Response of rainfed chickpea cv. Ana to foliar application of organic and chemical compounds under cold climatic conditions

Yaser Azimzadeh[1*], Hamid Hasanian Khoshroo[1], Mehdi Kuseloo[1], Halimeh Razmi[1]

1- Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

Email: y.azimzadeh@areeo.ac.ir
ORCID: 0000-0002-0982-6760
ORCID: 0000-0002-1251-0388
ORCID: 0009-0007-6308-6234
ORCID: 0009-0004-9700-4100

Extended Abstract

Introduction: Rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important legumes in the cold dryland regions of Iran, playing a key role in crop rotation and food security due to its nitrogen-fixing ability and adaptation to dry conditions. However, its yield under dryland conditions is lower than its actual potential due to moisture limitation, low temperatures during early growth stages, and nutrient deficiency. Foliar application of nutrients, as a complementary approach to plant nutrition, can mitigate the effects of environmental stresses by rapidly supplying nutrients during critical growth stages; however, its effectiveness depends on the timing of application and the type of compound used. This study was conducted to evaluate the response of rainfed chickpea to foliar application of different organic and chemical compounds under dryland conditions.

Materials and Methods: The experiment was carried out at the Dryland Agricultural Research Institute of Iran (Maragheh) during two growing seasons (2024–2025 and 2025–2026). In the first year, the experiment was conducted as a split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications, in which the timing of foliar application at three levels (vegetative, flowering, and vegetative + flowering stages) was assigned to the main plots, and the type of foliar application at six levels (urea + zinc sulfate, potassium phosphite, amino acid, humic acid, seaweed extract, and control) was assigned to the subplots. In the second year, due to logistical constraints, foliar application was performed only at the vegetative stage, and the experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications. Chickpea cultivar Anna was sown at a density of 40 plants m^{-2}, and traits including dry matter yield, grain yield, plant height, 100-grain weight, harvest index, and rainfall use efficiency were measured. Economic indices including change in grain yield (ΔGY), added gross revenue (ΔGR), incremental variable cost (IVC), incremental net benefit (INB), and marginal benefit-cost ratio (MBCR) were also calculated.

Results and Discussion: The results of analysis of variance in the first year showed that the timing of foliar application had a significant effect on dry matter yield, grain yield, plant height, and rainfall use efficiency, while the effect of the type of foliar application was significant only for dry matter yield, and the interaction between timing and type of foliar application was not significant for any of the studied traits. Foliar application at the vegetative stage resulted in the highest dry matter yield (1805 kg ha^{-1}), grain yield (731 kg ha^{-1}), and rainfall use efficiency (2.1 kg ha^{-1} mm^{-1}),

and was significantly superior to the flowering and vegetative + flowering stages. Among the foliar application treatments, humic acid showed the lowest dry matter yield (1497 kg ha^{-1}), and the other treatments did not differ significantly from each other. The combined analysis of variance over two years showed that the effect of year was significant for all traits except harvest index, such that grain yield in the second year (855 kg ha^{-1}) was significantly higher than in the first year (731 kg ha^{-1}). In contrast, rain rainfall use efficiency in the first year (2.1 kg ha^{-1} mm^{-1}) was significantly higher than in the second year (1.8 kg ha^{-1} mm^{-1}), indicating that the plant used limited water more efficiently under drier conditions. The effect of the type of foliar application was significant for grain yield, plant height, and rainfall use efficiency, and the amino acid and urea + zinc sulfate treatments with a grain yield of 873 kg ha^{-1} were superior to the control (744 kg ha^{-1}) and other treatments. The results of the economic analysis showed that at the vegetative stage, the amino acid treatment with MBCR values of 12.5 and 8.5, and the urea + zinc sulfate treatment with MBCR values of 8.5 and 7.1, were the most profitable options in both years. In contrast, humic acid and seaweed extract showed unstable profitability, and potassium phosphite had a low MBCR. The vegetative + flowering stage, due to approximately double the variable cost and its lack of compensation through increased yield, was not economically justified for any of the treatments.

Conclusion: The results of this study showed that under cold dryland conditions of Maragheh, foliar application at the vegetative stage is more effective than at the flowering or vegetative + flowering stages, and the amino acid (2 g L^{-1}) and urea (3%) combined with zinc sulfate (3 g L^{-1}) treatments, due to their significant increase in grain yield and rain water use efficiency and stable profitability over two years, are recommended as the best management options. In contrast, the application of humic acid, seaweed extract, and potassium phosphite is not recommended under these conditions.

Keywords: Amino acid, Humic acid, Economic analysis, Foliar application, Seaweed extract.

واکنش نخود دیم رقم آنا به محلول‌پاشی ترکیبات آلی و شیمیایی در شرایط اقلیمی سرد

یاسر عظیم زاده[1*]، حمید حسنیان خوشرو[1]، مهدی کوسه لو[1]، حلیمه رزمی[1]

مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

پست الکترونیکی: y.azimzadeh@areeo.ac.ir

چکیده

نخود دیم (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات مناطق دیم سردسیر ایران است که به‌دلیل محدودیت رطوبت، دمای پایین اوایل فصل رشد و کمبود عناصر غذایی، عملکرد آن پایین‌تر از پتانسیل واقعی است. این پژوهش به‌منظور ارزیابی واکنش نخود دیم به محلول‌پاشی با ترکیبات آلی و شیمیایی مختلف طی دو سال زراعی (۱۴۰۴-۱۴۰۳ و ۱۴۰۵-۱۴۰۴) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور انجام شد. آزمایش در سال اول به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که در آن زمان محلول‌پاشی در سه سطح (رویشی، گلدهی و رویشی + گلدهی) به‌عنوان کرت اصلی و شش نوع محلول‌پاشی (اوره + سولفات روی، فسفیت پتاسیم، اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و شاهد) به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. در سال دوم، محلول‌پاشی فقط در مرحله رویشی انجام شد. پس از برداشت، ارتفاع بوته، عملکرد کل ماده خشک گیاه، عملکرد دانه و وزن صددانه تعیین و شاخص برداشت، بهره‌وری بارندگی و برخی از شاخص‌های اقتصادی محاسبه شد. نتایج تجزیه واریانس سال اول نشان داد که زمان محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه، ارتفاع بوته و بهره‌وری بارندگی داشت؛ در حالی که اثر نوع محلول‌پاشی فقط بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار شد. محلول‌پاشی در مرحله رویشی با عملکرد دانه ۷۳۱ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری بارندگی ۱/۲ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر، به‌طور معنی‌داری برتر از مراحل گلدهی و رویشی + گلدهی بود. تجزیه مرکب دو سال نشان داد که عملکرد دانه در سال دوم (۸۵۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول (۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) بود؛ در حالی که بهره‌وری بارندگی در سال اول بالاتر بود. تیمارهای اسید آمینه و اوره + سولفات روی با عملکرد دانه ۸۷۳ کیلوگرم در هکتار، برتر از شاهد (۷۴۴ کیلوگرم در هکتار) بودند. تحلیل اقتصادی نشان داد که تیمارهای اسید آمینه (با MBCR برابر ۵/۱۲ و ۵/۸) و اوره + سولفات روی (با MBCR برابر ۵/۸ و ۱/۷) در مرحله رویشی سودده‌ترین گزینه‌ها در هر دو سال بودند. مرحله رویشی+گلدهی به‌دلیل هزینه متغیر تقریباً دو برابر، توجیه اقتصادی نداشت. در مجموع، محلول‌پاشی با

اسید آمینه (۲ در هزار) یا اوره (۳ درصد) همراه با سولفات روی (۳ در هزار) در مرحله رویشی به‌عنوان بهترین راهکار مدیریتی برای افزایش عملکرد و سوددهی نخود دیم در شرایط سردسیر مراغه توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: اسید آمینه، اسید هیومیک، تحلیل اقتصادی، عصاره جلبک دریایی، محلول‌پاشی.

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات دانه‌ای جهان است که در بیش از ۵۰ کشور، عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک آسیا، شمال آفریقا، خاورمیانه، جنوب اروپا، استرالیا و قاره آمریکا کشت می‌شود (Jukanti et al., 2012). اهمیت این گیاه تنها به تولید دانه و تأمین پروتئین گیاهی محدود نمی‌شود، بلکه توانایی در برقراری همزیستی با باکتری‌های جنس مزوریزوبیوم[1] و تثبیت زیستی نیتروژن، آن را به یکی از اجزای مهم تناوب‌های زراعی تبدیل کرده است (Graham & Vance, 2003; Zhang et al., 2024). در ایران، نخود عمدتاً در شرایط دیم و در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود و بخش عمده تولید آن به نواحی غرب و شمال‌غرب کشور اختصاص دارد. مطالعات انجام‌شده در مناطق عمده تولید نخود ایران نشان می‌دهد که محدودیت آب و توزیع نامناسب بارش در طول فصل رشد از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد این محصول هستند. در این رابطه، سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2016) با بررسی پنج منطقه اصلی تولید نخود در ایران، عملکرد متوسط نخود دیم را حدود ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند و عملکرد بالقوه را حدود ۹۹۱ کیلوگرم در هکتار برآورد نمودند؛ بنابراین، شکاف عملکرد قابل‌توجهی میان عملکرد موجود و ظرفیت تولید در شرایط محدودیت آب وجود دارد.

در مناطق سردسیر، دمای پایین در مراحل اولیه رشد و کمبود آب در مراحل پایانی رشد از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید نخود دیم به شمار می‌روند. نخود گیاهی نسبتاً حساس به دمای دوره زایشی بوده و در مناطقی که دمای هوا در زمان گلدهی پایین باشد، تأخیر در گلدهی و تشکیل غلاف می‌تواند دوره رشد را طولانی‌تر کرده و احتمال مواجهه گیاه با خشکی انتهای فصل را افزایش دهد (Berger et al., 2007). حساسیت به کمبود آب در مرحله زایشی، به‌ویژه از آغاز تشکیل غلاف تا پرشدن دانه، بیشتر از سایر مراحل است. کاهش دسترسی به آب با کاهش رشد رویشی و زایشی، افزایش ریزش گل و غلاف و کاهش تعداد و اندازه دانه همراه است و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Pang et al., 2017a). یکی دیگر از محدودیت‌های مهم تولید نخود دیم در مناطق سردسیر، تأمین ناکافی عناصر غذایی است. پایین بودن دمای خاک از یک سو و خشک و قلیایی بودن خاک از سوی دیگر، می‌تواند توسعه ریشه و فرآیند جذب عناصر غذایی را در بخشی از فصل رشد محدود کند و در نتیجه، حتی در خاک‌هایی که مقدار کل یک عنصر

[1] *Mesorhizobium*

نسبتاً مناسب است، قابلیت استفاده آن برای گیاه کاهش یابد. فسفر از عناصر مهم توسعه ریشه و رشد اولیه و استقرار گیاه است و کمبود آن می‌تواند تشکیل و فعالیت گره‌های ریشه را محدود کند (Graham & Vance, 2003; Ryan et al., 2013). در مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب آسیا و شمال آفریقا، کمبود عناصر کم‌مصرف، به‌ویژه روی، آهن و بور در بسیاری از خاک‌ها گزارش شده است و عواملی مانند آهکی بودن خاک، pH بالا و مقدار کم ماده آلی می‌تواند دسترسی گیاه به برخی از این عناصر را کاهش دهد (Ryan et al., 2013). نیتروژن برای تشکیل پروتئین، کلروفیل و ترکیبات ضروری رشد گیاه لازم است و روی در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها و تنظیم فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارد و کمبود آن در برخی خاک‌های آهکی و دارای pH بالا، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گزارش شده است (Ryan et al., 2013). بنابراین، مدیریت تغذیه نخود دیم صرفاً بر مصرف خاکی کود متمرکز نیست، بلکه انتخاب منبع، مقدار و روش مصرف متناسب با ویژگی‌های خاک، شرایط رطوبتی و مرحله رشد گیاه اهمیت بسزایی دارد. محلول‌پاشی به‌عنوان یکی از روش‌های مکمل کوددهی خاکی، امکان رساندن مستقیم مقادیر محدودی از عناصر غذایی به اندام هوایی گیاه را فراهم می‌کند. میزان جذب در این روش به ویژگی‌های ماده غذایی، فرمولاسیون محلول، وضعیت سطح برگ و عوامل محیطی مانند دما و رطوبت بستگی دارد (Fernández & Eichert, 2009). شواهد آزمایشی نیز نشان داده‌اند که کاربرد برگی عناصر غذایی در نخود تحت تنش آبی می‌تواند برخی از صفات رشد، فعالیت سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد را بهبود دهد، هرچند شدت و جهت پاسخ به نوع عنصر، مرحله رشد، شدت تنش و شرایط آزمایش وابسته است. در یک آزمایش انجام‌شده در شرایط مدیترانه‌ای، محلول‌پاشی نخود با اوره و روی بر عملکرد دانه و برخی اجزای عملکرد اثر مثبت داشت؛ با این حال، مقدار پاسخ به نوع تیمار و شرایط محیطی وابسته بود (Kayan et al., 2019).

استفاده از ترکیبات زیستی و محرک‌های رشد گیاه نیز در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از رویکردهای مکمل برای کاهش آثار تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات شامل گروه‌های متنوعی مانند اسیدهای آمینه، مواد هیومیکی و عصاره‌های جلبک دریایی هستند و اثر آن‌ها لزوماً ناشی از تأمین مستقیم عناصر غذایی نیست، بلکه می‌تواند از طریق تغییر برخی از فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیکی گیاه، از جمله تنظیم رشد ریشه و اندام هوایی، فعالیت سامانه‌های آنتی‌اکسیدانی و پاسخ به تنش بروز کند (Calvo et al., 2014). در مورد مواد هیومیکی، شواهد موجود نشان می‌دهد که اسیدهای هیومیک و فولویک می‌توانند در شرایط مناسب از طریق اثر بر رشد ریشه و فرآیندهای جذب عناصر، رشد گیاه را تحت‌تأثیر قرار دهند؛ با این حال، شدت پاسخ به منشأ ماده، ویژگی‌های شیمیایی آن، مقدار مصرف و شرایط محیطی وابسته است (Canellas et al., 2015). عصاره جلبک دریایی نیز حاوی طیفی از ترکیبات آلی و مواد فعال زیستی هستند و در برخی از مطالعات، کاربرد آن‌ها با بهبود رشد و افزایش عملکرد محصولات

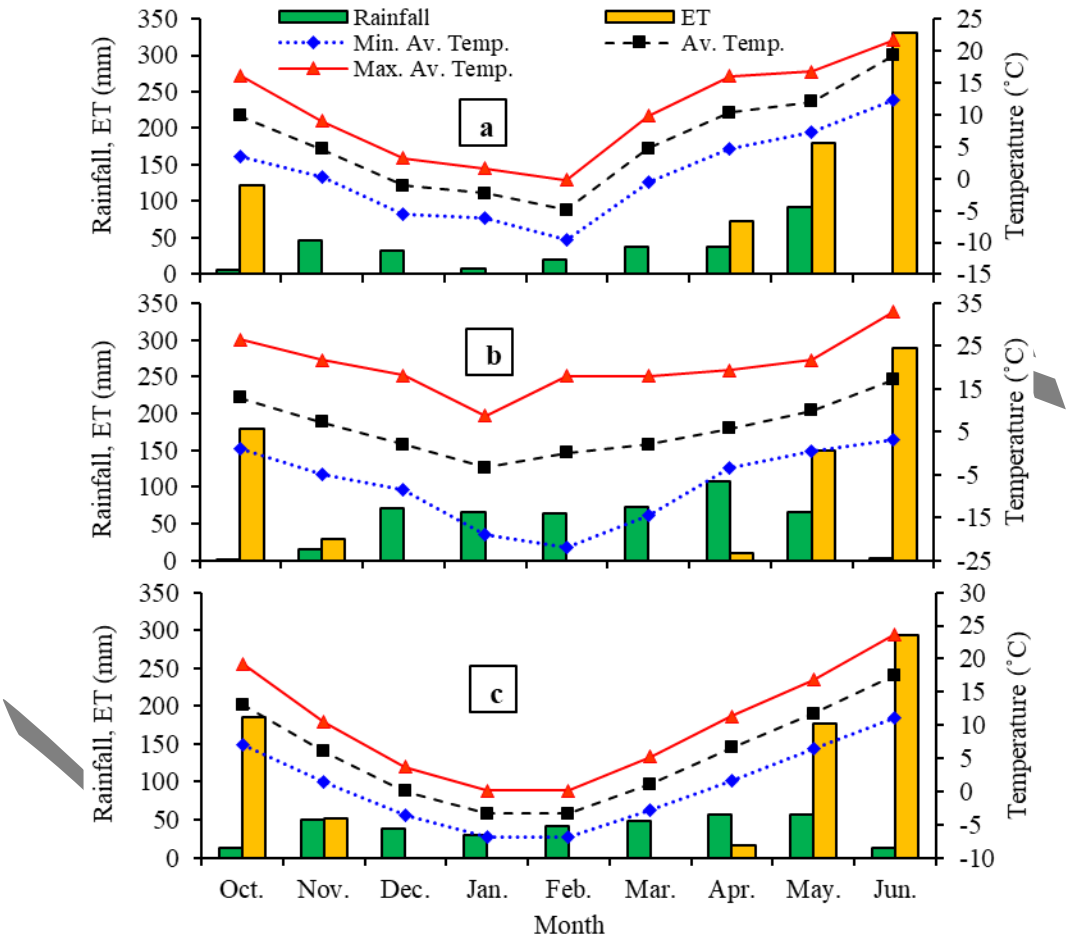
زراعی همراه بوده است؛ اما پاسخ گیاه به این ترکیبات همواره یکسان نبوده و به نوع عصاره، گونه جلبک، روش استخراج، مقدار مصرف و شرایط رشد بستگی دارد (Battacharyya et al., 2015).

مطالعات انجام‌شده روی نخود نشان می‌دهد که پاسخ گیاه به محلول‌پاشی بیش از آنکه به اصل مصرف عناصر یا ترکیبات مکمل وابسته باشد، به نوع ماده، غلظت، زمان کاربرد و شرایط تنش بستگی دارد. برای مثال، کاربرد برگی اوره و روی در مراحل زایشی در برخی از آزمایش‌های نخود موجب بهبود صفات عملکردی شده و در مطالعه دیگر، محلول‌پاشی اوره در مرحله گلدهی و تشکیل غلاف علاوه‌بر افزایش غلظت روی دانه، بر عملکرد و کیفیت دانه نیز اثر گذاشته است (Kayan et al., 2019; Pal et al., 2019). همچنین محلول‌پاشی اوره در آغاز گلدهی و ۵۰ درصد گلدهی، پیش از اعمال تنش خشکی، عملکرد نخود را افزایش داد و زیست‌توده آن را در زمان رسیدگی حدود ۲۰ درصد بیشتر کرد؛ در حالی که محلول‌پاشی در ۵۰ درصد غلاف‌دهی و پایان غلاف‌دهی اثری بر عملکرد نداشت، زیرا پیری برگ جذب نیتروژن را محدود کرده بود (Palta et al., 2005). در عدس نیز محلول‌پاشی اوره ۲ درصد در مراحل ساقه‌دهی و آغاز غلاف‌بندی، عملکرد دانه را افزایش داد (Das and Jana, 2016). در پژوهشی دیگر، محلول‌پاشی سولفات روی ۰/۵ درصد در ۵۰ و ۱۰۰ روز پس از کاشت، عملکرد دانه و وزن هزار دانه عدس را افزایش داد (Rehman et al., 2024). این نتایج نشان می‌دهد پاسخ حبوبات به محلول‌پاشی نه تنها به مصرف عنصر وابسته است بلکه به مرحله رشد و زمان کاربرد بستگی دارد. با این حال، بخش قابل‌توجهی از مطالعات موجود، به یک عنصر، ترکیب یا نوع خاصی از ماده محدود بوده و نتایج آن‌ها نیز تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی، مرحله رشد و شدت تنش قرار داشته است. بنابراین، بررسی هم‌زمان ترکیبات آلی و معدنی مورد استفاده در محلول‌پاشی و مقایسه زمان کاربرد آن‌ها در شرایط دیم در مزرعه می‌تواند به شناسایی راهکارهای مناسب‌تر برای مدیریت تغذیه‌ای این محصول کمک کند. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی ترکیبات منتخب آلی و شیمیایی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد نخود دیم در شرایط اقلیمی سرد شهرستان مراغه انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور (مراغه، استان آذربایجان شرقی) به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۴-۱۴۰۳ و ۱۴۰۴-۱۴۰۵) اجرا شد. ایستگاه مراغه با ارتفاع حدود ۱۷۰۰ متر از سطح دریا، در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار دارد. داده‌های هواشناسی منطقه در دو سال آزمایش و دوره بلندمدت (۱۴۰۳-۱۳۷۱) در شکل ۱ ارائه شده است. سال اول (۱۴۰۴-۱۴۰۳) با مجموع بارندگی ۲۸۰ میلی‌متر و سال دوم (۱۴۰۵-۱۴۰۴) با بارندگی ۴۶۶ میلی‌متر، به‌ترتیب خشک‌تر و مرطوب‌تر از میانگین بلندمدت (حدود ۴۶۰

میلی‌متر) بودند. توزیع بارش در سال دوم نسبت به سال اول مطلوب‌تر بود و دمای هوا نیز در سال دوم در ماه‌های زمستان به‌طور محسوس پایین‌تر از سال اول و بلندمدت ثبت شد (شکل ۱).



شکل ۱. تغییرات زمانی میانگین دما، بارش و تبخیر-تعرق ماهانه در منطقه مراغه برای سال‌های ۱۴۰۴-۱۴۰۳ (a)، ۱۴۰۵-۱۴۰۴ (b) و دوره بلندمدت (c)

Figure 1. Temporal variations of monthly mean temperature, precipitation, and evapotranspiration in the Maragheh region for the years 2024-2025 (a), 2025-2026 (b), and the long-term period (c)

در این پژوهش برای کاشت از رقم آنا نخود دیم استفاده شد. این رقم به دلیل تحمل سرما و یخبندان (تا ۱۷- درجه سلسیوس در شرایط بدون پوشش برف)، داشتن تیپ بوته ایستاده با ارتفاع مناسب جهت برداشت مکانیزه و همچنین مقاومت نسبی به بیماری برق‌زدگی، به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای کشت در مناطق معتدل و سردسیر دیم، در سال ۱۳۹۷ توسط مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور معرفی شده است (Saeed et al., 2018). قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک مرکب از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری مزرعه تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (Dane and Topp, 2002; Sparks et al., 1996) (جدول ۱). با توجه به حد

بحرانی فسفر (۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به روش اولسن) و پتاسیم (۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به روش استات آمونیوم)، همزمان با کاشت، علاوه‌بر ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به‌عنوان نیتروژن آغازگر)، مقدار ۴۵ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل در هکتار در زمان کاشت توسط کارنده آسکه (مدل ۲۲۰۰) به‌صورت جایگذاری در فاصله حدود ۵ سانتی‌متری زیر بذر مصرف شد و با توجه به عدم کمبود پتاسیم، کود پتاسیم مصرف نشد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه

Table 1- Some physical and chemical properties of the studied farm soils

Year	Texture	pH	EC_e	OC	TNV	Available K	Available P
			($dS\ m^{-1}$)	(٪)		($mg\ kg^{-1}$)	
2024-2025	Clay loam	7.37	0.619	0.66	7	618	5.3
2025-2026	Clay loam	7.75	0.745	0.53	9	575	5.1

TNV: ارزش خنثی‌سازی کل

TNV: Total neutralizing value

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل زمان محلول‌پاشی در سه سطح (مرحله رویشی، مرحله گلدهی و مرحله رویشی + گلدهی) و کرت فرعی شامل نوع محلول‌پاشی در شش سطح (اوره + سولفات روی، فسفیت پتاسیم، اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و شاهد (محلول‌پاشی با آب) بود. در سال زراعی دوم، به‌دلیل محدودیت‌های اجرایی و به‌منظور افزایش دقت آزمایش و با در نظر گرفتن نتایج سال اول، محلول‌پاشی فقط در مرحله رویشی انجام شد. بنابراین، در سال دوم فقط شش تیمار نوع محلول‌پاشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شدند.

بعد از آماده‌سازی زمین به‌روش کم‌خاکورزی (خاکورز مرکب)، کاشت توسط کارنده آسکه ۳ محوره ۱۱ ردیفه (مدل ۲۲۰۰) و بر اساس دستورالعمل مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، در تاریخ ۲۵ آبان ۱۴۰۳ و ۲۸ آبان ۱۴۰۵ با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و عمق ۶ سانتی‌متر سانتی‌متر کشت شد. آرایش کاشت به‌صورت جفت‌ردیف با فاصله بین ردیف‌های ۱۷/۵ سانتی‌متر در هر جفت‌ردیف و فاصله ۵۳ سانتی‌متر بین جفت‌ردیف‌های مجاور بود (آرایش ۵۳–۱۷/۵ سانتی‌متر). ابعاد هر یک از کرت‌ها ۵۰×۳۰ متر بود. مبارزه با علف‌های هرز یک مرتبه در اواسط مرحله رویشی نخود و به‌روش وجین دستی انجام شد. محلول‌پاشی با حجم محلول‌پاشی ۴۰۰ لیتر در هکتار با استفاده از سمپاش پشتی و بر اساس غلظت توصیه‌شده شرکت سازنده انجام شد. مشخصات و غلظت مصرفی کودهای آلی و شیمیایی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات ترکیبات آلی و شیمیایی مورد استفاده

Table 2. Characteristics of the used organic and chemical compounds

Fertilizer type	Brand name	Company	Application rate (%)	Total N (%)	Organic C (%)	Main active ingredients (%)	Other compounds (%)
Amino acid	Fermolife	Baharan	0.2	15	35	Total amino acid: 80; Free amino acid: 12	—
Seaweed extract	Plants Choice	Plants Choice	0.4	1.8	34.3	*Ascophyllum nodosum*: 80; Alginic acid: 28.9	Soluble K_2O: 12.5; Available P_2O_5: 1.85
Humic acid	Plants Choice	Plants Choice	0.04	1	36	Humic acid: 60; Fulvic acid: 5	Soluble K_2O: 12
Urea + $ZnSO_4$	—	—	Urea: 3; $ZnSO_4$: 0.3	46	—	Zn: 23	S: 11
Potassium phosphite	Fermolife	Baharan	0.2	—	—	K: 30–35; P: 25–30	—

مقادیر مصرفی بر اساس ۴۰۰ لیتر محلول در هکتار محاسبه شده است. اوره و سولفات روی به‌ترتیب با غلظت ۳ و ۰/۳ درصد (حجمی/حجمی) مصرف شدند. فسفیت پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد (حجمی/حجمی) مصرف شد. —: نامرتبط یا توسط سازنده گزارش نشده است.

Amounts applied were calculated based on 400 L of spray solution ha^{-1}. Urea and zinc sulfate were applied at 3% and 0.3% (v/v), respectively. Potassium phosphite was applied at 0.2% (v/v). —: not applicable or not reported by the manufacturer.

در زمان برداشت، ردیف‌های کناری هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد و نمونه‌برداری فقط از ردیف‌های میانی و با حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت انجام شد. نمونه‌برداری از بوته‌ها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و به‌صورت دستی (کف‌بر) انجام شد. پس از برداشت، ارتفاع بوته، عملکرد کل ماده خشک گیاه، عملکرد دانه، وزن صددانه، شاخص برداشت و بهره‌وری بارندگی (RUE[1]) تعیین شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد کل ماده خشک گیاه و بهره‌وری بارندگی از تقسیم عملکرد دانه بر مجموع نزولات آسمانی سال زراعی محاسبه شد. علاوه‌بر آن، تحلیل اقتصادی نیز بر پایه روش بودجه‌بندی جزئی انجام شد که در آن فقط هزینه‌ها و درآمدهایی که تحت‌تأثیر تیمار تغییر می‌کنند، در مقایسه با شاهد در نظر گرفته می‌شوند (CIMMYT, 1988). از این‌رو، برخی از شاخص‌های اقتصادی شامل تغییر عملکرد دانه (ΔGY)، تغییر درآمد ناخالص (ΔGR)، هزینه متغیر اضافی (IVC)، سود خالص اضافی (INB) و نسبت سود به هزینه (MBCR) به ترتیب با استفاده از روابط (۱) تا (۵) محاسبه شد.

$$\Delta GY = GY_t - GY_c$$ رابطه (۱)

$$\Delta GR = \Delta GY \times P$$ رابطه (۲)

$$IVC = \sum_{i=1}^{n} (C_i)$$ رابطه (۳)

$$INB = \Delta GR - IVC$$ رابطه (۴)

[1] Rainfall Use Efficiency

رابطه (۵) $MBCR=INB/IVC = (\Delta GR-IVC)/IVC$

که در این روابط:

ΔGY: تغییر عملکرد دانه نسبت به شاهد ($kg\ ha^{-1}$)

GY_t: عملکرد دانه در هر تیمار ($kg\ ha^{-1}$)

GY_c: عملکرد دانه در تیمار شاهد ($kg\ ha^{-1}$)

ΔGR: تغییر درآمد ناخالص ($Rial\ ha^{-1}$)

P: قیمت فروش نخود دیم ($Rial\ ha^{-1}$)

IVC: هزینه متغیر اضافی ($Rial\ ha^{-1}$)

C_i: هزینه کود ($Rial\ ha^{-1}$)

INB: کود خالص اضافی ($Rial\ ha^{-1}$)

MBCR: نسبت سود خالص افزوده به هزینه متغیر افزوده نسبت به شاهد

قیمت دانه نخود و ترکیبات آلی و شیمیایی مورد استفاده در دو سال مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- قیمت نخود و ترکیبات آلی و شیمیایی مورد استفاده در دو سال مورد مطالعه

Table 3. Prices of chickpea and the organic and chemical compounds used in the two study years

Item	Price (Rial kg^{-1} or Rial L^{-1})	
	2024-2025	2025-2026
Chickpea grain	1850000	2100000
Urea	137500	310000
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	20000000	24000000
Potassium phosphite	7686000	10425000
Amino acid	20000000	25000000
Seaweed extract	20000000	36000000
Humic acid	20000000	25000000

فسفیت پتاسیم به صورت مایع و سایر کودها به صورت پودری مصرف شدند؛ بنابراین قیمت فسفیت پتاسیم بر حسب ریال بر لیتر و قیمت سایر کودها بر حسب ریال بر کیلوگرم محاسبه شده است.

Potassium phosphite was applied as a liquid, while the other fertilizers were applied as powders; therefore, the price of potassium phosphite is expressed in Rial per liter (Rial L^{-1}), whereas the prices of the other fertilizers are expressed in Rial per kilogram (Rial kg^{-1}).

تجزیه واریانس داده‌های سال اول به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و داده‌های سال دوم (محلول‌پاشی در مرحله رویشی) به‌صورت تجزیه مرکب دو ساله در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS ویرایش 9.4 انجام

شد. قبل از تجزیه مرکب، همگنی واریانس خطاها با آزمون‌های بارتلت[1] و لیون[2] بررسی شد. نتایج آزمون بارتلت و لیون نشان داد که واریانس‌های خطا برای همه صفات مورد بررسی همگن هستند ($P > 0.05$). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

اثر زمان محلول‌پاشی در سال اول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر عملکرد کل ماده خشک، عملکرد دانه، ارتفاع بوته و بهره‌وری بارندگی داشت، ولی اثر آن بر شاخص برداشت و وزن صددانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). اثر نوع محلول‌پاشی نیز فقط بر عملکرد ماده خشک معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل زمان محلول‌پاشی × نوع محلول‌پاشی در هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نشد (جدول ۴) که نشان می‌دهد اثر زمان محلول‌پاشی مستقل از نوع محلول بوده و انتخاب بهترین زمان، مستقل از نوع کود امکان‌پذیر است.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات نخود دیم تحت‌تأثیر زمان و نوع محلول‌پاشی در سال زراعی اول

Table 4- Analysis of variance (mean squares) of rainfed chickpea traits as affected by time and type of foliar spraying in the first growing season

S.O.V.	df	Biomass	Grain yield	HI	Plant height	100Grain weight	RUE
Block	2	45786ns	9671ns	2.80ns	1.85ns	2.89ns	0.08ns
Foliar application stage (A)	2	366562**	82846**	8.02ns	12.46*	2.39ns	0.71**
Error a	4	37656	6118	2.35	2.85	0.36	0.05
Foliar treatment (B)	5	50876*	9627ns	9.10ns	2.52ns	1.32ns	0.08ns
A×B	10	24704ns	5947ns	6.28ns	3.82ns	2.01ns	0.05ns
Error b	30	19558	5047	4.37	2.32	1.74	0.04
CV (%)		8.5	10.9	5.3	4.6	3.8	10.9

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد. تیمارهای محلول‌پاشی شامل اوره + سولفات روی، فسفیت پتاسیم، اسید آمینه، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی و شاهد (محلول‌پاشی با آب) بودند.

ns, * and ** indicate non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. Foliar treatments included urea + zinc sulfate, potassium phosphite, amino acid, humic acid, seaweed extract, and control (foliar application with water).

مقایسه میانگین اثر زمان محلول‌پاشی نشان داد که محلول‌پاشی در مرحله رویشی، بیش‌ترین عملکرد کل ماده خشک (۱۸۰۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری بارندگی (۲/۱ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) را داشت و اختلاف آن با مراحل گلدهی و رویشی + گلدهی معنی‌دار بود (جدول ۵). در مقابل، محلول‌پاشی در مرحله رویشی + گلدهی بالاترین

[1] Bartlett
[2] Levene

ارتفاع بوته (۳۴ سانتی‌متر) را نشان داد، اگرچه اختلاف آن با مرحله رویشی (۳۳ سانتی‌متر) معنی‌دار نبود و فقط با مرحله گلدهی (۳۲ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌دار داشت. شاخص برداشت و وزن صددانه در هیچ‌یک از مراحل محلول‌پاشی اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۵).

برتری مرحله رویشی در افزایش عملکرد ماده خشک و دانه را می‌توان به نقش کلیدی این مرحله در استقرار گیاه، توسعه ریشه و افزایش سطح فتوسنتزی گیاه نسبت داد. در شرایط دیم سردسیر، گیاه در اوایل فصل رشد با تنش‌های سرمایی و محدودیت رطوبت مواجه است؛ بنابراین، تأمین عناصر غذایی از طریق محلول‌پاشی در این مرحله می‌تواند به تقویت رشد رویشی، افزایش سطح برگ و در نتیجه، افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تولید ماده خشک کمک کند. در مقابل، محلول‌پاشی در مرحله گلدهی یا مراحل بعدی، به‌دلیل محدودیت رطوبت انتهای فصل و کاهش توان بازیابی گیاه، اثر کمتری بر عملکرد داشته است. در این رابطه، پالتا و همکاران (Palta et al., 2005) در بررسی نخود تحت تنش خشکی انتهای فصل گزارش کردند که محلول‌پاشی اوره (معادل ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در مرحله ظهور اولین گل و ۵۰ درصد گلدهی، عملکرد و پروتئین دانه را افزایش داد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در بوته با کاربرد اوره در این مراحل ۴۰ درصد افزایش یافت. همچنین محلول‌پاشی پیش از گلدهی، ۲۰ درصد زیست‌توده بیشتری در زمان رسیدگی ایجاد کرد؛ این نتیجه نشان می‌دهد که رشد پیش از بروز کمبود آب، می‌تواند ذخایر کربنی لازم برای پرشدن دانه را در شرایط خشکی انتهای فصل فراهم کند. در مقابل، محلول‌پاشی اوره در مرحله ۵۰ درصد تشکیل غلاف و پایان غلاف‌دهی بر عملکرد و پروتئین دانه اثر معنی‌دار نداشت، زیرا با پیشرفت تنش خشکی و پیری برگ‌ها، جذب نیتروژن محدود شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد که مؤثرتر بودن محلول‌پاشی در مراحل اولیه را به فراهم بودن رطوبت و توان جذب برگ پیش از تشدید تنش نسبت می‌دهد. خان و همکاران (Khan et al., 2026a) نیز گزارش کردند که کاربرد برگی ماده زیست‌محرک حاوی اسیدهای آمینه در مرحله شروع گلدهی، ارتفاع بوته را نسبت به شاهد افزایش داد. کاهش بهره‌وری بارندگی در مراحل گلدهی و رویشی + گلدهی نیز نشان می‌دهد که محلول‌پاشی در این مراحل نتوانسته است افزایش عملکرد دانه را متناسب با مصرف آب افزایش دهد، در حالی که در مرحله رویشی، افزایش عملکرد دانه منجر به بهبود بهره‌وری بارندگی شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر زمان محلول‌پاشی بر صفات زراعی نخود دیم در سال زراعی اول

Table 5- Mean comparison of the effect of foliar spraying time on agronomic traits of rainfed chickpea in the first growing season

Stage	Biomass (kg ha^{-1})	Grain Yield (kg ha^{-1})	Plant height (cm)	RUE (kg ha^{-1} mm^{-1})
Vegetative	1805a	731a	33ab	2.1a
Flowering	1557b	619b	32b	1.8b

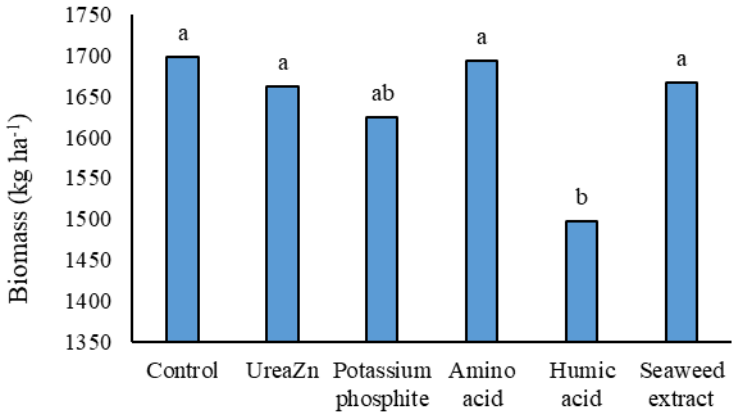
Vegetative + Flowering	1559b	608b	34a	1.8b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (آزمون LSD) است.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level (LSD test).

اثر نوع محلول‌پاشی در سال اول

نتایج مقایسه میانگین اثر نوع محلول‌پاشی نشان داد که از میان شش تیمار مورد بررسی، تنها عملکرد کل ماده خشک تحت‌تأثیر معنی‌دار قرار گرفت، به‌طوری‌که تیمار اسید هیومیک با ۱۴۹۷ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار ماده خشک را به‌خود اختصاص داد (شکل **Error! Reference source not found.**۲). در مقابل، تیمارهای شاهد (۱۶۹۹ کیلوگرم در هکتار)، اسید آمینه (۱۶۹۳ کیلوگرم در هکتار)، عصاره جلبک دریایی (۱۶۶۷ کیلوگرم در هکتار)، اوره + سولفات روی (۱۶۶۳ کیلوگرم در هکتار) و فسفیت پتاسیم (۱۶۲۴ کیلوگرم در هکتار) در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. سایر صفات شامل عملکرد دانه، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، وزن صددانه و بهره‌وری بارندگی در سال اول تحت‌تأثیر معنی‌دار نوع محلول‌پاشی قرار نگرفتند (شکل **Error! Reference source not found.**۲). پالتا و همکاران (Palta et al., 2005) نشان دادند که در نخود تحت تنش خشکی انتهای فصل، محلول‌پاشی اوره در مرحله زایشی (۵۰ درصد تشکیل غلاف و پایان غلاف‌دهی) بر عملکرد دانه اثری نداشت؛ زیرا با گسترش تنش خشکی و پیری برگ‌ها جذب نیتروژن محدود می‌شود. این موضوع می‌تواند بخشی از دلیل واکنش محدود صفات به نوع محلول‌پاشی در سال خشک (با بارش ۲۸۰ میلی‌متر) باشد. در مورد اسید هیومیک، گزارش شده است که کاربرد خاکی اسید هیومیک تجمع زیست‌توده را در شرایط تنش دیم افزایش نداد (Husamalddin et al., 2026). در مقابل، آرمین و مسلحی (Armin and Moslehi, 2012) در نخود رقم هاشم گزارش کردند که محلول‌پاشی ۲، ۴ و ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک در مرحله گلدهی بیشترین اثر را بر عملکرد زیستی داشته و بیشترین مقدار این صفات با محلول‌پاشی ۶ لیتر در هکتار به‌دست آمد. تفاوت این نتیجه با یافته پژوهش حاضر (کمترین ماده خشک در تیمار اسید هیومیک) می‌تواند به تفاوت در مقدار مصرف، ترکیب محصول تجاری، مرحله محلول‌پاشی و شرایط رطوبتی مرتبط باشد.



شکل ۲. مقایسه میانگین اثر نوع محلول‌پاشی بر کل ماده خشک نخود دیم در سال زراعی اول

Figure 2. Mean comparison of the effect of foliar spraying type on biomass of rainfed chickpea in the first growing season

عدم معنی‌داری اثر نوع محلول‌پاشی بر عملکرد دانه در سال اول را می‌توان به شرایط خشک این سال نسبت داد. مجموع بارندگی سال اول حدود ۲۸۰ میلی‌متر بود که به‌طور محسوس کمتر از میانگین بلندمدت منطقه (حدود ۴۶۰ میلی‌متر) است. در چنین شرایطی، محدودیت شدید رطوبت خاک، اثر محلول‌پاشی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، زیرا گیاه پیش از آنکه بتواند از عناصر و مواد محرک عرضه شده توسط محلول‌پاشی بهره ببرد، با کمبود آب مواجه است. به عبارت دیگر، در سال خشک، آب به‌عنوان عامل محدودکننده اصلی رشد عمل کرده و اثر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه کم‌رنگ می‌شود. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2000) در بررسی ۱۲ فصل زراعی نخود و عدس در شمال سوریه گزارش کردند که قوی‌ترین عامل تعیین‌کننده عملکرد دانه و مصرف آب این دو گیاه در شرایط دیم، بارندگی و توزیع آن است. همچنین خان و همکاران (Khan et al., 2003) در یک آزمایش گلخانه‌ای نشان دادند که کاربرد برگی روی در نخود، در شرایط آبیاری کافی عملکرد دانه را افزایش داد ولی تحت تنش خشکی (اعمال‌شده در مرحله غلاف‌دهی) چنین اثری نداشت. در میان تیمارها، اسید هیومیک پایین‌ترین عملکرد ماده خشک را نشان داد. غلظت پایین مصرفی اسید هیومیک (۰/۰۴ درصد) در مقایسه با سایر کودها ممکن است در کوتاه‌مدت نتواند پاسخ رشدی محسوسی ایجاد کند. در پژوهش انجام‌شده در شرایط دیم شمال عراق نیز کاربرد اسید هیومیک (به‌صورت خاکی)، تجمع زیست‌توده را در شرایط تنش دیم افزایش نداد (Husamalddin et al., 2026).

در مقابل، اگرچه تیمارهای اوره + سولفات روی و اسید آمینه از نظر عددی عملکرد دانه بالاتری (به‌ترتیب ۶۸۹ و ۶۸۴ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۶۵۶ کیلوگرم در هکتار) داشتند، این اختلاف به‌دلیل واریانس بالای خطای آزمایش در سال اول و تعداد محدود تکرارها به سطح معنی‌داری نرسید. اثربخشی این ترکیبات در سایر پژوهش‌ها گزارش شده است؛ به‌طوری‌که کاربرد توأم

سولفات روی (۰/۵ درصد)، سولفات آهن (۰/۵ درصد) و اوره (۲ درصد) در مراحل گلدهی و تشکیل غلاف، عملکرد دانه و پروتئین نخود را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Pal et al., 2021).

تجزیه مرکب دو سال

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مرحله رویشی در دو سال زراعی نشان داد که اثر سال بر تمام صفات مورد بررسی به‌جز شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۶). همچنین، اثر نوع محلول‌پاشی بر عملکرد دانه، ارتفاع بوته و بهره‌وری بارندگی معنی‌دار شد؛ در حالی که بر عملکرد ماده خشک، شاخص برداشت و وزن صددانه اثر معنی‌دار نداشت. اثر متقابل سال × نوع محلول‌پاشی در هیچ‌یک از صفات مورد مطالعه معنی‌دار نشد (جدول ۶) که نشان‌دهنده پایداری پاسخ تیمارها در دو سال با شرایط اقلیمی متفاوت است. این عدم معنی‌داری اثر متقابل، امکان تفسیر میانگین مرکب دو سال را فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که رتبه‌بندی تیمارها در سال خشک و مرطوب یکسان بوده است.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات نخود دیم تحت‌تأثیر نوع محلول‌پاشی در مرحله رویشی طی دو سال زراعی

Table 6- Combined analysis of variance (mean squares) of rainfed chickpea traits as affected by foliar spraying type at the vegetative stage over two growing seasons

S.O.V.	df	Biomass	Grain yield	HI	Plant height	100Grain weight	WUE
Year	1	772641**	139129**	1.36ns	200.69**	210.3**	0.83**
Year(Block)	4	59763	9647	4.56	1.19	5.2	0.8
Treat	5	56348ns	24240**	11.52ns	10.83*	3.2ns	0.16**
Year×Treat	5	6134ns	1079ns	3.56ns	1.63ns	0.9ns	0.02ns
Error	20	25752	3115	4.28	3.43	2.0	0.02
CV (%)		8.2	7.0	5.1	5.2	3.9	6.5

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

مقایسه میانگین اثر سال نشان داد که عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه، ارتفاع بوته و وزن صددانه در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (جدول ۷). در مقابل، بهره‌وری بارندگی در سال اول (۲/۱ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) به‌طور معنی‌دار بالاتر از سال دوم (۱/۸ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) بود و شاخص برداشت در دو سال اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). برتری معنی‌دار صفات عملکردی در سال دوم را می‌توان به بارش بیشتر (۴۶۶ در مقابل ۲۸۰ میلی‌متر) و توزیع مطلوب‌تر آن، به‌ویژه بارش‌های بهاره نسبت داد. در سال دوم، بارش فروردین و اردیبهشت به‌ترتیب ۱۰۸ و ۶۶ میلی‌متر بود، در حالی که این مقادیر در سال اول به‌ترتیب ۳۷ و ۹۲ میلی‌متر ثبت شد. بارش مناسب در اوایل فصل رشد، استقرار بهتر گیاه، توسعه بیشتر ریشه و افزایش

سطح برگ را به‌همراه داشت که در نهایت به افزایش بیومس، ارتفاع بوته و وزن صددانه منجر شد. افزایش وزن صددانه در سال دوم نشان می‌دهد که گیاه در شرایط رطوبتی مطلوب‌تر، توانسته است دوره پرشدن دانه را طولانی‌تر و کامل‌تر طی کند، در حالی که در سال اول، تنش خشکی انتهای فصل، پرشدن دانه را محدود کرده است. این یافته با گزارش‌های پیشین هم‌سو است؛ چنان‌که در مطالعه‌ای بر روی نخود تحت تنش خشکی، اندازه دانه در غلاف‌هایی که دیرتر تشکیل شدند، به‌شدت کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در دو ژنوتیپ مورد بررسی، وزن دانه در تیمار تنش به ۴۲ و ۵۷ درصد گیاهان آبیاری‌شده رسید (Pang et al., 2017b). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی در زمان پرشدن دانه در چندین گیاه خانواده لگوم به کاهش شدید عملکرد دانه منجر می‌شود و در نخود، دانه‌های تولیدشده تحت تنش خشکی از درصد و سرعت جوانه‌زنی کمتری برخوردارند (Sehgal et al., 2018). در مقابل، بالاتر بودن بهره‌وری بارندگی در سال اول را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که در شرایط خشک، گیاه آب محدود را با کارایی بالاتری استفاده کرده است. در سال اول، با وجود عملکرد دانه کمتر، نسبت عملکرد به آب دریافتی بالاتر بود، زیرا احتمالاً تلفات آب از طریق تبخیر سطحی و تعرق کاهش یافته و گیاه توانسته است آب موجود را به‌طور مؤثرتری به ماده خشک تبدیل کند. این پدیده در مناطق دیم سردسیر که تبخیر-تعرق در اوایل فصل رشد پایین است، بیشتر مشاهده می‌شود. در سال دوم، با وجود بارش بیشتر و عملکرد بالاتر، بهره‌وری بارندگی کاهش یافت، زیرا احتمالاً بخشی از آب دریافتی از طریق تبخیر سطحی و رواناب هدر رفته و گیاه نتوانسته به‌طور کامل از آن بهره ببرد. این نتیجه نشان می‌دهد که افزایش بارش لزوماً به افزایش بهره‌وری بارندگی منجر نمی‌شود. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2000) در بررسی نخود و عدس گزارش کردند که تبخیر-تعرق فصلی با بارندگی فصلی همبستگی معنی‌دار داشت و آبیاری تکمیلی در فصل‌های مرطوب، افزایش عملکرد کمتری نسبت به فصل‌های خشک ایجاد کرد. این نتایج نشان می‌دهد که آب اضافی در سال‌های مرطوب، بازده کمتری در تولید دانه دارد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر سال زراعی بر صفات نخود دیم در محلول پاشی مرحله رویشی، تجزیه مرکب دو سال

Table 7- Mean comparison of the effect of growing season on rainfed chickpea traits (vegetative stage, combined analysis of two years)

Year	Biomass (kg ha^{-1})	Grain Yield (kg ha^{-1})	Harvest index (%)	Plant height (cm)	100Grain weight (g)	RUE (kg ha^{-1} mm^{-1})
2024-2025	1805b	731b	40	33b	34b	2.1a
2025-2026	2098a	855a	41	38a	39a	1.8b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (آزمون LSD) است.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level (LSD test).

مقایسه میانگین مرکب اثر نوع محلول‌پاشی در دو سال نشان داد که تیمارهای اوره + سولفات روی و اسید آمینه با عملکرد دانه ۸۷۳ کیلوگرم در هکتار، به‌طور معنی‌دار برتر از شاهد (۷۴۴ کیلوگرم در هکتار)، فسفیت پتاسیم (۷۷۰ کیلوگرم در هکتار)، اسید هیومیک (۷۳۴ کیلوگرم در هکتار) و عصاره جلبک دریایی (۷۶۲ کیلوگرم در هکتار) بودند (جدول ۸). از نظر ارتفاع بوته نیز، اوره + سولفات روی (۳۸ سانتی‌متر) بالاترین مقدار را داشت و اسید آمینه (۳۶ سانتی‌متر) در گروه میانی قرار گرفت. بهره‌وری بارندگی نیز در تیمارهای اوره + سولفات روی و اسید آمینه (۲/۲ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) به‌طور معنی‌دار بیشتر از سایر تیمارها (۱/۸ تا ۱/۹ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر) بود. برتری تیمار اوره + سولفات روی را می‌توان به نقش دوگانه نیتروژن و روی در رشد و نمو نخود نسبت داد. اوره به‌سرعت از طریق برگ جذب می‌شود و نیتروژن در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و نقش کلیدی در سنتز پروتئین‌ها، کلروفیل و آنزیم‌های فتوسنتزی دارد. پالتا و همکاران (Palta et al., 2005) با استفاده از اوره نشان‌دار (^{15}N) نشان دادند که نخود، نیتروژن محلول‌پاشی‌شده را جذب و مصرف می‌کند و محلول‌پاشی اوره در مرحله اولین گل و ۵۰ درصد گلدهی، عملکرد و پروتئین دانه را افزایش داده است. در شرایط دیم نیز محلول‌پاشی برگی عناصر پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف (بور و روی) در مرحله شروع گلدهی، رشد، عملکرد و کیفیت نخود را به‌طور معنی‌دار بهبود داده؛ این اثر به نقش روی به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های متابولیسم نیتروژن و سنتز اکسین نسبت داده شده است (Khan et al., 2026b). همچنین محلول‌پاشی توأم سولفات روی (۰/۵ درصد) و اوره (۲ درصد) همراه با سولفات آهن در مراحل گلدهی و تشکیل غلاف، عملکرد دانه و پروتئین نخود را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش داد (Pal et al., 2021). در شرایط دیم که جذب عناصر از خاک به‌دلیل محدودیت رطوبت و دمای پایین خاک کاهش می‌یابد، محلول‌پاشی این عناصر می‌تواند کمبود را جبران کرده و به بهبود رشد و عملکرد گیاه کمک کند. برتری اسید آمینه را نیز می‌توان به نقش آن در تأمین مستقیم اسیدهای آمینه، افزایش سنتز پروتئین، کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود جذب عناصر غذایی نسبت داد. خالصی و همکاران (Khalesi et al., 2023) در پژوهشی دوساله اظهار داشتند محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (پرولین، والین، آلانین) تحت رژیم‌های آبیاری، عملکرد دانه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و شاخص‌های تبادل گازی نخود را به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار داده و در شرایط کم‌آبی عملکرد را بهبود بخشیده است. همچنین گزارش شده محلول‌پاشی زیست‌محرک حاوی اسیدهای آمینه در نخود دیم، سطح برگ، کلروفیل و ارتفاع بوته را افزایش داد (Khan et al., 2026a). اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازهای هورمون‌های گیاهی و ترکیبات دفاعی، می‌توانند در شرایط تنش خشکی و سرمایی، مقاومت گیاه را افزایش دهند و از این طریق به بهبود عملکرد کمک کنند. در مقابل، ضعف اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی در این آزمایش را می‌توان به غلظت پایین مصرفی، زمان‌بر بودن تجزیه اسید هیومیک در شرایط سرد و ترکیبات پیچیده عصاره جلبک نسبت داد.

جدول ۸- مقایسه میانگین مرکب اثر نوع محلول‌پاشی بر صفات نخود دیم در دو سال زراعی (مرحله رویشی)

Table 8- Combined mean comparison of the effect of foliar spraying type on rainfed chickpea traits over two growing seasons (vegetative stage)

Treat	Grain Yield (kg ha^{-1})	Plant height (cm)	RUE (kg ha^{-1} mm^{-1})
Control	744b	36b	1.9b
UreaZn	873a	38a	2.2a
Potassium phosphite	770b	36bc	1.9b
Amino acid	873a	36ab	2.2a
Humic acid	734b	35bc	1.8b
Seaweed extract	762b	34c	1.9b

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (آزمون LSD) است.

Means within each column followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level (LSD test).

تحلیل اقتصادی تیمارهای محلول‌پاشی در دو سال زراعی

نتایج تحلیل اقتصادی نشان داد که سوددهی تیمارهای محلول‌پاشی به‌شدت تحت‌تأثیر مرحله محلول‌پاشی و شرایط اقلیمی سال قرار گرفت (جدول ۹). در سال اول (۱۴۰۴-۱۴۰۳)، در مرحله رویشی، تیمارهای اسید آمینه و اوره + سولفات روی به‌ترتیب با سود خالص اضافی ۲۴۹,۱۷۵,۰۰۰ و ۲۱۸,۲۴۱,۶۶۷ ریال در هکتار و نسبت سود به هزینه (MBCR) برابر با ۱۲/۵ و ۸/۵، سودده‌ترین تیمارها بودند. پس از آن‌ها، فسفیت پتاسیم با سود خالص ۶۴,۶۲۹,۳۳۳ ریال و MBCR برابر با ۵/۶ قرار گرفت. در مقابل، اسید هیومیک با سود خالص منفی (۵۶,۸۰۴,۱۶۷- ریال) و عصاره جلبک دریایی با سود خالص منفی (۱۰,۲۶۶,۶۶۷- ریال) در مرحله رویشی زیان‌ده بودند و MBCR برای آن‌ها گزارش نشد. در مرحله گلدهی سال اول، تنها تیمار عصاره جلبک دریایی با سود خالص ۲۴,۸۸۳,۳۳۳ ریال و MBCR برابر با ۰/۸ سودده بود، هرچند MBCR کمتر از ۱ نشان‌دهنده بازدهی پایین این تیمار است. سایر تیمارها در مرحله گلدهی زیان‌ده بودند. در مرحله رویشی + گلدهی سال اول، همه تیمارها زیان‌ده بودند که نشان می‌دهد محلول‌پاشی در دو مرحله، به‌دلیل افزایش هزینه‌های متغیر (نزدیک به دو برابر) و عدم افزایش متناسب عملکرد دانه، توجیه اقتصادی ندارد. خان و همکاران (Khan et al., 2026a) گزارش کردند که محلول‌پاشی ماده زیست‌محرک حاوی اسیدهای آمینه در نخود، درآمد ناخالص، سود خالص و نسبت منفعت به هزینه را نسبت به شاهد افزایش داد و اقتصادی‌ترین تیمار، محلول‌پاشی در مرحله شروع گلدهی بود. با این حال، در آن پژوهش، تیمار محلول‌پاشی در دو مرحله (شروع گلدهی + شروع غلاف‌دهی) پس از تیمار شروع گلدهی، دومین تیمار سودده بود؛ این تفاوت نشان می‌دهد که توجیه اقتصادی محلول‌پاشی چندمرحله‌ای به قیمت ماده مصرفی و میزان افزایش عملکرد در هر شرایط بستگی دارد.

در سال دوم (۱۴۰۵-۱۴۰۴) که محلول‌پاشی فقط در مرحله رویشی انجام شد، تیمارهای اوره + سولفات روی و اسید آمینه به‌ترتیب با سود خالص ۲۳۲,۲۲۰,۰۰۰ و ۲۱۳,۳۵۰,۰۰۰ ریال در هکتار و MBCR برابر با ۷/۱ و ۸/۵، همچنان سودده‌ترین تیمارها بودند. پس از آن‌ها، اسید هیومیک با سود خالص ۱۵,۲۹۰,۰۰۰ ریال و MBCR برابر با ۴/۱ قرار گرفت که بهبود قابل‌توجهی نسبت به سال اول نشان داد. فسفیت پتاسیم با سود خالص ۸,۵۱۲,۵۰۰ ریال و MBCR برابر با ۰/۵ و عصاره جلبک دریایی با سود خالص ۴۰,۰۰۰ ریال و MBCR نزدیک به صفر، در آستانه سربه‌سر قرار گرفتند. بهبود سوددهی اسید هیومیک در سال دوم را می‌توان به بارش بیشتر و فراهم‌شدن رطوبت کافی برای بهره‌گیری از محلول‌پاشی نسبت داد، در حالی که در سال اول خشک، این کود نتوانست اثر اقتصادی مثبتی ایجاد کند. خان و همکاران (Khan et al., 2026b) نشان دادند که محلول‌پاشی نخود دیم با یک ترکیب زیست‌محرک و عناصر پرمصرف و کم‌مصرف (روی و بور) در نخود، منفعت خالص را نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی افزایش داد، در حالی که محلول‌پاشی با آب تنها اندکی درآمد خالص در پی داشت.

مقایسه نتایج دو سال نشان داد که الگوی سوددهی تیمارها در دو سال تا حد زیادی پایدار بوده است؛ به‌طوری‌که اوره + سولفات روی و اسید آمینه در هر دو سال برترین تیمارها از نظر اقتصادی بودند. این پایداری، نتیجه‌ای مهم برای توصیه کاربردی است، زیرا نشان می‌دهد این تیمارها حتی در سال‌های با شرایط اقلیمی متفاوت، سوددهی خود را حفظ می‌کنند. در مقابل، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی عملکرد اقتصادی ناپایداری داشتند و فسفیت پتاسیم نیز در هر دو سال MBCR پایین (۵/۶ در سال اول و ۰/۵ در سال دوم) نشان داد. بنابراین، از میان تیمارهای مورد بررسی، اسید آمینه با MBCR برابر با ۱۲/۵ در سال اول و ۸/۵ در سال دوم و اوره + سولفات روی با MBCR برابر با ۸/۵ در سال اول و ۷/۱ در سال دوم، به‌عنوان بهترین گزینه‌های اقتصادی برای محلول‌پاشی نخود دیم در شرایط سردسیر مراغه معرفی می‌شوند. این تیمارها علاوه‌بر افزایش معنی‌دار عملکرد دانه (جدول ۸)، از نظر اقتصادی نیز بازدهی بالایی داشتند و در هر دو سال آزمایش پایدار بودند. در مقابل، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی به‌دلیل ناپایداری عملکرد و سوددهی پایین یا منفی و فسفیت پتاسیم به‌دلیل MBCR پایین، برای توصیه در این شرایط اولویت پایین‌تری دارند.

جدول ۹- شاخص‌های اقتصادی تیمارهای محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد نخود دیم در دو سال زراعی

Table 9- Economic indices of foliar spraying treatments at different growth stages of rainfed chickpea over two growing seasons

Year	Stage	Treatment	ΔGY (kg ha^{-1})	ΔGR (Rial ha^{-1})	IVC (Rial ha^{-1})	INB (Rial ha^{-1})	MBCR
2024-2025	Vegetative	Control	0	0	0	0	-
		UreaZn	132	243891667	25650000	218241667	8.5
		Potassium phosphite	41	76158333	11529000	64629333	5.6
		Amino acid	146	269175000	20000000	249175000	12.5
		Humic acid	-29	-53804167	3000000	-56804167	-

		Seaweed extract	11	19733333	30000000	-10266667	-
	Flowering	Control	0	0	0	0	-
		UreaZn	-14	-25283333	25650000	-50933333	-
		Potassium phosphite	-43	-79550000	11529000	-91079000	-
		Amino acid	-19	-35766667	20000000	-55766667	-
		Humic acid	-68	-126416667	3000000	-129416667	-
		Seaweed extract	30	54883333	30000000	24883333	0.8
	Vegetative + Flowering	Control	0	0	0	0	-
		UreaZn	-19	-34225000	51300000	-85525000	-
		Potassium phosphite	-45	-83558333	23058000	-106616333	-
		Amino acid	-43	-79858333	40000000	-119858333	-
		Humic acid	-73	-134741667	6000000	-140741667	-
		Seaweed extract	-67	-124258333	60000000	-184258333	-
2025-2026	Vegetative	Control	0	0	0	0	-
		UreaZn	126	264740000	32520000	232220000	7.1
		Potassium phosphite	12	24150000	15637500	8512500	0.5
		Amino acid	114	238350000	25000000	213350000	8.5
		Humic acid	9	19040000	3750000	15290000	4.1
		Seaweed extract	26	54040000	54000000	40000	≈0.0

ΔGY: تغییر عملکرد دانه نسبت به شاهد، ΔGR: درآمد ناخالص افزوده، IVC: هزینه متغیر افزوده، INB: سود خالص افزوده = ΔGR – IVC، MBCR: نسبت سود خالص افزوده به هزینه متغیر افزوده نسبت به شاهد = INB ÷ IVC = (ΔGR − IVC) ÷ IVC و مقادیر بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده آن است که درآمد ناخالص اضافی از هزینه متغیر اضافی بیشتر بوده و تیمار سود ده است. برای تیمارهای با سود خالص منفی (INB < 0)، MBCR گزارش نشد (—). در تیمار رویشی + گلدهی، هزینه متغیر اضافی (IVC) برابر مجموع هزینه‌های دو مرحله رویشی و گلدهی است. قیمت نخود و کودها بر اساس قیمت‌های واقعی بازار در سال‌های زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ و ۱۴۰۵-۱۴۰۴ محاسبه شده است. در سال زراعی دوم (۱۴۰۵-۱۴۰۴)، محلول‌پاشی فقط در مرحله رویشی انجام شد؛ لذا برای مراحل گلدهی و رویشی + گلدهی داده‌ای ارائه نشده است.

ΔGY: Change in grain yield compared to control, ΔGR: Added Gross Revenue, IVC: Incremental Variable Cost, INB: Incremental Net Benefit = ΔGR – IVC, MBCR: the ratio of incremental net benefit to incremental variable cost relative to the control = INB ÷ IVC = (ΔGR − IVC) ÷ IVC, and values greater than 1 indicate that the additional gross revenue exceeds the additional variable cost, meaning the treatment is profitable. For treatments with negative net benefit (INB < 0), MBCR was not reported (–). In the Vegetative + Flowering treatment, the incremental variable cost (IVC) is the sum of the costs of both the vegetative and flowering stages. Chickpea and fertilizer prices were based on actual market prices during the 2024–2025 and 2025–2026 growing seasons. In the second growing season (2025–2026), foliar spraying was applied only at the vegetative stage; therefore, no data are presented for the flowering and vegetative + flowering stages.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی در مرحله رویشی به‌طور معنی‌داری عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه و بهره‌وری بارندگی را در مقایسه با مراحل گلدهی و رویشی + گلدهی افزایش داد. نوع محلول‌پاشی، اگرچه در سال اول (سال کم‌بارش) تنها عملکرد ماده خشک را تحت‌تأثیر قرار داد، اما تجزیه مرکب دو سال نشان داد که تیمارهای اسید آمینه و اوره + سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه، ارتفاع بوته و بهره‌وری بارندگی را در مقایسه با شاهد و سایر تیمارها افزایش دادند؛ به‌طوری‌که میانگین عملکرد دانه در

این دو تیمار به ۸۷۳ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به شاهد (۷۴۴ کیلوگرم در هکتار) حدود ۱۷ درصد افزایش (معادل ۱۲۹ کیلوگرم در هکتار) را نشان می‌دهد. تحلیل اقتصادی نشان داد تیمارهای اسید آمینه با نسبت سود به هزینه (MBCR) برابر با ۱۲/۵ و ۸/۵ و اوره + سولفات روی با نسبت سود به هزینه (MBCR) برابر با ۸/۵ و ۷/۱ در مرحله رویشی، سودده‌ترین گزینه‌ها در هر دو سال بودند. در مقابل، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی سوددهی ناپایدار و فسفیت پتاسیم MBCR پایینی داشتند و مرحله رویشی + گلدهی به‌دلیل هزینه متغیر تقریباً دو برابر و عدم جبران آن از طریق افزایش عملکرد، توجیه اقتصادی نداشت. بنابراین، محلول‌پاشی با اسید آمینه یا اوره + سولفات روی در مرحله رویشی به‌عنوان یک راهکار مدیریتی مؤثر و اقتصادی برای افزایش عملکرد دانه و بهره‌وری بارندگی نخود دیم در شرایط سردسیر می‌تواند توصیه شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله بر اساس نتایج حاصل از پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور با کد ۰۳۲-۰۳۰۹۵۰-۱۵-۱۵-۲ تهیه شده است. بدین‌وسیله از حمایت مالی و فراهم‌کردن امکانات پژوهشی این مؤسسه قدردانی می‌شود.

منابع

Armin, M., & Moslehi, J. (2012). Yield and yield components response of chickpea to time and different levels of humic acid foliar application. *Modern Science of Sustainable Agriculture*, *8*(4), 1–9. [In Persian]

Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 39–48. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012

Berger, J. D., Turner, N. C., Siddique, K. H. M., Knights, E. J., Brinsmead, R. B., Mock, I., Edmondson, C., & Khan, T. N. (2007). Ecogeographic and evolutionary approaches to improving adaptation of autumn-sown chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: The search for reproductive chilling tolerance. *Field Crops Research, 104*(1–3), 112–122. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.021

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil, 383*(1–2), 3–41. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 15–27. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013

Chaghazardi, H. R., Jahansouz, M. R., Ahmadi, A., & Gorji, M. (2016). Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rainfed conditions in western Iran. *Soil and Tillage Research, 162*, 26–33. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.04.010

Das, S. K., & Jana, K. (2016). Effect of seed hydro-priming and urea spray on yield parameters, yield and quality of lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Legume Research, 39*(5), 830–833. https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.9289

Dane, J. H., & Topp, C. G. (Eds.). (2002). *Methods of Soil Analysis: Part 4—Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.

Fernández, V., & Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences, 28*(1–2), 36–68. https://doi.org/10.1080/07352680902743069

Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology, 131*(3), 872–877. https://doi.org/10.1104/pp.017004

Husamalddin, A. H., Krusk, A. S. A., Mahmood, B. J., & Eryiğit, T. (2026). Seed nutritional quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as influenced by rice husk form and humic acid rate under rainfed conditions in northern Iraq. *MAS Journal of Applied Sciences, 11*(3), 626–642. https://www.masjaps.com/index.php/mas/article/view/831

Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition, 108*(S1), S11–S26. https://doi.org/10.1017/S0007114512000797

Kayan, N., Kutlu, I., & Ayter, N. G. (2019). The effect of foliar application of urea and zinc on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Mediterranean conditions. *Legume Research, 42*(5), 672–677. https://doi.org/10.18805/LR-4106

Khalesi, A., Mousavi Mirkalaeia, S. A., Modarres Sanavy, S. A. M., Eftekhari, A., & Moghadam, M. N. (2023). Effect of foliar application of amino acids on grain yield and physiological traits of chickpea under drought stress. *Gesunde Pflanzen, 75*(5), 1705–1718. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00821-0

Khan, H. R., McDonald, G. K., & Rengel, Z. (2003). Zn fertilization improves water use efficiency, grain yield and seed Zn content in chickpea. *Plant and Soil, 249*, 389–400. https://doi.org/10.1023/A:1022808323744

Khan, M. A. B., Asif, M., Javaid, M. M., Rasheed, M., Ercisli, S., Alrefaei, A. F., … Ali, M. M. (2026a). Foliar bio-stimulant application at flower initiation optimizes chickpea productivity and grain quality in rainfed environments. *BMC Plant Biology, 26*(1), 641. https://doi.org/10.1186/s12870-026-08129-1

Khan, M. A. B., Ghafoor, A., Asif, M., Iqbal, M. M., Munir, M., Abdel-Banat, B. M., … Waheed, H. (2026b). Synergistic effects of bio-stimulant and nutrient application on growth, yield, and grain quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under rain-fed environment. *RSC Advances, 16*(26), 24066–24079. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC13154779/

Pal, V., Singh, G., & Dhaliwal, S. S. (2019). Yield enhancement and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grain with iron and zinc through foliar application of ferrous sulfate and urea. *Journal of Plant Nutrition, 42*(15), 1789–1802. https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648675

Pal, V., Singh, G., & Dhaliwal, S. S. (2021). A new approach in agronomic biofortification for improving zinc and iron content in chickpea (*Cicer arietinum* L.) grain with simultaneous foliar application of zinc sulphate, ferrous sulphate and urea. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*(2), 883–896. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00408-0

Palta, J. A., Nandwal, A. S., Kumari, S., & Turner, N. C. (2005). Foliar nitrogen applications increase the seed yield and protein content in chickpea (*Cicer arietinum* L.) subject to terminal drought. *Australian Journal of Agricultural Research, 56*(2), 105–112. https://doi.org/10.1071/AR04118

Pang, J., Turner, N. C., Du, Y. L., Colmer, T. D., & Siddique, K. H. M. (2017a). Pattern of water use and seed yield under terminal drought in chickpea genotypes. *Frontiers in Plant Science, 8*, Article 1375. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01375

Pang, J., Turner, N. C., Khan, T., Du, Y.-L., Xiong, J.-L., Colmer, T. D., Devilla, R., Stefanova, K., & Siddique, K. H. M. (2017b). 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.

Rehman, S. U., Ahmed, U., Zahoor, A., Rahman, Z. U., Ullah, I., Khan, S., Ali, R., Jafar, O. M., Taimoor, M., Sohail, A., & Ali, S. (2024). Foliar zinc and soil applied molybdenum optimize yield and dry matter partitioning of lentil. *Journal of Applied Life Sciences and Environment, 57*(1), 123–136. https://doi.org/10.46909/alse-571127

Ryan, J., Rashid, A., Torrent, J., Yau, S. K., Ibrikci, H., Sommer, R., & Erenoglu, E. B. (2013). Micronutrient constraints to crop production in the Middle East–West Asia region: Significance, research, and management. *Advances in agronomy, 122*, 1-84. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00001-2

Saeed, A., Kanouni, H., Sabbaghpour, S. H., Farayedi, Y., Mahdiyie, H., Mahmudi, F., Ashrafi, J., Kheirghu, M., Abdolazimzadeh, R., Piruti, M., Alipour, O., Kokia, A. A., & Sadeghzadeh Ahari, D. (2018). New chickpea variety Ana, suitable for autumn planting in temperate and cold regions at dryland conditions. *Pulse Crops Extension Journal*, *1*(2, Special issue), 1–16. [In Persian]

Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H. M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., HanumanthaRao, B., Nair, R. M., Prasad, P. V. V., & Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science, 9*, Article 1705. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705

CIMMYT. (1988). *From agronomic data to farmer recommendations: An economics training manual* (Completely revised ed.). CIMMYT, Mexico, D.F.

Soltani, A., Hajjarpoor, A., & Vadez, V. (2016). Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research, 185*, 21–30. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.10.015

Soltani, A., Sinclair, T. R., Robertson, M. J., & Torabi, B. (2012). Modeling chickpea growth and development, water use and yield under drought conditions. *Field Crops Research, 128*, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.002

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (1996). *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods*. John Wiley & Sons.

Zhang, H., Pala, M., Oweis, T., & Harris, H. (2000). Water use and water-use efficiency of chickpea and lentil in a Mediterranean environment. *Australian Journal of Agricultural Research, 51*(3), 295–304. https://doi.org/10.1071/AR99059

Zhang, J., Wang, J., Zhu, C., Singh, R. P., & Chen, W. (2024). Chickpea: Its origin, distribution, nutrition, benefits, breeding, and symbiotic relationship with *Mesorhizobium* species. *Plants, 13*(3), 429. https://doi.org/10.3390/plants13030429

پیش از انتشار