنوان عامل اول و اسید سالیسیلیک در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر بودند. گیاهان در دو مرحله شروع ساقه رفتن (BBCH 30) و قبل از گل‌دهی (BBCH 59) محلول‌پاشی شدند. عملکرد و اجزای عملکرد نخود تحت تأثیر اثر ساده محلول‌پاشی با سالیسیلیک اسید قرار گرفتند. غلظت فسفر، روی، آهن و منگنز دانه تحت تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۰/۸۷ عدد) با کاربرد ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد. کاربرد غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب باعث افزایش ۳۵/۲ و ۲۶/۸ درصدی تعداد دانه در مترمربع و وزن ۱۰۰ دانه نخود نسبت به شاهد آن شد. بیشترین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت با کاربرد ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد. محلول‌پاشی گیاهان نخود با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک سبب افزایش میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه شد و کیفیت دانه نخود را افزایش داد. به طور کلی، محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت شش لیتر در هکتار و اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر نقش مؤثرتری در افزایش غلظت عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. بنابراین محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه نخود استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تعداد غلاف، شاخص برداشت، عناصر غذایی، میزان پروتئین دانه، وزن ۱۰۰ دانه

مقدمه

درصد) همراه با مقدار قابل توجهی اسیدهای آمینه ضروری و محتوای ویتامین‌های A، B و C است (Singh, Gupta, Singh, Jain, & Garg., 2023). علاوه بر این، با تثبیت نیتروژن اتمسفر، حاصلخیزی خاک را افزایش داده و به عنوان بخشی از تناوب زراعی، تلفات عملکرد را در محصولات غلات کاهش می‌دهد و علف‌های هرز را مهار می‌کند (Ali & Terefe, 2023). این محصول در سطح زیرکشت حدود ۱۵ میلیون هکتار با تولید سالانه ۱۵ میلیون تن و با میانگین عملکرد ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در جهان کشت می‌شود (FAO, 2022). ایران با ۵۳۰ هزار هکتار سطح زیرکشت و داشتن دو درصد از کل تولید جهانی، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان این محصول در سطح جهان محسوب می‌شود (FAO, 2022). متوسط عملکرد دانه نخود در ایران ۰/۴ تا ۰/۶ تن در هکتار است که کمتر از میانگین

نخود (*Cicer arietinum L.*) یکی از محصولات مهم حبوبات است که عمدتاً در آب‌وهوای گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با بارندگی سالانه ۴۰۰ میلی‌متر رشد می‌کند (Karimizadeh et al., 2023). این محصول در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق آفریقایی و آسیایی با فواید غذایی فراوان و کیفیت پروتئین برتر کشت می‌شود (Pappula-Reddy et al., 2024). نخود با دارا بودن محتوای بالای پروتئین (۲۰ تا ۲۵ درصد)، کربوهیدرات (۶۱/۵ درصد) و اسیدهای چرب (۴/۵ درصد)

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

Email: g.heidari@uok.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.90098.1353>

جهانی ۱/۳ تن در هکتار می‌باشد (Rahimi-Moghaddam, Amiri & Eyni-Nargeseh, 2023). از آنجاکه در ایران، عمده تولید نخود از طریق کاشت بهاره در شرایط دیم صورت می‌گیرد، بنابراین تنش خشکی در مرحله پایانی رشد گیاه، به‌ویژه در زمان پر شدن بذر یک محدودیت عمده است که بر رشد و بهره‌وری نخود تأثیر منفی می‌گذارد و منجر به کاهش عملکرد محصول تا ۷۰ درصد می‌شود (Maleki, Khoshro, Kanouni, Shobeiri & Ashour, 2024). یکی از راهکارهای ساده و عملی برای بهبود رشد گیاه در شرایط دیم، استفاده از ترکیباتی است که تحمل گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش دهند و موجب بهبود فعالیت‌های متابولیکی گیاه شوند. از جمله ترکیباتی که در این زمینه شناسایی شده است، می‌توان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک را نام برد (Hassan, Suleiman, & Dais, 2022).

اسید هیومیک (HA) یک ماده فعال هوموسی است که در خاک، ذغال سنگ نارس، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها یافت می‌شود و می‌تواند ناشی از تجزیه بیولوژیکی و مواد آلی باشد (Izhar Shafi et al., 2020). اسید هیومیک به‌عنوان پیش‌ساز ترکیبات هیومیک عمل می‌کند و می‌تواند در شرایط اسیدی محلول باشد. محلول‌پاشی هیومیک اسید روشی مؤثر، سازگار با محیط زیست و کم‌هزینه است که باعث آلودگی خاک یا هوا نمی‌شود. همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش مقاومت گیاه گندم در برابر شرایط کم‌آبی است (Altaf et al., 2023). محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم با تحریک فعالیت آنزیمی، افزایش فتوسنتز و بهبود جذب مواد مغذی بر فیزیولوژی گیاه تأثیر بگذارد و امکان جذب مستقیم مواد مغذی از طریق برگ‌ها را فراهم کرده و محدودیت‌های بالقوه مربوط به خاک را از بین ببرد (Haranal, Hanumanthappa, Mavarkar, & Mopagar, 2024). این ماده از طریق کبلیت کردن مواد مغذی مختلف برای غلبه بر کمبود عناصر، رشد گیاه را افزایش می‌دهد و به‌دلیل دارا بودن ترکیبات هورمونی اثرات مفیدی بر افزایش رشد، تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد (Meena, Dhanoji, & Naik, 2023). به‌علاوه، اسید هیومیک اثر مشخصی بر رشد ریشه و ظهور ریشه‌های جانبی دارد و موجب افزایش هورمون‌های اکسین، سیتوکینین و جیبرلین در گیاه می‌شود (Abbood & Madhhachi, 2021).

مشابه اسید هیومیک، اسید سالیسیلیک (SA) نقش مهمی در کاهش تنش خشکی در گیاهان دارد. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که به‌طور طبیعی در گیاه وجود دارد و نقش هورمونی در گیاهان دارد. این هورمون گیاهی، رشدنمو گیاه را در شرایط تنش خشکی بهبود می‌بخشد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی و تنظیم‌کننده رشد گیاه عمل می‌کند که تأثیر قابل توجهی بر تنظیم فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی گیاه دارد (Ahmed & Ali, 2024).

اسید سالیسیلیک گل‌دهی را تحریک می‌کند و واکنش‌های دفاعی در شرایط کمبود آب را افزایش می‌دهد. کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی سلولی و تجمع پراکسید هیدروژن، آسیب غشاء سلولی در برگ گیاهان تحت تنش آبی را کاهش می‌دهد (Altaf et al., 2023). مطالعات مربوط به بررسی اثر همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌تواند مفید باشد، زیرا هر دو به‌عنوان کاهش‌دهنده اثرات کم‌آبی عمل می‌کنند. اسید هیومیک موجب رشد و تکثیر ریشه‌ها می‌شود و به آن‌ها کمک می‌کند تا به‌عمق بیشتری در خاک نفوذ کنند، درحالی‌که اسید سالیسیلیک توانایی گیاهان را برای مبارزه با رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS) در شرایط کمبود آب افزایش می‌دهد (Altaf et al., 2023). گزارش شده است که محلول‌پاشی SA از طریق افزایش خصوصیات رشدی، جذب مواد مغذی، افزایش محتوای کلروفیل و مواد فتوسنتزی و کارایی مصرف آب منجر به افزایش عملکرد و اجزای آن و همچنین بهبود اثرات منفی تنش خشکی می‌شود (Ali, Abd EL-Kader, Ahmed & Morsy, 2022).

در تحقیقی، کاربرد اسید هیومیک موجب افزایش ارتفاع بوته، ارتفاع اولین غلاف، تعداد شاخه در بوته، تعداد غلاف و دانه در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن ۱۰۰ دانه، محتوای پروتئین دانه و میزان پتاسیم بذر نخود شد (Dönder & Toğay, 2021). به‌علاوه حسن و رسول (Hassan, Suleiman & Vigna, 2022) بیان کردند که محلول‌پاشی گیاه ماش (radita) تحت تنش خشکی با ۱۵۰ پی‌پی‌ام اسید سالیسیلیک سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص برداشت گیاه شد و اثر نامطلوب تنش خشکی را به‌میزان قابل توجهی کاهش داد. طبق مطالعه‌ای که توسط نایف و حمادی (Nayyef & Hammadi, 2021) انجام شد، محلول‌پاشی اسید هیومیک (۲۵۰ میلی گرم در لیتر) و اسید سالیسیلیک (غلظت ۳۷۵ میکرومولار) بیشترین میانگین صفات تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گیاهان آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را به خود اختصاص دادند. در پژوهش دیگری، محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود گردید (Shiroui, Hatami, Zeidali, & Alizadeh, 2023). امیری و همکاران (Amiri, Esmaeilian, & Alboghobiesh, 2022) طی آزمایشی گزارش کردند که محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک روی گیاهان سورگوم (*Sorghum* L.) در شرایط کم‌آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، وزن خشک اندام هوایی، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شده و از این‌رو گیاهان را قادر می‌سازد تا اثرات نامطلوب خشکی را تحمل کنند. با توجه به

در دو مرحله شروع ساقه رفتن (BBCH 30) و قبل از گل‌دهی (BBCH 59) در هنگام صبح براساس سطوح عامل‌های آزمایش پس از کالیبره کردن به وسیله سم‌پاش دستی دو لیتری توسط تیمارها به صورت جداگانه محلول‌پاشی شدند.

جهت انجام عملیات آماده‌سازی، مزرعه مورد نظر با گاوآهن برگردان دار شخم زده شد و کرت‌هایی به ابعاد سه متر طول و ۱/۸ متر عرض ایجاد گردید. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود و فاصله بین کرت‌ها ۹۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بذرها، به صورت دستی روی ردیف‌هایی با فاصله بوته ۱۱ سانتی‌متر و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع کاشته شدند. قبل از انجام عملیات کاشت، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از شش نقطه مختلف زمین و به طور تصادفی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در **جدول ۲** نشان داده شده است. براساس نتایج آزمایش خاک، ۲۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک اضافه شد. وجین علف‌های هرز در مراحل مختلف رشد گیاه به صورت دستی صورت گرفت.

در پایان فصل رشد (۸۹ روز پس از کاشت)، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده و رطوبت دانه ۱۴-۱۲ درصد بود، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و تعداد غلاف در بوته شمارش و از آن‌ها میانگین گرفته شد. جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با عملکرد، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف و با استفاده از کوادرات بوته‌های واقع در سطح یک مترمربع از سطح خاک برداشت شد و تعداد دانه در مترمربع، وزن ۱۰۰ دانه (با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱)، عملکرد دانه، عملکرد زیستی (وزن خشک کل) و شاخص برداشت محاسبه شد. شاخص برداشت با استفاده از رابطه (۱) (Maleki et al., 2024) محاسبه گردید.

یافته‌های سینگ و همکاران (Singh et al., 2024)، محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک به طور جداگانه تعداد غلاف در بوته، طول غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) را افزایش داد.

با توجه به اهمیت نخود، از نظر ارزش غذایی و مساحت کشت آن در دیم‌زارها و کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در بهبود تحمل به کم‌آبی در گیاهان زراعی، مطالعه حاضر به منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید بر عملکرد و کیفیت دانه نخود تحت شرایط دیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و به صورت دیم در مزرعه‌ای واقع در شهرستان کرمانشاه بخش بیلوار روستای چوبتاشان واقع در ۵۵ کیلومتری جاده کرمانشاه- سنندج با مختصات جغرافیایی ۳۴/۴۵ درجه شمالی و ۴۶/۵۸ درجه شرقی و ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. آمار هواشناسی در طی اجرای آزمایش در **جدول ۱** ارائه شده است. بذر نخود دیم مورد استفاده در این پژوهش، توده محلی بیونج از کرند غرب کرمانشاه تهیه گردید. کاشت در تاریخ ۱۴۰۱/۱/۱۰ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی برگ‌های اسید هیومیک با سه سطح صفر (آب مقطر)، سه و شش لیتر در هکتار به عنوان عامل اول و اسید سالیسیلیک در چهار سطح صفر (آب مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته شد. اسید هیومیک مایع (تولید شرکت زاگرس که از مواد اولیه شرکت black earth کانادا) حاوی ۱۲ درصد اسید هیومیک و سه درصد اسید فولویک و سه درصد پتاسیم بود. این ترکیب می‌تواند به صورت خاکی، محلول‌پاشی و یا در اختلاط با سایر کودها استفاده شود و مناسب برای تمام خاک‌ها و گیاهان است (Hayati, Hosseini, Rahimi, & Kelidari, 2022). گیاهان

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه شهرستان کامیاران در سال ۱۴۰۱
Table 1- Meteorological statistics of Kamiyaran station in 2020

ماه Month	میانگین دما Average temperature (°C)		میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)		بارندگی ماهیانه Rainfall (mm)
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	
فروردین April	6.4	20.3	13.03	57.19	10
اردیبهشت May	9.5	23.5	16.90	62.90	47.3
خرداد Jun	14.5	30.9	3.50	34.33	0
تیر July	18.1	36.2	2.90	24.39	0

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical Soil properties of the experimental location

بافت	اسیدیته	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز
Texture	pH	Organic C	N	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
		(%)				(mg kg ⁻¹)			
لومی	7.7	1.25	0.11	12	280	6.2	6.1	8.4	13
Loam									

Glomalin (Giménez, García-Pastor, & Zapata, 2021). همچنین اسید سالیسیلیک، استحکام مخزن را از طریق تقسیم سلولی در تخمدان‌های نابالغ افزایش داده و جریان متابولیت‌ها را به دانه‌های در حال رشد هدایت می‌کند که منجر به کاهش میزان سقط و کمک به تشکیل مؤثر گل و توسعه غلاف می‌شود (Kuchlan & Kuchlan, 2023). به‌طور گسترده پذیرفته شده است که هر چه تعداد شاخه‌های اولیه بیشتر باشد، شاخه‌های ثانویه بیشتر خواهد بود و در نتیجه عداد اندام‌های زایشی گیاه را بیشتر می‌کند (Arshad et al., 2020). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک^۱ به‌ویژه غلظت ۵۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر به‌عنوان یک تنظیم‌کننده رشد نخود تحت تنش خشکی عمل کرده و رشد اندام‌های هوایی به‌نحو مطلوب افزایش یافته و گیاه نخود توانسته است که تعداد غلاف بیشتری را تولید کند.

تعداد دانه در مترمربع

نتایج نشان داد که اثر اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر این اساس، تیمار ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب تشکیل غلاف و تحریک گیاه به تولید دانه بیشتر شده است، به‌طوری‌که حدود ۳۹۸/۸۰ عدد دانه در مترمربع گزارش شد. براساس نتایج، اعمال این سطح از تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ۳۵/۲ درصدی تعداد دانه نسبت به بوته‌های بدون کاربرد اسید سالیسیلیک شد. همچنین سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک در تولید دانه مؤثر بودند و تفاوت معنی‌داری با شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) داشتند (جدول ۴). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، شرایط مناسب برای تلقیح گل‌های بیشتری را فراهم نموده و در نتیجه تعداد واحدهای زایشی در گیاه از جمله تعداد غلاف و تعداد دانه نخود را افزایش داده است. محققان نیز بیان کرده‌اند که افزایش تعداد دانه در اثر مصرف اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌دلیل نقش اسید سالیسیلیک بر مریستم‌های رویشی و زایشی و القاء گل‌دهی باشد. همچنین بوته‌های قوی‌تر بر اثر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک، غلاف‌های بزرگتری را به وجود می‌آورند که دارای تعداد دانه‌ی بیشتری هستند (Torabi et al., 2023). محمد و همکاران (Mohamed, Mohamed, 2023).

غلظت فسفر به‌روشنی مولیبدات و انادات (روش زرد) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل PD-303 ساخت ژاپن و مقدار پتاسیم به‌روشنی نشر شعله‌ای و با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل Clinical pfp7) اندازه‌گیری شد (Chapman & Pratt, 1962). به‌منظور سنجش میزان عناصر کم‌مصرف آهن، روی و منگنز دانه نخود پودر شده، از روش هضم از طریق سوزاندن خشک و ترکیب با HCl استفاده گردید. پس از تهیه عصاره، عناصر مذکور توسط دستگاه جذب اتمی (Spectra AA10-Australia) اندازه‌گیری شدند (Jones, Wolf, & Mills, 1991). درصد نیتروژن دانه به‌روشنی کج‌لیدال تعیین شد و میزان پروتئین دانه از حاصلضرب میزان نیتروژن در فاکتور پروتئینی نخود ۶/۲۵ به دست آمد (Lithourgidis, Vasilakoglou, Dhima, 2006). در پایان، داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شدند و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام گرفت.

(۱)

۱۰۰×(عملکرد بیولوژیک/عملکرد اقتصادی)=(%) شاخص برداشت

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد نخود

تعداد غلاف در بوته

طبق جدول تجزیه واریانس، اثر اسید سالیسیلیک بر تعداد غلاف در بوته نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از صفر به ۱۵۰ میلی گرم در لیتر، تعداد غلاف در بوته نخود ۹۲ درصد افزایش یافت، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۰/۸۵ عدد) در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد که در مقایسه با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به‌ترتیب ۴۹ و ۴۲ درصد افزایش نشان داد. درحالی که گیاهان شاهد محلول‌پاشی شده با آب مقطر (۱۰/۸۳ عدد) کمترین تعداد غلاف در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). افزایش اندام زایشی می‌تواند عمده‌تأثیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر سرعت گل‌دهی، القاء گل و باروری در گیاهان باشد که به‌طور طبیعی در طول فرآیند رشد رخ می‌دهد (Dobón-Suárez, 2023).

1- Salicylic acid

Halawa, & Saleh, 2023) نشان دادند که تیمار گیاهان لوبیا با اسید سالیسیلیک در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش قابل توجه وزن غلاف، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد کل دانه شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر اجزای عملکرد و وزن ۱۰۰ دانه گیاه نخود

Table 3- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid of yield components and 100- seeds weight of chickpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares		
		تعداد غلاف در بوته The number of pods per plant	تعداد دانه در مترمربع The number of seeds. m ⁻²	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight
بلوک Block	3	2.77 ^{ns}	3848.10 ^{ns}	4.46 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	26.59 ^{ns}	2242.56 ^{ns}	10.90 ^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	299.81 ^{**}	22280.10 ^{**}	126.92 ^{**}
HA × SA	6	13.96 ^{ns}	747.79 ^{ns}	4.69 ^{ns}
خطا Error	33	6.70	1542.32	4.01
ضریب تغییرات C.V (%)	-	16.7	11.2	5.9

^{ns}, * و **: به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر اجزای عملکرد گیاه نخود

Table 4- Mean comparisons the effect of foliar application salicylic acid on yield components of chickpea

اسید سالیسیلیک Salicylic acid	تعداد غلاف در بوته The number of pods per plant	تعداد دانه در مترمربع The number of seeds m ⁻²	وزن ۱۰۰ دانه 100- seeds weight (g m ⁻²)
0 (Control)	10.83 c*	294.80 c	29.4 c
50 mg L ⁻¹	14.00 b	348.91 b	33.9 b
100 mg L ⁻¹	14.60 b	362.06 b	34.6 b
150 mg L ⁻¹	20.87 a	398.80 a	37.3 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means with common letter(s) in each column do not have a significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

وزن ۱۰۰ دانه

افزایش وزن دانه نخود در نتیجه محلول پاشی با اسید سالیسیلیک ممکن است به افزایش تولیدات فتوسنتزی نسبت داده شود که باعث تشکیل یک منبع ذخیره‌ای برای مقصد و افزایش گنجایش مخازن (دانه‌ها) شده و منجر به افزایش وزن دانه می‌شود (Sahraei & Sepehri, 2022). تیمار سالیسیلیک اسید موجب افزایش جذب مواد مغذی و یون‌های مورد نیاز گیاه و افزایش دریافت انرژی تابشی و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش وزن دانه در گیاه خواهد شد. همچنین محلول پاشی با اسید سالیسیلیک گیاهان قوی‌تری تولید می‌کند و این گیاهان دانه‌های بزرگ‌تر با وزن بیشتر تولید می‌کنند (Younespour, Samdeliri, Mazloom, Mirkalaei, & Moballeghi, 2023). علاوه بر این، اسید سالیسیلیک نقش مهمی در کاهش رقابت بین گل و رشد رویشی

نتایج حاکی از این بود که میزان وزن ۱۰۰ دانه تحت تأثیر اسید سالیسیلیک قرار گرفت (جدول ۳). بر این اساس، بین غلظت‌های به کاررفته اختلاف معنی‌داری وجود داشت. در واقع، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۳۷/۳ گرم در مترمربع) حاصل شد که نسبت به غلظت صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به ترتیب ۲۶/۸، ۱۰/۱ و ۷/۸ درصد افزایش وزن نشان داد. کمترین وزن ۱۰۰ دانه نیز با میزان ۲۹/۴ گرم در مترمربع مربوط به گیاهان شاهد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) بود. لازم به ذکر است که بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

عملکرد دانه

برای محصولات فتوسنتزی و افزایش عناصر غذایی در برگ‌ها و سپس انتقال آن‌ها به بذرها دارد (Mohamed et al., 2023). وزن دانه نمایانگر ریز یا درشت بودن بذر بوده و نشان‌دهنده میزان انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه می‌باشد. هرچه تعداد دانه در بوته کم باشد یا طول دوره پر شدن دانه افزایش یابد، می‌تواند وزن دانه را بالا ببرد (Khademian & Yaghoobian, 2018). در همین راستا، کاربرد سالیسیلیک اسید، طول دوره و سرعت پر شدن دانه را زیاد می‌کند که این امر موجب افزایش وزن ۱۰۰ دانه می‌شود (Shiroui et al., 2023).

اثر اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار شد. درحالی‌که اثر اسید هیومیک و اثر متقابل اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه معنی‌دار نشد (جدول ۵). بر این اساس، بیشترین میزان عملکرد دانه با میزان ۱۴۸۸/۸۵ کیلوگرم در هکتار مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بود که این تیمار در مقایسه با عدم کاربرد اسید سالیسیلیک (۷۱/۳ درصد)، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۲۵/۸ درصد) و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۱۸/۸ درصد) افزایش داشت. سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند. کمترین عملکرد دانه نیز در گیاهان شاهد (بدون کاربرد سالیسیلیک اسید) به میزان ۸۶۹/۲۱ کیلوگرم در هکتار بود. به‌طور کلی، غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۶۱۹/۶۴ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با عدم کاربرد اسید

سالیسیلیک شد (جدول ۶). بالاتر بودن عملکرد دانه در تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک ناشی از بالاتر بودن اجزای عملکرد (تعداد دانه در مترمربع و تعداد غلاف در بوته) در تیمار مذکور بود. از سوی دیگر، افزایش معنی‌دار وزن ۱۰۰ دانه نخود در تیمار کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک موجب افزایش عملکرد دانه گردید (جدول ۴). علاوه بر این، افزایش عملکرد دانه ممکن است به‌واسطه اثر محرک اسید سالیسیلیک بر محتوای کلروفیل در برگ، رشد رویشی و توانایی فتوسنتزی باشد که بر افزایش بهره‌وری محصولات زراعی از نظر تولید زیست‌توده یا عملکرد دانه مؤثر هستند (Kuchlan & Kuchlan, 2023). همچنین اسید سالیسیلیک از طریق افزایش دسترسی به عناصر فسفر، پتاسیم، نیتروژن و سایر مواد مغذی منجر به تشکیل گل و غلاف بیشتر و افزایش تعداد دانه‌ها می‌شود (Ahmad et al., 2023). همچنین، کاربرد اسید سالیسیلیک ممکن است در نتیجه تعامل با سایر تنظیم‌کننده‌های گیاهی جیبرلین‌ها بر گل‌دهی، سرعت تقسیم سلولی در مرستم آپیکال ریشه گیاهان و افزایش سطح هورمون ایندول استیک اسید و سیتوکینین‌ها در گیاهان تأثیر بگذارد و در نتیجه رشد و عملکرد گیاهان را افزایش دهد (Kareem, Rihan, & Fuller, 2017). علاوه بر این، به نظر می‌رسد که با کاربرد سالیسیلیک اسید و افزایش تحمل گیاه به انواع تنش‌ها، طول دوره رشد رویشی و زایشی افزایش می‌یابد و در نتیجه آب و مواد غذایی برای گیاه فراهم می‌شود، بنابراین طول دوره و سرعت پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه مواد فتوسنتزی بیشتری را به توسعه اندام‌های زایشی اختصاص داده و موجب افزایش وزن و عملکرد دانه نخود گردید (Ahmad et al., 2023).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر صفات عملکردی گیاه نخود

Table 5- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid on yield traits of chickpea plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares		
		عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	3	15487.84 ^{ns}	283813.50 ^{ns}	33.27 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	19810.10 ^{ns}	155671.91 ^{ns}	24.42 ^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	783479.78 ^{**}	1328753.43 ^{**}	303.11 ^{**}
HA × SA	6	6621.57 ^{ns}	53355.36 ^{ns}	16.66 ^{ns}
خطا Error	33	8206.20	112892.54	44.83
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.41	11.35	16.59

ns و *: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر صفات عملکردی گیاه نخود

Table 6- Mean comparisons the effect of foliar application salicylic acid on yield traits of chickpea plant

اسید سالیسیلیک Salicylic acid	عملکرد دانه Grain yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
0 (Control)	869.21 c	2521.37 c	34.47 b
50 mg L ⁻¹	1182.83 b	2894.34 b	40.86 a
100 mg L ⁻¹	1253.44 b	2914.83 b	42.91 a
150 mg L ⁻¹	1488.85 a	3451.93 a	43.12 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to LSD test at the level of 5% probability.

عملکرد زیستی

نتایج نشان داد که عملکرد زیستی تحت تأثیر محلول پاشی با اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد زیستی در بوته‌های محلول پاشی شده با اسید سالیسیلیک بیشتر از بوته‌های شاهد بود. بیشترین عملکرد زیستی (۳۴۵۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول پاشی در تیمار با غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک بود که در مقایسه با شاهد ۳۶/۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۶). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک با تحریک تقسیم سلولی در مریستم‌های ریشه و ساقه منجر به افزایش رشد گیاه و تولید زیست توده و ماده خشک گیاه می‌شود. همچنین با تأثیر بر رشد اندام‌های تولیدمثلی مانند تعداد دانه، وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه، عملکرد زیستی را افزایش می‌دهد (Younespour et al., 2023). به علاوه، این فیتوهورمون با تنظیم باز شدن منافذ روزنه‌ها، سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای را بهبود می‌بخشد که در نهایت منجر به افزایش رشد و تولید گیاهان می‌شود (Alotaibi et al., 2023). در پژوهش حاضر، اسید سالیسیلیک با افزایش اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در مترمربع سبب افزایش عملکرد زیستی شد (جدول ۴). به طور مشابه، خادمیان و یعقوبیان (Khademian & Yaghoubian, 2018) بیان کردند که اسید سالیسیلیک باعث افزایش قابل توجه عملکرد زیستی گیاه نخود نسبت به گیاهان شاهد شد. بهبود این صفت ممکن است به دلیل تأثیر کاربرد اسید سالیسیلیک در بهبود و افزایش ظرفیت فتوسنتزی باشد که همسو با نتایج تحقیق حاضر بود. از سوی دیگر، نتایج پژوهش دیگری نشان داد که تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه می‌تواند عملکرد زیستی را از طریق تغییر در تعداد غلاف در بوته تحت تأثیر قرار دهد (Shiroui et al., 2023).

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که تیمار اسید سالیسیلیک بر شاخص برداشت اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۵). بر این اساس، کمترین شاخص برداشت در شاهد (بدون کاربرد اسید

سالیسیلیک) با میزان ۳۴/۴۷ درصد مشاهده شد، درحالی که بیشترین شاخص برداشت با میزان ۴۳/۱۲ درصد با کاربرد غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک به دست آمد که باعث افزایش ۸/۶ درصدی شاخص برداشت نخود نسبت عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد. به علاوه بین تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). شاخص برداشت برآیندی از عملکرد زیستی و عملکرد دانه است، لذا تحت تأثیر این صفات قرار دارد. تجمع ماده خشک بیشتر در دانه‌ها سبب افزایش شاخص برداشت می‌گردد. به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک نیز از طریق تقلیل اثر منفی تنش بر تشکیل دانه و جلوگیری از عقیمی آن‌ها، تسریع در تولید و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها، حفظ رنگیزه‌های فتوسنتزی از تخریب، حفظ محتوای نسبی آب بافت و افزایش ظرفیت مخازن در جذب مواد فتوسنتزی، در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک دانه موجب افزایش شاخص برداشت گردیده است (Ghalambaz, Roshanfekar, Rahnama Ghahfarokhi, & Monsefi, 2024). گیاه در یک فرآیند طبیعی سعی بر انتقال مواد ذخیره‌ای خود از اندام گیاهی به دانه را دارد تا بتواند هر چه بهتر به بقای نسل خود ادامه دهد. بنابراین احتمالاً محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند با تأثیر بر جذب آب، نفوذپذیری غشاء سلولی و جذب مواد غذایی موجب افزایش تولید دانه و در نتیجه شاخص برداشت شود (Salmanpour, Sharafi, Rezaei, Khalily, & Abbaspour, 2022). در این پژوهش نیز احتمالاً اسید سالیسیلیک موجب افزایش بیشتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد زیستی شده و شاخص برداشت نخود را افزایش داده است.

نتایج صفات مرتبط با کیفیت دانه

میزان پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷). بر این اساس با افزایش سطوح اسید هیومیک، میزان پروتئین دانه افزایش یافت، به نحوی که بیشترین پروتئین دانه مربوط به کاربرد

شش لیتر در هکتار (۱۲/۱۹ درصد) بود و کمترین میزان پروتئین در گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید هیومیک) با میانگین ۱۰/۱۲ درصد به دست آمد (شکل ۱). به نظر می‌رسد که اسید هیومیک از طریق شرکت در فعالیتهای آنزیمی با فراهمی آنها برای گیاه سبب افزایش توان ساخت پروتئین در گیاه و انتقال آن به دانه‌ها و بهبود کیفیت دانه می‌گردد. از طرفی، اسید هیومیک در افزایش میزان کلروفیل و فتوسنتز مؤثر است و باعث افزایش رشد رویشی گیاه و افزایش ماده خشک و میزان پروتئین می‌شود (Hosseini Nik *et al.*, 2022). همچنین محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به بالا بردن راندمان فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها و سرعت انتقال آنها به دانه‌ها و افزایش پروتئین دانه می‌شود (Alfatlawi & Alrubaiee, 2020). از آنجایی که درصد پروتئین دانه با میزان نیتروژن دانه رابطه مستقیمی دارد و افزایش میزان نیتروژن موجب افزایش پروتئین دانه می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که اسید هیومیک از طریق افزایش میزان فتوسنتز و کلروفیل برگ سبب افزایش میزان نیتروژن و انتقال آن به دانه شده است. به نظر می‌رسد که با کاربرد اسید هیومیک، طی تنش خشکی در زمان پرشدن دانه، انتقال مواد به‌خصوص نیتروژن که نقش اساسی در تولید و تشکیل پروتئین دانه دارد، زودتر و به‌مقدار بیشتری انجام شده و انتقال مجدد نیتروژن نیز به‌سمت مخازن دانه تسریع می‌گردد (Alfatlawi & Alrubaiee, 2020). از سوی دیگر، محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک موجب افزایش پروتئین دانه نخود نسبت به گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید

سالیسیلیک) شد. در واقع، بالاترین سطح اسید سالیسیلیک (غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) از بیشترین درصد پروتئین دانه برخوردار بود و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت. تیمار مذکور سبب افزایش ۶۹/۷۲ درصدی پروتئین دانه نخود در مقایسه با گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) شد (شکل ۱). احتمالاً اسید سالیسیلیک سبب طولانی شدن دوره رسیدگی شده و به‌دنبال آن مدت ذخیره پروتئین در دانه‌ها را افزایش داده در نتیجه درصد پروتئین دانه نخود افزایش یافته است. محققان بیان کرده‌اند که اسید سالیسیلیک با افزایش سطح کلسیم و تأثیر آن بر بهبود فعالیت ناقل‌های نیترات و آنزیم نیترات ردوکتاز موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Rajabi Dehnavi, Zahedi, Razmjoo, & Eshghizadeh, 2019). به عبارتی، اسید سالیسیلیک بر فرآیندهای مربوط به متابولیسم اولیه بذر و کیفیت بذر از جمله سنتز پروتئین و انتقال پروتئین ذخیره‌شده در دانه که بنیه بذر را افزایش می‌دهند، تأثیر می‌گذارد و کارایی گردش مجدد نیتروژن را از طریق افزایش تخریب پروتئین و انتقال اسید آمینه در برگ‌ها افزایش می‌دهد (Al-Wattar & Al-Hamdani, 2021). افزایش وزن دانه در نتیجه محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک ممکن است به افزایش تولیدات فتوسنتزی نسبت داده شود که باعث تشکیل یک منبع ذخیره‌ای برای مقصد و افزایش گنجایش مخزن شده و منجر به افزایش وزن دانه و افزایش عملکرد دانه و به‌تبع آن افزایش پروتئین دانه می‌شود (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2019).

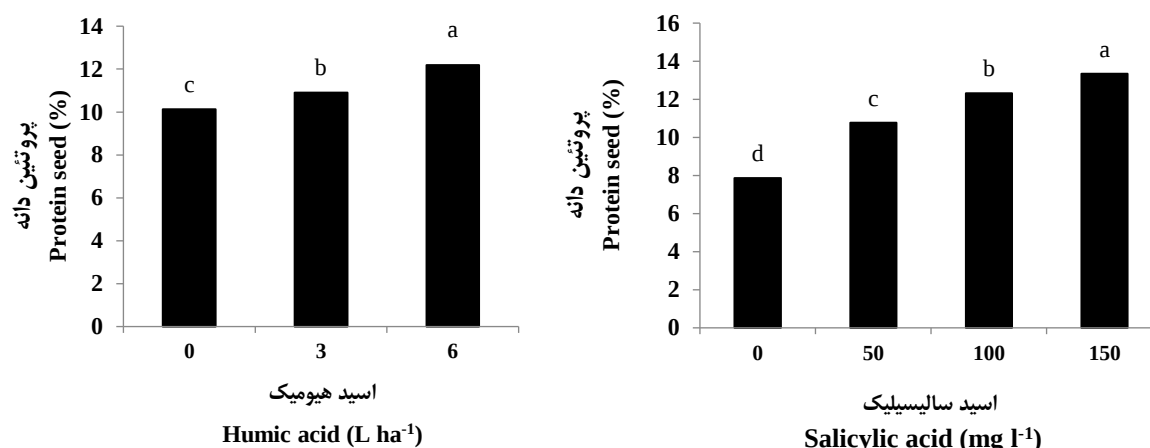
جدول ۷- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان صفات مرتبط با کیفیت دانه نخود

Table 7- Analysis of variance the effect of foliar application humic acid and salicylic acid on the amount of traits related to chickpea seed quality

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		پروتئین دانه Protein seed	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	آهن Iron	روی Zinc	منگنز Manganese
بلوک Block	3	0.60 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.00003*	0.0008 ^{ns}	0.0000005 ^{ns}
اسید هیومیک Humic acid (HA)	2	17.47**	0.27 ^{ns}	0.74**	0.00025**	0.20**	0.0001**
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	68.39**	0.51*	1.75**	0.00008**	0.016*	0.00004*
HA × SA	6	1.43 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.05**	0.00003**	0.015**	0.00001**
خطا Error	33	0.88	0.16	0.013	0.000008	0.004	0.000007
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.5	14.0	5.1	4.9	4.19	5.39

ns, * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان پروتئین دانه نخود
Figure 1- Mean comparisons the simple effect of foliar application humic acid and salicylic acid on protein content seed chickpea

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

میزان پتاسیم دانه

نتایج حاکی از این است که اثر اسید سالیسیلیک در سطح احتمال پنج درصد بر میزان پتاسیم دانه نخود معنی‌دار بود (جدول ۷). بر این اساس، بیشترین پتاسیم دانه در بین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک مربوط به غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر (۳/۱۲ میلی‌گرم در یک گرم دانه) بود که نسبت به پتاسیم دانه گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) ۱۸/۶۳ درصد افزایش نشان داد. از سوی دیگر، بین غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه کمترین میزان پتاسیم دانه در گیاهان شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک) با میزان ۲/۶۳ میلی‌گرم در یک گرم دانه به دست آمد (شکل ۲). جذب بیشتر پتاسیم با اسید سالیسیلیک را می‌توان به سازوکارهای فیزیولوژیکی دخیل در تنظیم اسمزی نسبت داد. اسید سالیسیلیک جذب یون را به‌دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی و نقش محافظتی روی غشاهای تنظیم می‌کند (Hafez & Farig, 2019). از عمده‌ترین نقش‌های عنصر پتاسیم، مقاوم نمودن گیاه در برابر عوامل خارجی است، این بدان معنی است که گیاهان کشت‌شده تحت شرایط دیم به‌محض مواجه شدن با تنش با ایجاد سازوکار افزایش یون پتاسیم درون سلول‌ها و آوندهای خود، در برابر خشکی مقاومت می‌کنند. از سوی دیگر، علت افزایش جذب پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان به سازوکار جذب فعال این یون به‌وسیله گیاه نسبت داد که بدین‌وسیله مقاومت خود را در برابر تنش بالا می‌برد. پژوهشگران گزارش کردند که میزان یون پتاسیم با افزایش سطح اسید سالیسیلیک طی تنش خشکی روند صعودی دارد (Al-Wattar & Al-Hamdani, 2021). به‌علاوه اسید سالیسیلیک می‌تواند خواص غشاء پلاسمایی را تغییر دهد و بر فعالیت

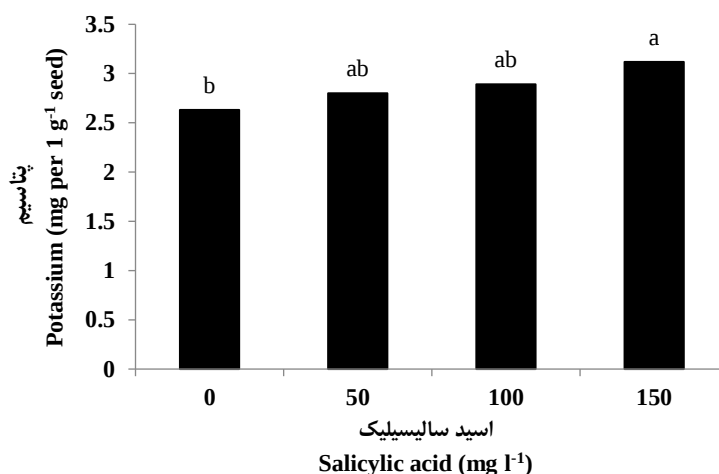
کانال‌های یونی تأثیر بگذارد و با تنظیم بیان و فعالیت پمپ‌های H^+ و فرستنده‌های پتاسیم باعث افزایش غلظت یون پتاسیم در سیتوپلاسم شود (Moazam Babasheikhali, Jabbarzadeh, Amiri, & Barin, 2020). مطابق با نتایج این تحقیق، انجم و همکاران (Anjum et al., 2022) گزارش کردند سطوح مختلف اسید سالیسیلیک موجب افزایش محتوای مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و کاه گندم شد.

میزان فسفر دانه

نتایج نشان داد که اثر ساده اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و همچنین اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر میزان فسفر دانه معنی‌دار شد (جدول ۷). با محلول‌پاشی همزمان اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، میزان فسفر دانه نخود نسبت به غلظت صفر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک افزایش نشان داد. حداکثر فسفر دانه مربوط به کاربرد همزمان غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید سالیسیلیک و تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک بود که افزایش ۱/۸۹ برابری نسبت به شاهد (بدون کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک) داشت. حداقل میزان فسفر دانه نیز در شاهد بدون کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک (۱/۵۸ میلی‌گرم در یک گرم دانه) مشاهده شد (شکل ۳). این امر به این دلیل است که محلول‌پاشی اسید هیومیک روی گیاهان منجر به افزایش رشد گیاه و فعال شدن بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی و متعاقب آن افزایش جذب فسفر توسط ریشه می‌شود. علاوه بر این اسید هیومیک باعث بهبود فراهمی عناصر غذایی خاص به‌ویژه فسفر می‌شود. عامل اصلی افزایش قابلیت جذب فسفر در نتیجه مصرف اسید هیومیک، تشکیل کمپلکس‌های

شست‌وشو توسط این ماده و کمپلکس شدن با آهن است. به‌طور مسلم آهن و روی می‌توانند به‌طور نامحلول با فسفر رسوب کنند (Awad, El-Taib, Sweed, & Omran, 2022).

آلی گزارش شده است. اسید هیومیک با افزایش نفوذپذیری غشاء سلول‌های ریشه، جذب و انتقال فسفر را بهبود بخشیده و باعث افزایش میزان فسفر موجود در گیاه می‌شود (Mahmood et al., 2019). همچنین در دسترس بودن فسفر نتیجه محافظت آن از



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی برگی اسید سالیسیلیک بر میزان پتاسیم دانه نخود

Figure 2- Mean comparison of the foliar application effect of salicylic acid on seed protein content of chickpea

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

سالیسیلیک نشان داد که بیشترین میزان آهن دانه با محلول پاشی همزمان غلظت شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۰۶۹ میلی گرم در یک گرم دانه) حاصل شد که در مقایسه با سایر سطوح اسید سالیسیلیک در همین غلظت اسید هیومیک برتری نشان داد. همچنین می‌توان گفت که عدم کاربرد اسید هیومیک سبب کاهش میزان آهن دانه در کاربرد بدون کاربرد اسید سالیسیلیک نسبت به غلظت‌های سه و شش لیتر در هکتار اسید هیومیک شد. به‌علاوه کمترین میزان آهن دانه مربوط به شاهد (بدون کاربرد اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک) با میانگین ۰/۰۵۳ میلی گرم در یک گرم دانه بود که با ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک با همین شرایط تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۴). افزایش جذب آهن ممکن است به اثر القائی اسید سالیسیلیک بر آنزیم H^+ -ATPase مرتبط باشد. این آنزیم نقش مهمی در غشاء پلاسمایی و تحرک غیرمستقیم یون‌ها دارد (Moazam Babasheikhali et al., 2020). افزایش فعالیت آنزیم H^+ -ATPase منجر به افزایش محتوای کاتیون‌ها در ریشه و اندام هوایی می‌شود و در نتیجه جذب بیشتر مواد مغذی را به همراه دارد (Gorni et al., 2020). مطابق با نتایج این پژوهش، در مطالعه حسین و همکاران (Hussein et al., 2015) کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش محتوای آهن در گیاهان کلزا (*Brassica napus*) شد که

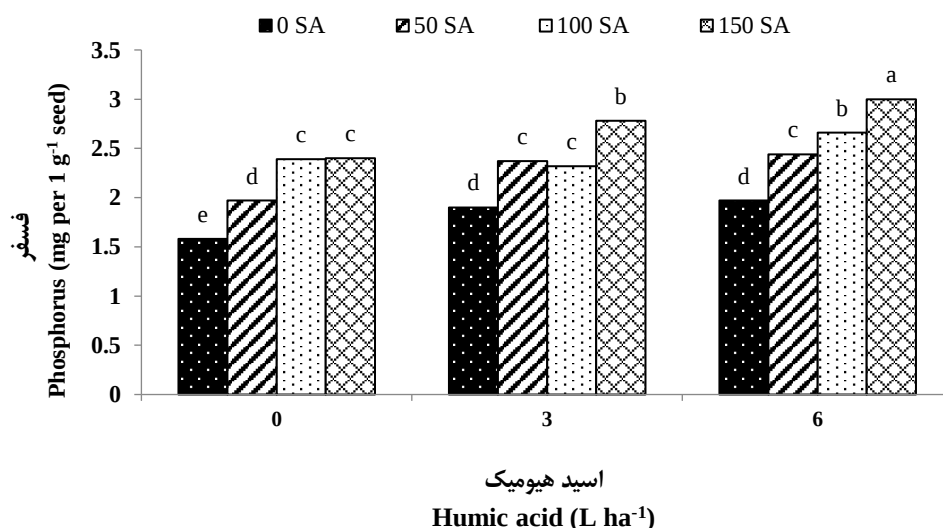
از سوی دیگر، اثر مثبت اسید سالیسیلیک بر محتوای فسفر به دلیل اثر آن بر تولید و انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخازن است (Rajabi Dehnavi et al., 2019). احتمال داده می‌شود که اسید سالیسیلیک با تأثیر بر جذب عناصر مختلف از خاک توانسته است با ایجاد سیستم ریشه‌ای قوی‌تر موجب افزایش قدرت جذب گیاه شود و به‌خصوص فسفر بیشتری را جذب نماید (Salmanpour et al., 2022). در مطالعه طلعت و همکاران (Talaat, Mahmoud, & Hanafy, 2023)، محلول پاشی اسید سالیسیلیک به‌طور قابل توجهی میزان عناصر ضروری در دانه‌های گندم را افزایش داد. آن‌ها این افزایش را به توانایی گیاهان تیمار شده در بهبود جذب، تجمع و جابه‌جایی مواد معدنی نسبت داده‌اند. به‌طور مشابهی، تومار و همکاران (Tomar et al., 2022) بیان کردند که استفاده از اسید سالیسیلیک منجر به جذب بیشتر نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط بذر، انتقال و جذب کل توسط محصول نخود شد که مطابق با نتایج تحقیق حاضر بود.

آهن دانه

نتایج حاکی از این بود که تأثیر اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بر میزان آهن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج اثر متقابل اسید هیومیک در اسید

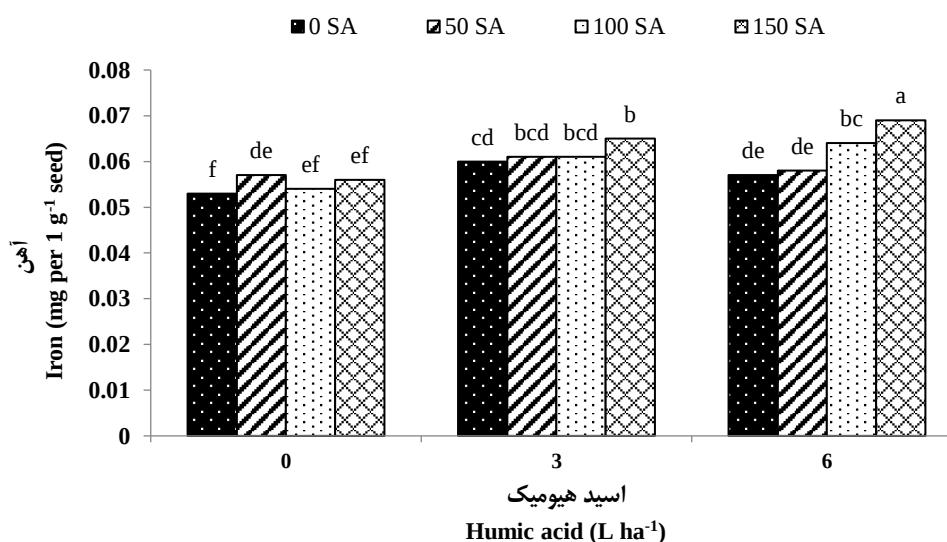
به دلیل خاصیت احیاء کنندگی آن مرتبط است که در دسترس بودن و تجمع آهن در بافت گیاهی را افزایش می دهد (*Gorni et al., 2020*).

دلیل این امر توانایی عبور ملکول های اسید هیومیک از غشاء سلول می باشد که در آپوپلاست باعث احیاء آهن شوند و در دسترس بودن آهن را افزایش دهند. اثر افزایش جذب آهن توسط اسید هیومیک



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان فسفر دانه نخود
Figure 3- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the phosphorus content in chickpea seed

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

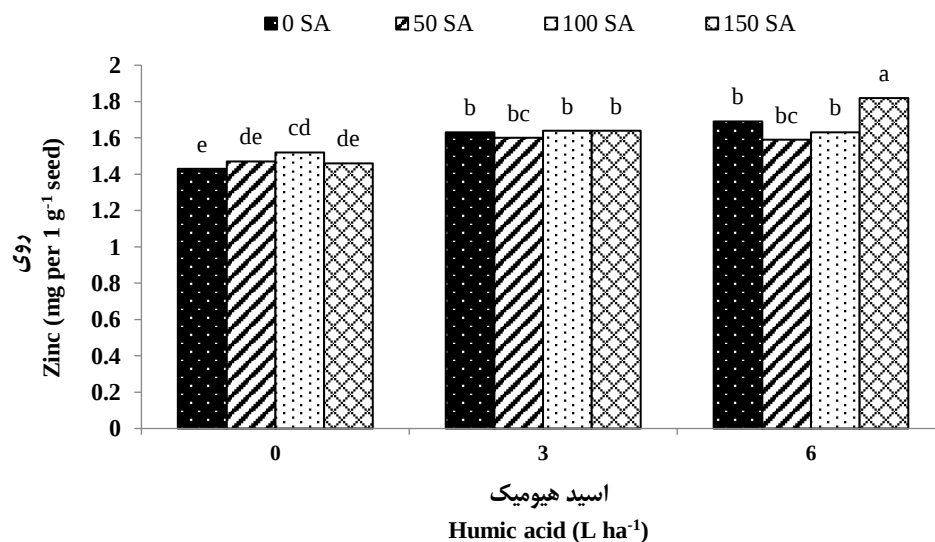


شکل ۴- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان آهن دانه نخود
Figure 4- Mean comparison of the treatment combination effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the iron content in chickpea seed

میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

میزان روی دانه

غلظت روی دانه تحت تأثیر اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و سالیسیلیک اسید در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید (جدول ۳-۴). بر این اساس، بیشترین میزان روی دانه در تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۱/۸۲ میلی گرم در یک گرم دانه) به دست آمد. میزان روی دانه در تیمارهای صفر، ۵۰ و ۱۵۰ به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۱/۴۷ و ۱/۴۶ میلی گرم در یک گرم دانه بود (شکل ۳). مواد هیومیکی نه تنها به افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک کمک می کنند، بلکه با تحریک بیان ژن های دخیل در جذب و جابه جایی



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان روی دانه نخود

Figure 5- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the zinc content in chickpea seed

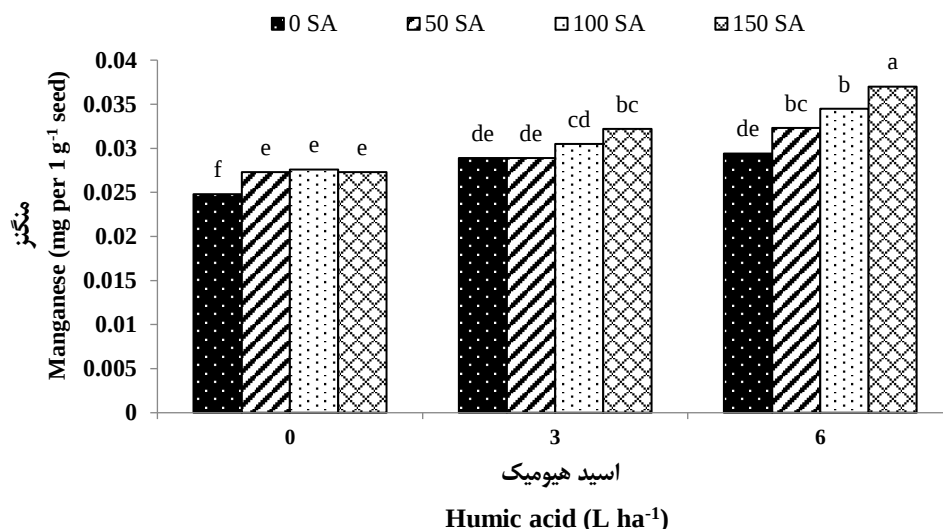
میانگین های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

دانه می تواند به دلیل عمل اسید هیومیک به عنوان یک کلات طبیعی برای ریزمغذی های کاتیونی باشد. علاوه بر این، معمولاً اسیدهای آلی مانند اسیدهای سیتریک، اگزالیک، تارتاریک و α -گلوکاریک در ترشحات ریشه می توانند آهن، روی و منگنز را از کمپلکس های اسید هیومیک استخراج کنند (Awad et al., 2022). از سوی دیگر، محلول پاشی اسید سالیسیلیک با تحریک تقسیم سلولی و افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید رنگدانه های فتوسنتزی ممکن است که منبع کافی از متابولیت ها را برای افزایش رشد، توسعه و فعالیت های عملکردی ریشه فراهم کند و سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردد (Tomar et al., 2022). علاوه بر این، گزارش شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث تحریک محتوای منگنز در گیاهان می شود (Arpali, Furan, & Ozturkci, 2016).

میزان منگنز دانه

اثرات اصلی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن ها در سطح احتمال پنج درصد بر میزان منگنز دانه معنی دار بود (جدول ۷). بر این اساس، بیشترین منگنز دانه در محلول پاشی غلظت ۱۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۳۷ میلی گرم در یک گرم دانه) و پس از آن غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک (۰/۳۴ میلی گرم در یک گرم دانه) در کاربرد شش لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد که اختلاف معنی داری با هم داشتند. از طرفی، کمترین منگنز دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بود که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت (شکل ۳). افزایش محتوای ریزمغذی ها از جمله منگنز



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل محلول پاشی اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر میزان منگنز دانه نخود
Figure 6- Mean comparison of the interaction effect of humic acid and salicylic acid foliar application on the manganese content in chickpea seed

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test. (probability level of 5%)

نتیجه‌گیری

نخود تأثیر گذاشت. به نظر می‌رسد که مصرف اسید هیومیک به‌صورت محلول پاشی در طی دو مرحله از طریق فراهمی شرایط سریع‌تر برگ‌ها و افزایش رشد کلی بوته و نیز افزایش دوام و ماندگاری برگ‌ها و افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه دو عنصر مهم و ضروری فسفر و نیتروژن می‌تواند کیفیت دانه را افزایش دهد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که محلول پاشی اسید هیومیک با غلظت شش لیتر در هکتار و اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر نقش مؤثرتری در افزایش عملکرد و اجزای آن و کیفیت دانه نخود داشت. بنابراین محلول پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت افزایش عملکرد و کیفیت دانه نخود در شرایط دیم استفاده شود. با توجه به معنی‌دار نشدن اثر متقابل اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر صفات مرتبط با عملکرد نخود پیشنهاد می‌شود که مطالعات بیشتری شامل محدوده وسیع‌تری از غلظت‌ها، ارقام مختلف نخود، و مصرف خاکی اسید هیومیک انجام گیرد تا ارزیابی برهم‌کنش‌های بالقوه یا اثرات هم‌افزایی آن‌ها میسر گردد.

پژوهش حاضر نشان داد که محلول پاشی اسید هیومیک به‌ویژه غلظت شش لیتر در هکتار با افزایش تقسیم و طولیل شدن سلول‌ها موجب افزایش پروتئین و عناصر غذایی دانه نخود گردید. از سوی دیگر، محلول پاشی اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر صفات رشدی نخود داشت. همچنین تیمار اسید سالیسیلیک با غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد نخود داشت. این امر می‌تواند عمده‌تأثیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر سرعت و القاء گل‌دهی در گیاهان باشد که شرایط بهتری برای تلقیح گل‌ها فراهم نموده و در نتیجه تعداد واحدهای زایشی را بیشتر می‌کند. یکی از دلایل افزایش عملکرد در گیاهان محلول پاشی شده ناشی از تأثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌باشد. از سوی دیگر، اسید هیومیک موجب دوام بیشتر سطح برگ می‌شود، که به‌نوبه خود باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد زیستی گردید. مشخص شد که اسید سالیسیلیک بر جذب و تجمع عناصر پرمصرف (فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (آهن، روی و منگنز) دانه

References

1. Abbood, A. A., & Al-Madhhachi, A. S. T. (2021). Quantifying mechanistic detachment parameters due to humic acids in biological soil crusts. *Land*, 10(11), 1180. <https://doi.org/10.3390/land10111180>
2. Ahmad, B., Hussain, F., Shuaib, M., Shahbaz, M., Hadayat, N., Shah, M., Yaseen, T., Rauf, A., Anwar, J., Khan, S. H., Jabeen, A., & Alharbi, K. (2023). Effect of salicylic acid and amino acid on pea plant (*Pisum sativum*) late

- season, growth and production. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(3), 1987-1994.
3. Ahmed, N. J., & Ali, K. A. (2024). Effect of exogenous salicylic acid foliar spray on growth, yield and chemical content of sesame crop (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *Sarhad Journal of Agriculture*, 40(3), 702-712. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2024/40.3.702.712>
 4. Alfatlawi, Z. H. C., & Alrubaiee, S. H. A. W. (2020). Effect of spraying different concentrations of humic acid on the growth and yield of wheat crop (ipa 99 cultivar) in different stages. *Plant Archives*, 20(2), 1517-1521.
 5. Ali, B., & Terefe, H. (2023). Host resistance by sowing date interaction reduced *Fusarium* wilt pressure and improved grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in North Shoa, Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6(3), e20400. <https://doi.org/10.1002/agg2.20400>
 6. Ali, E. S. A., Abd EL-Kader, M. N., Ahmed, M. A., & Morsy, A. S. (2022). Effect of irrigation intervals and foliar spray with salicylic acid on the production of two bread wheat cultivars in newly Reclaimed land. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 53(3), 55-71.
 7. Alotaibi, M., El-Hendawy, S., Mohammed, N., Alsamin, B., Al-Suhaibani, N., & Refay, Y. (2023). Effects of salicylic acid and macro-and micronutrients through foliar and soil applications on the agronomic performance, physiological attributes, and water productivity of wheat under normal and limited irrigation in dry climatic conditions. *Plants*, 12(12), 2389. <https://doi.org/10.3390/plants12122389>
 8. Altaf, A., Nawaz, F., Majeed, S., Ahsan, M., Ahmad, K. S., Akhtar, G., & Farman, M. (2023). Foliar humic acid and salicylic acid application stimulates physiological responses and antioxidant systems to improve maize yield under water limitations. *JSFA Reports*, 3(3), 119-128. <https://doi.org/10.1002/jsf2.106>
 9. Al-wattar, M. J. M., & Al-Hamdani, K. M. (2021). Efficiency of salicylic acid application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphrates Journal of Agricultural Science*, 13(4), 124-135.
 10. Amiri, M. B., Esmaeilian, Y., & Alboghobiesh, M. (2022). Effect of humic and salicylic acids spraying on some morphological characteristics, yield and yield components of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in different levels of irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 55-67. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.311183.654757>
 11. Anjum, M. A., Sarfraz, M., Qureshi, M. A., Rizwan, M., Naz, A., Ahmed, K., Saqib, M., Nawaz, M., Ali, M., Khalid, M., Nazarati, A & Al, A. (2022). Impact of salicylic acid on wheat growth and nutrient uptake in salinized environments. *Journal of Pure and applied Agriculture*, 7(3), 1-7.
 12. Arpali, D., Furan, M. A., & Ozturkci, Y. (2016). Recovering wheat (*Triticum aestivum* L.) to intake mineral nutrient components under drought stress with salicylic acid. *FEB-Fresenius Environ Bullet*, 3395. 539 pp.
 13. Arshad, A., Qamar, H., Siti-Sundari, R., Zhang, Y., Zubair, M., Raza, M. A., Rehman, M., Zhang, L. (2020). Phenotypic plasticity of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to exogenous application of salicylic acid under rainfed climate conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 33(4), 729. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.4.729.743>
 14. Awad, A. A., El-Taib, A. B., Sweed, A. A., & Omran, A. A. (2022). Nutrient contents and productivity of *Triticum aestivum* plants grown in clay loam soil depending on humic substances and varieties and their interactions. *Agronomy*, 12(3), 705. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030705>
 15. Barzegar, T., Mahmoodi, S., Nekounam, F., Ghahremani, Z., & Khademi, O. (2022). Effects of humic acid and cytokinin on yield, biochemical attributes and nutrient elements of radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Watermelon. *Journal of Plant Nutrition*, 45(10), 1582-1598. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2003395>
 16. Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1962). Methods of analysis for soils, plants and waters. *Soil Science*, 93(1), 68.
 17. Dobón-Suárez, A., Giménez, M. J., García-Pastor, M. E., & Zapata, P. J. (2021). Salicylic acid foliar application increases crop yield and quality parameters of green pepper fruit during postharvest storage. *Agronomy*, 11(11), 2263. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112263>
 18. Dönder, E., & Toğay. (2021). The effect of humic acid and potassium applications on the yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5(3), 568-574.
 19. FAO. (2022). Food and agriculture organisation of the United Nations. Rome, Italy. FAOSTAT. 2022. Rome. Available online: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> (accessed on 17 December 2021).
 20. Ghalambaz, S., Roshanfekr, H., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Monsefi, A. (2024). Effect of salicylic acid foliar application on physiological indices and induction of terminal heat stress tolerance of quinoa in Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 137-154. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84530.1275>
 21. Gomes, G. A., Pereira, R. A., Sodré, G. A., & Gross, E. (2019). Humic acids from vermicompost positively influence the nutrient uptake in mangosteen seedlings. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 49, e55529. <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v49e55529>
 22. Gorni, P. H., Pacheco, A. C., Moro, A. L., Silva, J. F. A., Moreli, R. R., de Miranda, G. R., Pelegrini, J. M., Bronzel, da Silva, R. M. G. (2020). Salicylic acid foliar application increases biomass, nutrient assimilation, primary metabolites and essential oil content in *Achillea millefolium* L. *Scientia Horticulturae*, 270, 109436. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109436>

23. Hafez, E., & Farig, M. (2019). Efficacy of salicylic acid as a cofactor for ameliorating effects of water stress and enhancing wheat yield and water use efficiency in saline soil. *International Journal of Plant Production*, 13(2), 163-176.
24. Haranal, K., Hanumanthappa, M., Mavarkar, N. S., & Mopagar, M. M. (2024). Humic acid foliation and nutrient levels concerning yield and quality of sweet corn (*Zea mays* L. Convar. Saccharata). *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(8), 535-542. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i82733>
25. Hassan, H., Suleiman, S., & Dais, M. A. (2022). Effect of spraying humic acid and salicylic acid on potato leaf area, yield and quality at two different levels of field capacity. *Al-Qadisiyah Journal of Pure Science*, 27(1), 1-12.
26. Hayati, A., Hosseini, S. M., Rahimi, M. M., & Kelidari, A. (2022). The effect of humic acid and nano-chelate iron on the absorption of some nutrients, grain yield, oil, and essential oil of (*Nigella sativa*) under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(14), 1744-1755. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2063319>
27. Hosseini Nik, M. H., Shokuhfar, A., & Payandeh, K. (2022). Effect of combination of the humic acid and nano-potassium fertilizer on yield, yield components and protein percentage of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 50-61. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2202-1022>
28. Hussein, M. M., Rezk, A. I., El-Nasharty, A. B., & Mehanna, H. M. (2015). Nutritional and growth response of canola plants to salicylic acid under salt stress conditions. *International Journal of ChemTech Research*, 8(6), 574-581.
29. Izhar Shafi, M., Adnan, M., Fahad, S., Wahid, F., Khan, A., Yue, Z., Danish, S., Hey, M., Brtnicky, M., & Datta, R. (2020). Application of single superphosphate with humic acid improves the growth, yield and phosphorus uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) in calcareous soil. *Agronomy*, 10(9), 1224. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091224>
30. Jones, J. J., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant Analysis Handbook*. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. pp. 213-pp). Micro-Macro Publishing, Inc, Athens, Georgia.
31. Kareem, F., Rihan, H., & Fuller, M. (2017). The effect of exogenous applications of salicylic acid and molybdenum on the tolerance of drought in wheat. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal (ARTOAJ)*, 41(2), 110-214.
32. Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mirzaee, A., Barzali, M., Sharifi, P., Khoshkhoy Nilash, E. A., & Safari Motlagh, M. R. (2023). Identification of stable chickpeas under dryland conditions by mixed models. *Legume Science*, 5(4), e206. <https://doi.org/10.1002/leg3.206>
33. Khademian, R., & Yaghoubian, I. (2018). Growth of chick pea (*Cicer arietinum*) in response to salicylic acid under drought stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 12, 255-263.
34. Kuchlan, P., & Kuchlan, M. K. (2023). Effect of salicylic acid on plant physiological and yield traits of soybean. *Legume Research-An International Journal*, 46(1), 56-61. <https://doi.org/10.18805/LR-4527>
35. Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>
36. Mahmood, Y. A., Ahmed, F. W., Juma, S. S., & Al-Arazah, A. A. (2019). Effect of solid and liquid organic fertilizer and spray with humic acid and nutrient uptake of nitrogen, phosphorus and potassium on growth, yield of cauliflower. *Plant Archives*, 19(2), 1504-1509.
37. Maleki, H. H., Khoshro, H. H., Kanouni, H., Shobeiri, S. S., & Ashour, B. M. (2024). Identifying dryland-resilient chickpea genotypes for autumn sowing, with a focus on multi-trait stability parameters and biochemical enzyme activity. *BMC Plant Biology*, 24(1), 750. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05463-0>
38. Meena, M. K., Dhanoji, M. M., & Naik, M. C. (2023). In luence of humic acid foliar spray on physiological growth indices in redgram (*Cajanus Cajan*). *Agriculture Association of Textile Chemical and Critical Reviews Journal*, 11(2), 378-384.
39. Moazam Babasheikhali, M., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., & Barin, M. (2020). Impact of salicylic acid and nitric oxide on improving growth and nutrients uptake of rose in alkaline soil conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 667-681. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1701023>
40. Mohamed, A. S., Mohamed, M. H., Halawa, S. S., & Saleh, S. A. (2023). Partial exchange of mineral N fertilizer for common bean plants by organic N fertilizer in the presence of salicylic acid as foliar application. *Gesunde Pflanzen*, 75(5), 2009-2020. <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00834-3>
41. Nayyef, A. G., & Hammadi, H. J. (2021). *Effect of activating of salicylic acid and foliar application with humic acid on some growth and yield characteristics of sunflower (Helianthus annuus L.)*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 761(1), 012076. IOP Publishing.
42. Pappula-Reddy, S. P., Kumar, S., Pang, J., Chellapilla, B., Pal, M., Millar, A. H., & Siddique, K. H. (2024). High-throughput phenotyping for terminal drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Stress*, 11, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100386>

43. Rahimi-Moghaddam, S., Amiri, S., & Eyni-Nargeseh, H. (2023). Assessing chickpea attainable yield and closing the yield gaps caused by agronomic and genetic factors. *Field Crops Research*, 303, 109137. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109137>
44. Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Razmjoo, J., & Eshghizadeh, H. (2019). Effect of exogenous application of salicylic acid on salt-stressed sorghum growth and nutrient contents. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11-12), 1333-1349. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617307>
45. Sahraei, S., & Sepehri, A. (2022). Effect of pseudo-hormones growth regulators on growth and yield of two new Kabuli cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 13(2), 191-206. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i2.2205-1034>
46. Salmanpour, V., Sharafi, S., Rezaei, M., Khalily, M., & Abbaspour, N. (2022). Evaluation of the effect of foliar application of potassium, salicylic acid and gamma aminobutyric acid on yield, yield components and uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in bread wheat genotypes under soil salinity stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(3), 133-148. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.46995.2707>
47. 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 arietinum* L.) in dryland conditions. *Plant Production and Genetics*, 4(1), 71-86. <https://doi.org/10.34785/J020.2022.017>
48. Singh, A. K., Mubeen, M., Kaleem, K., Khan, N., Sachan, D. S., & Mued, M. (2024). Effect of different levels of humic acid and salicylic acid on yield parameters and yield of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 272-277.
49. Singh, V., Gupta, K., Singh, S., Jain, M., & Garg, R. (2023). Unravelling the molecular mechanism underlying drought stress response in chickpea via integrated multi-omics analysis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1156606. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1156606>
50. Talaat, N. B., Mahmoud, A. W. M., & Hanafy, A. M. (2023). Co-application of salicylic acid and spermine alleviates salt stress toxicity in wheat: growth, nutrient acquisition, osmolytes accumulation, and antioxidant response. *Acta Physiologiae Plantarum*, 45(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03485-5>
51. Tomar, M., Chaplot, P. C., Choudhary, J., Meena, R. H., Patidar, R., & Samota, A. K. (2022). Effect of salicylic acid and biochar on nutrient content and uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *Biological Forum-An International Journal*, 14(3) 613-616.
52. Torabi, S., Alahdadi, I., Akbari, G. A., Ghorbani Javid, M., & Fotovat, R. (2023). Effects of foliar application of salicylic acid and nanosilicon on the yield and physiological traits of maize (*Zea mays*) in heavy metal contaminated fields. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(1), 151-168. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.346622.654931>
53. Younespour, M. P., Samdeliri, M., Mazloom, P., Mirkalaei, A. M., & Moballeghi, M. (2023). Effect of foliar application of salicylic acid and mycorrhiza on quantitative and qualitative traits of maize. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e274601. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.274601>
54. Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 675. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>