



University of Tehran Press

Foliar Application of Iron, Urea, and Amino Acids on Yield and Yield Components of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Irrigation Withholding during the Reproductive StageSajad Saedi¹ | Seyed Ali Mohammad Modarres-Sanavy² | Ali Heidarzadeh³ | Hossein Sabourifard⁴ 1. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: saedi.s@modares.ac.ir.2. Corresponding Author, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: modaresa@modares.ac.ir.3. Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir.4. Department of Agricultural Science, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran. E-mail: hosseinsabourifard@gmail.com.**Article Info****Article type:**

Research Article

Article history:

Received: May 25, 2025

Revised: June 26, 2025

Accepted: July 12, 2025

Extended Abstract

Introduction. Drought is widely regarded as one of the most critical abiotic stresses that can substantially impair plant growth and productivity, posing a significant threat to global food security. It can lead to a reduction in crop yield by as much as 70%, depending on the intensity, duration, and timing of the stress. The mechanisms through which drought stress affects plants include interference with the uptake and translocation of nutrients, induction of oxidative stress via the overproduction of reactive oxygen species (ROS), and disturbance of vital physiological and biochemical processes such as photosynthesis, stomatal conductance, and carbohydrate metabolism. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), an oilseed crop characterized by its considerable adaptability to water-deficit conditions, is not immune to such stresses. Particularly during the reproductive phase, drought can cause significant declines in seed yield and associated agronomic traits. In recent years, foliar application of nutrients has gained attention as a potentially efficient and practical approach to enhance plant tolerance to drought, especially in agro-ecological zones like Iran, where water scarcity and nutrient-poor soils often coexist. Among the foliar nutrients, iron, urea, and amino acids have shown promise in enhancing plant resilience against environmental stresses, due to their roles in improving nutrient use efficiency, activating antioxidant defense mechanisms, supporting protein and enzyme synthesis, and ultimately improving growth and yield performance.

Materials and Methods. To investigate the potential of foliar-applied nutrients in alleviating the negative effects of drought stress, a comprehensive field experiment was conducted during the 2022–2023 growing season at the research farm of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. The experimental design was a split-plot arrangement within a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot factor consisted of three irrigation regimes: (i) full irrigation throughout the season with no water restriction, (ii) water deficit imposed from the onset of the flowering stage (representing early drought stress), and (iii) water deficit imposed from the beginning of the seed-filling stage (representing late drought stress). The subplot factor included nine foliar spray treatments: (1) 6% iron chelate, (2) 1% urea solution, (3) commercial amino acid solution at 1 g L⁻¹, (4) iron + urea, (5) iron + amino acid, (6) urea + amino acid, (7) iron + urea + amino acid (triple combination), (8) distilled water spray (as a spraying control), and (9) no foliar spray (as a negative control). A wide range of morphological and yield-related traits were measured to evaluate the effects of treatments. These traits included plant height, capitulum diameter and length, number of capitula per plant, number of seeds per capitulum, 1000-seed weight, biological yield, straw yield, grain yield, and harvest index.

Results and Discussion. The results showed that drought stress significantly affected several yield components, most notably the capitulum dimensions. Capitulum length and diameter were particularly sensitive to water stress. The maximum capitulum length (65.17 mm) was recorded under late drought stress (with water withheld during the grain-filling stage), indicating that safflower plants tend to elongate floral structures under mild terminal drought conditions. In contrast, the minimum capitulum length (41.16 mm) was observed under early drought stress imposed at the flowering stage. Similarly, the highest capitulum diameter (74.26 mm) was recorded in the full irrigation treatment, while the lowest (47.22 mm) was observed when drought was applied during flowering. Interestingly, plant height did not differ significantly among irrigation regimes, indicating that this trait may be less sensitive to short-term water deficits or more genetically stable. The application of foliar nutrients had a considerable effect on reproductive output. The combined application of iron, urea, and amino acids produced the highest number of capitula per plant (7.69), suggesting a synergistic effect among these compounds in promoting flower development and retention under stress conditions. Full irrigation consistently resulted in superior reproductive parameters, including the highest number of seeds per capitulum (99.37) and the greatest 1000-seed weight (79.46 g). Conversely, early drought stress significantly reduced these values to 62.19 seeds per capitulum and 39.09 g for 1000-seed weight, respectively. Total biological yield and straw yield were strongly influenced by both the irrigation regime and foliar nutrient treatment. The highest biological yield (12,328 kg ha⁻¹) and straw yield (10,444 kg ha⁻¹) were obtained from the combined application of urea and amino acids under the late drought stress regime. Notably, this treatment combination also resulted in the highest grain yield (2627.78 kg ha⁻¹), confirming its effectiveness in enhancing crop productivity under water-limited conditions. In contrast, the lowest grain yield (1066.67 kg ha⁻¹) was recorded in the unsprayed control under drought, highlighting the detrimental effects of nutrient deficiency and water stress when unmitigated. Furthermore, the harvest index—a measure of resource allocation efficiency—was the highest under full irrigation and late drought stress, indicating that plants under these regimes were better able to convert assimilates into economic yield.

Conclusion. The findings of this study underscore the critical importance of mitigating drought stress during sensitive phenological stages such as flowering and seed filling in safflower cultivation. While drought during flowering proved particularly harmful to yield components, the strategic use of foliar nutrients was effective in alleviating the negative impacts of water stress. Among the tested treatments, the combined application of iron, urea, and amino acids showed the most promising results, particularly when the stress occurred at the grain-filling stage. This integrated foliar fertilization approach enhanced not only morphological traits and reproductive parameters but also led to significant improvements in grain yield and biomass production. Given the increasing frequency and severity of drought in arid and semi-arid regions, this research provides valuable insights into sustainable agronomic practices for maintaining safflower productivity under water-limited conditions. Future studies may explore the physiological and molecular mechanisms behind these improvements and evaluate the economic feasibility of large-scale implementation in different agro-climatic regions.

Keywords:

Drought stress, foliar application, iron chelate, quantitative traits, seed yield.

Cite this article: Saedi, S., Modarres-Sanavy, A.M., Heidarzadeh, A., & Sabourifard, H. (2025). Foliar application of iron, urea, and amino acids on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under irrigation withholding during the reproductive stage. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 56(4), 93-103. DOI: 10.22059/ijfcs.2025.395809.655141.



© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: [10.22059/ijfcs.2025.395809.655141](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2025.395809.655141)



انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شماره الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage: <https://ijfcs.ut.ac.ir/>

کاربرد برگی آهن، اوره و آمینواسیدها بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی

سجاد ساعدی^۱ | سیدعلی محمد مدرس ثانوی^۲ | علی حیدرزاده^۳ | حسین صیوری فرد^۴

۱. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: saedi.s@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: modaresa@modares.ac.ir

۳. گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ali.heidarzadeh@modares.ac.ir

۴. گروه کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. رایانامه: hosseinsabourifard@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۱ کلیدواژه‌ها: تنش کم‌آبی، صفات کمی، عملکرد دانه، کلات آهن، محلول‌پاشی.	این پژوهش با هدف بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن، اوره و آمینواسیدها بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ تحت تنش کم‌آبی در مرحله زایشی، طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه بودند. تیمارهای محلول‌پاشی نیز شامل نه سطح: آهن ۶٪، اوره ۱٪، آمینواسید یک گرم در لیتر، ترکیب‌های دوتایی و سه‌تایی آن‌ها، آب مقطر و بدون محلول‌پاشی بودند. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر طول و قطر طبق داشت. بیشترین طول طبق (۶۵/۱۷ میلی‌متر) در قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه و کمترین (۴۱/۱۶ میلی‌متر) در قطع آبیاری از مرحله گلدهی و بیشترین قطر طبق (۷۴/۲۶ میلی‌متر) در آبیاری کامل و کمترین (۴۷/۲۲ میلی‌متر) در تنش قطع آبیاری مرحله گلدهی ثبت شد. بیشترین تعداد طبق (۷/۶۹ عدد) در تیمار ترکیبی آهن + اوره + آمینواسیدها به‌دست آمد. بیشترین تعداد دانه در طبق (۹۹/۳۷ عدد) و وزن هزار دانه (۷۹/۴۶ گرم) در آبیاری کامل ثبت شد که در تنش گلدهی به ۶۲/۱۹ عدد و ۳۹/۰۹ گرم کاهش یافت. بیشترین عملکرد زیستی (۱۲/۳۲۸ کیلوگرم در هکتار)، کاه (۱۰/۴۴۴ کیلوگرم) و دانه (۲۶۲۸ کیلوگرم) در تیمار اوره + آمینواسیدها در تنش پر شدن دانه حاصل شد. این ترکیب باعث بهبود شاخص برداشت نیز شد و می‌تواند در شرایط کم‌آبی مؤثر واقع شود.

استناد: ساعدی، س.، مدرس ثانوی، ع.م.، حیدرزاده، ع.، و صیوری فرد، ح. (۱۴۰۴). کاربرد برگی آهن، اوره و آمینواسیدها بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۶(۴)، ۹۳-۱۰۳.

DOI: 10.22059/ijfcs.2025.395809.655141



© نویسندگان

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

خشکی یکی از مخرب‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که عملکرد محصولات کشاورزی را در سطح جهانی تهدید می‌کند و قادر است بهره‌وری گیاهان زراعی را بین ۵۰ تا ۷۰ درصد کاهش دهد (Verma & Deepti, 2016). طبق آمار سازمان جهانی بهداشت (WHO)، این تنش سالانه زندگی حدود ۵۵ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (WHO, 2023) و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ نزدیک به ۷۰۰ میلیون نفر ممکن است به دلیل خشکسالی آواره شوند، زیرا در حال حاضر حدود ۴۰ درصد جمعیت جهان در مناطق آسیب‌پذیر به خشکی زندگی می‌کنند (WHO, 2023). کم‌آبی نه تنها موجب اختلال در رشد و توسعه گیاهان می‌شود، بلکه فرایندهای فیزیولوژیک گیاه را نیز به‌ویژه از طریق کاهش جذب مواد غذایی و ایجاد سمیت سلول تحت تأثیر قرار می‌دهد (Yadav et al., 2021). همچنین این تنش با ایجاد تنش اکسیداتیو و اختلال در فتوسنتز، عملکرد طبیعی گیاه را کاهش می‌دهد (Ragaey et al., 2022). واکنش گیاهان به خشکی بسته به نوع گیاه متفاوت است، به‌طوری‌که برخی گونه‌ها نسبت به کم‌آبی حساس‌تر هستند (Noleto-Dias et al., 2023). برای مثال، در گیاه گلرنگ، کمبود آب در دوره زایشی منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد دانه می‌شود (Singh et al., 2016). محققان به‌منظور افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی، استفاده از محلول‌پاشی را توصیه کرده‌اند.

استفاده از محلول‌پاشی برای تأمین عناصر غذایی، به‌ویژه ریزمغذی‌ها مانند آهن، روی، منگنز و مس، در خاک‌های ایران به‌عنوان یک روش مؤثر و علمی در کشاورزی شناخته می‌شود. این روش به دلیل مزایایی مانند تأثیر سریع در رفع کمبود، هزینه کمتر، سهولت استفاده و جلوگیری از تثبیت عناصر در خاک، نسبت به کاربرد خاکی آن‌ها برتری دارد (Fathi Amirkhiz et al., 2021). در شرایط اقلیمی ایران که مکرراً با تنش‌های محیطی مواجه است، به‌کارگیری کودهای حاوی آمینواسیدها می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کیفیت و افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی ایفا کند (Thomas et al., 2010). آمینواسیدها به‌عنوان متابولیت‌های اصلی و ضروری در سلول‌های گیاهی، در فرایندهای مختلفی نظیر ساختار سلولی، فعالیت‌های متابولیکی و انتقال درون‌سلولی نقش دارند (Popko et al., 2018). حضور این ترکیبات تأثیر زیادی بر ویژگی‌های فیزیوشیمیایی سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌های گیاهی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که در شرایط تنش‌زا، سطح آمینواسیدها در گیاهان افزایش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده مشارکت آن‌ها در پاسخ گیاه به تنش است. به‌ویژه در اواخر دوره رشد رویشی، مصرف نیتروژن خاکی به دلیل خشکی خاک و کاهش فعالیت ریشه ممکن است مناسب نباشد، بنابراین استفاده از محلول‌پاشی نیتروژن به‌عنوان روشی سریع و مؤثر برای تأمین نیاز غذایی گیاه پیشنهاد می‌شود. این روش به دلیل جذب سریع‌تر و بیشتر نیتروژن توسط گیاه و سهولت کاربرد آن، مزایای زیادی دارد. از سوی دیگر، نیتروژن جذب‌شده از خاک ممکن است به‌دلیل آبشویی یا تصعید از دسترس گیاه خارج شود و به‌دلیل تنش‌های محیطی، تأمین نیتروژن از طریق خاک، ریشه، گره‌ها یا ساقه‌ها محدود شود. در این شرایط، محلول‌پاشی اوره (به‌عنوان منبع نیتروژن) روی شاخ و برگ گیاه می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاه ایفا کند.

دانه‌های روغنی به‌عنوان منابع انرژی برای انسان و دام، اهمیت زیادی در میان محصولات کشاورزی دارند. فرآورده‌هایی مانند کنجاله‌های حاصل از این دانه‌ها به‌عنوان منابع پروتئینی در تغذیه دام و طیور کاربرد دارند. گیاه گلرنگ با نام علمی *Carthamus tinctorius* (L.) که یک گیاه یک‌ساله و از دانه‌های روغنی است، گل‌هایی به رنگ‌های زرد، نارنجی یا قرمز دارد و ممکن است خاردار یا بدون خار باشد. دانه‌های آن دارای ۳۰ تا ۵۰ درصد روغن هستند (Gürsoy, 2019; Jam et al., 2023). علاوه‌براین، بخش‌های مختلفی از گیاه مانند ساقه، برگ، دانه و گل آن قابل استفاده هستند (Beyyavaş & Dogan, 2022). اگرچه گلرنگ توانایی تحمل شرایط نامطلوب زیادی را دارد، اما عملکرد آن تحت شرایط تنش کاهش می‌یابد (Jam et al., 2023; Culpan, 2023).

خشکی یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم است که تأثیر زیادی بر عملکرد گیاهان کشاورزی دارد. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که خشکی می‌تواند باعث کاهش جذب آب، کاهش فتوسنتز، افزایش تولید متابولیت‌های سمی و کاهش عملکرد گیاهان شود (Chaves et al., 2003; Farooq et al., 2009). گیاهان مختلف به این تنش به روش‌های متفاوتی پاسخ می‌دهند و

برخی گونه‌ها با سازوکارهای مختلفی مانند افزایش فعالیت پاداکسیدانی، تنظیم فشار اسمزی، و افزایش تولید پروتئین‌های حفاظتی در برابر تنش خشکی مقاومت نشان می‌دهند (Mittler, 2006; Hasegawa et al., 2000). در زمینه استفاده از محلول‌پاشی به‌عنوان روشی برای تأمین نیازهای غذایی گیاه تحت شرایط تنش، تحقیقات نشان داده‌اند که محلول‌پاشی می‌تواند تأثیر زیادی بر عملکرد گیاهان در شرایط تنش‌های محیطی داشته باشد. برای مثال، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که محلول‌پاشی آمینواسیدها می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در رشد گیاهان تحت تنش خشکی ایجاد کند. نتایج مطالعات مختلف نشان‌دهنده افزایش سطح آمینواسیدها در گیاهان تحت شرایط تنش‌زا است که این امر می‌تواند به مقاومت بیشتر گیاه در برابر خشکی کمک کند (Popko et al., 2018). همچنین محلول‌پاشی اوره به‌عنوان منبع نیتروژن نیز می‌تواند به‌طور مؤثری با کاهش تأثیرات منفی خشکی، به افزایش عملکرد گیاه کمک کند. به‌ویژه در اواخر دوره رشد رویشی، هنگامی که خاک به دلیل خشکی کمتر قابلیت جذب نیتروژن را دارد، محلول‌پاشی نیتروژن می‌تواند نیازهای گیاه را به‌طور سریع‌تری تأمین کند و از کاهش عملکرد جلوگیری نماید. Singh et al. (2016) نشان دادند که کمبود آب در دوره زایشی گل‌رنگ منجر به کاهش عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط کم‌آبی شدید می‌شود؛ در همین راستا، پژوهش‌ها حاکی از آن هستند که محلول‌پاشی با استفاده از عناصر غذایی به‌ویژه آمینواسیدها و اوره می‌تواند، عملکرد این گیاه را تحت شرایط تنش خشکی بهبود بخشد (Jam et al., 2023). علاوه‌براین، مطالعات انجام‌شده در ایران نیز به استفاده از محلول‌پاشی به‌عنوان یک روش مؤثر در تأمین نیازهای غذایی گیاهان در شرایط تنش اشاره دارند. Fathi Amirkhiz et al. (2021) نشان دادند که محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع و اقتصادی برای رفع کمبودهای غذایی گیاهان در خاک‌های با کیفیت پایین و در شرایط تنش‌های محیطی مؤثر باشد. با توجه به موارد بالا، این پژوهش به منظور بررسی محلول‌پاشی اوره، آهن و آمینواسیدها روی صفات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گل‌رنگ در شرایط قطع آبیاری در مرحله زایشی اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در فصل زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس اجرا شد. به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیولوژیکی خاک، از پنج نقطه مزرعه و در دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام شد. نتایج حاصل از بررسی خاک (جدول ۱) مبنای برنامه کودی مزرعه قرار گرفت. طراحی آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری به‌عنوان کرت اصلی (آبیاری مطلوب بدون قطع، قطع آبیاری از آغاز گلدهی تا پایان فصل رشد، و قطع آبیاری از شروع پر شدن دانه تا پایان فصل رشد) و نه تیمار محلول‌پاشی به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. تیمارهای محلول‌پاشی شامل موارد زیر بودند: آهن کلاته ۶٪، اوره ۱٪، آمینواسید تجاری (یک در هزار)، آهن + اوره، آهن + آمینواسید، آمینواسید + اوره، آهن + اوره + آمینواسید، آب مقطر (شاهد محلول‌پاشی)، بدون محلول‌پاشی (شاهد مطلق).

هر واحد آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول دو متر با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها و فاصله پنج سانتی‌متر بین بوته‌ها روی هر ردیف بود. فاصله بین کرت‌های آزمایشی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. برای کشت از رقم گل‌رنگ 'پرنیان' استفاده شد و عملیات کاشت به‌صورت خشکه‌کاری و دستی در مهرماه ۱۴۰۱ انجام شد. آبیاری با استفاده از نوار تیپ پلاک‌دار به فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام شد؛ به‌طوری‌که هر پلاک ۱/۶ لیتر در ساعت در فشار یک بار آبرسانی می‌کرد. اولین نوبت آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. عملیات تنک‌کردن در مرحله چهاربرگی انجام شد و مهار علف‌های هرز به‌صورت دستی در طول فصل رشد ادامه داشت. بر اساس نتایج آزمون خاک، کوددهی به شرح زیر انجام شد: نیتروژن به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در سه مرحله (قبل از کاشت، مرحله هشت برگی و پیش از گلدهی) به‌صورت سرک مصرف شد. همچنین، برای تأمین فسفر مورد نیاز، ۱۸ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل و برای پتاسیم، ۷۰ کیلوگرم در هکتار از کود سولوپتاس به‌صورت پیش از کاشت استفاده شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil experimental location.

عمق خاک (cm)	بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	pH	هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹)	کربن آلی (%)	پتاسیم (mg kg ⁻¹)	فسفر (mg kg ⁻¹)	نیترژن (%)	آهن (mg kg ⁻¹)
۰-۳۰	شنی-لوم	۶۸/۰	۱۵/۵	۱۶/۵	۷/۸۴	۱/۸۰۹	-۰/۵۶۶	۸۷	۱۹/۲	-۰/۰۵۴	۳/۲۵
۳۰-۶۰	شنی-لوم	۷۱/۰	۱۵/۵	۱۳/۵	۸/۰۸	۱/۲۵۱	-۰/۲۵۴	۶۰	۹/۲	-۰/۰۳۶	۳/۹۲

به منظور تعیین اجزای عملکرد و عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای، نمونه‌ها از دو خط وسط به مساحت یک مترمربع به صورت کفبر برداشت شد. عملکرد زیستی (مجموع وزن کلش و دانه) و کاه (وزن همه اندام‌های هوایی بجز وزن دانه) در هر کرت اندازه‌گیری شد. سپس طبق‌ها از بوته‌های برداشت‌شده جدا و بعد از شمارش و میانگین‌گیری به‌عنوان صفت تعداد طبق در بوته ثبت شد. دانه‌های طبق‌ها جدا شده و بعد از شمارش و میانگین‌گیری به‌عنوان تعداد دانه در طبق ثبت شدند. دانه‌های جدا شده از یک مترمربع توزین و به‌عنوان عملکرد دانه در مترمربع ثبت شد. برای وزن ۱۰۰۰ دانه ده نمونه صدتایی جدا و پس از توزین و میانگین‌گیری به‌عنوان وزن ۱۰۰۰ دانه ثبت شد.

برای بررسی اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر صفات اندازه‌گیری‌شده، پس از اطمینان از نرمال بودن باقیمانده داده‌ها، از تحلیل واریانس (ANOVA) با استفاده از مدل خطی عمومی (GLM) در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ بهره‌گیری شد. تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (Least Significant Difference = LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ بررسی شد. برای مقایسه میانگین‌ها اثرات متقابل برش‌دهی بر اساس تنش کم‌آبی انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. ارتفاع، طول و قطر طبق

جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش بین تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع، طول و قطر طبق گلرنگ نداشت (جدول ۲)؛ همچنین، اثر اصلی تنش کم‌آبی بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۲). ولی اثر اصلی تنش کم‌آبی بر طول و قطر طبق گلرنگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کم‌آبی نشان داد که بیشترین طول طبق در تیمارهای بدون قطع آبیاری (۶۰/۱۷ میلی‌متر) و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (۶۵/۱۷ میلی‌متر) مشاهده شد؛ درحالی‌که کمترین مقدار آن در قطع آبیاری از مرحله گلدهی (۴۱/۱۶ میلی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، بیشترین قطر طبق در شرایط عدم قطع آبیاری (۷۴/۲۶ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن در قطع آبیاری از مرحله گلدهی (۴۷/۲۲ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس ارتفاع بوته، طول و قطر طبق گلرنگ تحت تأثیر محلول‌پاشی در شرایط تنش کم‌آبی.

Table 2. Variance analysis of plant height, capitula length and diameter of safflower under the influence of foliar spraying in water deficit stress conditions.

میانگین مربعات			درجه آزادی	منابع تغییرات
ارتفاع	طول طبق	قطر طبق		
۲۸۳۴*	۵۸/۸۱ ^{ns}	۲/۸۴ ^{ns}	۲	بلوک
۴/۷۵ ^{ns}	۱۳/۲۶**	۱۳۵/۷۷**	۲	تنش کم‌آبی (S)
۳۱۰	۱/۶۵	۱/۱۰۴	۴	خطای کرت اصلی
۱۳۴ ^{ns}	۰/۹۳ ^{ns}	۱/۹۱ ^{ns}	۸	محلول‌پاشی (F)
۶۳/۷۹ ^{ns}	۱/۲۰ ^{ns}	۱/۱۶ ^{ns}	۱۶	S*F
۶۵/۷۶	۰/۷۹	۰/۹۸	۴۸	خطای کرت فرعی
۶/۷۴	۵/۱۷	۳/۹۵		ضریب تغییرات (%)

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

جدول ۳. اثر اصلی تنش کم آبی روی طول و قطر طبق گلرنگ.

Table 3. Main effect of water deficit stress on capitula length and diameter of safflower.

تنش کم آبی	طول طبق (میلی متر)	قطر طبق (میلی متر)
قطع آبیاری از مرحله گلدهی	b۱۶/۴۱	c۲۲/۴۷
قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه	a۱۷/۶۵	b۲۵/۸۰
عدم قطع آبیاری	a۱۷/۶۰	a۲۶/۷۴

حروف مشترک در هر ستون نشان از عدم اختلاف معنادار می باشد.

۳-۲. تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر اصلی محلول پاشی بر تعداد طبق در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. همچنین، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد تحت تأثیر معنی دار اثر اصلی تنش کم آبی قرار گرفتند. اثر متقابل بین محلول پاشی و تنش کم آبی از لحاظ این صفات معنی دار نبود. بررسی میانگین داده ها نشان داد که بیشترین تعداد طبق در بوته با ۷/۶۹ عدد از تیمار محلول پاشی ترکیبی اوره + آمینواسیدها + آهن به دست آمد (شکل ۱). این تیمار با تیمارهای اوره + آمینواسیدها (۷/۰۸ عدد)، آهن + اوره (۶/۹۳ عدد) و آمینواسیدها + آهن (۶/۷۴ عدد) در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۱). در خصوص تعداد دانه در طبق، بیشترین مقدار در شرایط عدم قطع آبیاری (۹۹/۳۷ عدد) و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (۷۱/۳۶ عدد) مشاهده شد (شکل ۲-الف). در مقابل، کمترین تعداد دانه در طبق مربوط به تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی با میانگین ۶۲/۱۹ عدد بود (شکل ۲-الف). نتایج مربوط به وزن هزار دانه نشان داد که شرایط عدم قطع آبیاری (۷۹/۴۶ گرم) و قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه (۶۵/۴۵ گرم) دارای بیشترین مقادیر بودند، در حالی که کمترین وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی با ۳۹/۰۹ گرم به دست آمد (شکل ۲-ب).

جدول ۴. تجزیه واریانس تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه گلرنگ تحت تأثیر محلول پاشی در شرایط تنش کم آبی.

Table 4. Variance analysis of number of capitula per plant, number of seeds per capitula, and 1000-seed weight of safflower under the influence of foliar spraying in water deficit stress conditions.

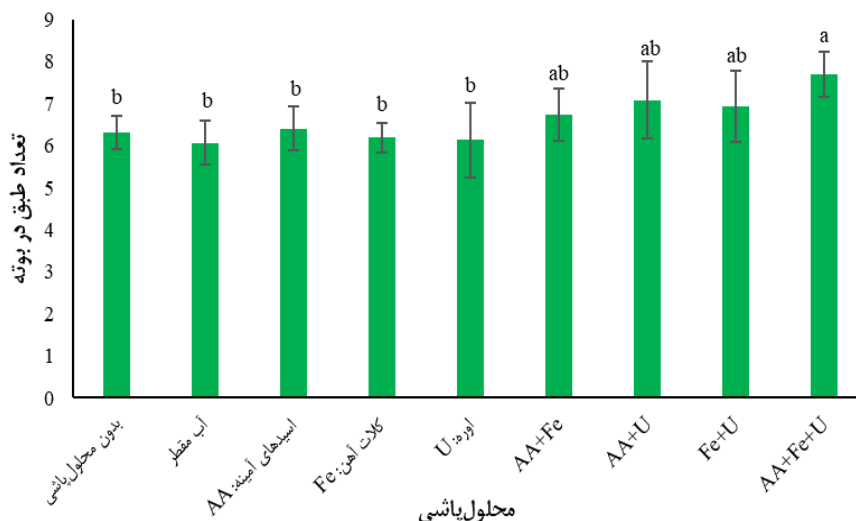
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		تعداد طبق در بوته	تعداد دانه در طبق
بلوک	۲	۹/۹۷ ^{ns}	۳۲/۴۳ ^{ns}
تنش کم آبی (S)	۲	۹/۵۰ ^{ns}	۲۸۴۳***
خطای کرت اصلی	۴	۲/۹۵	۴۲/۵۱
محلول پاشی (F)	۸	۲/۶۵*	۱۸/۵۵ ^{ns}
S*F	۱۶	۱/۰۵ ^{ns}	۱۱/۸۰ ^{ns}
خطای کرت فرعی	۴۸	۱/۱۶	۱۶/۵۵
ضریب تغییرات (%)		۱۶/۳۰	۱۲/۹۵
			۵/۵۸

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

۳-۳. عملکردهای زیستی، کاه، دانه و شاخص برداشت

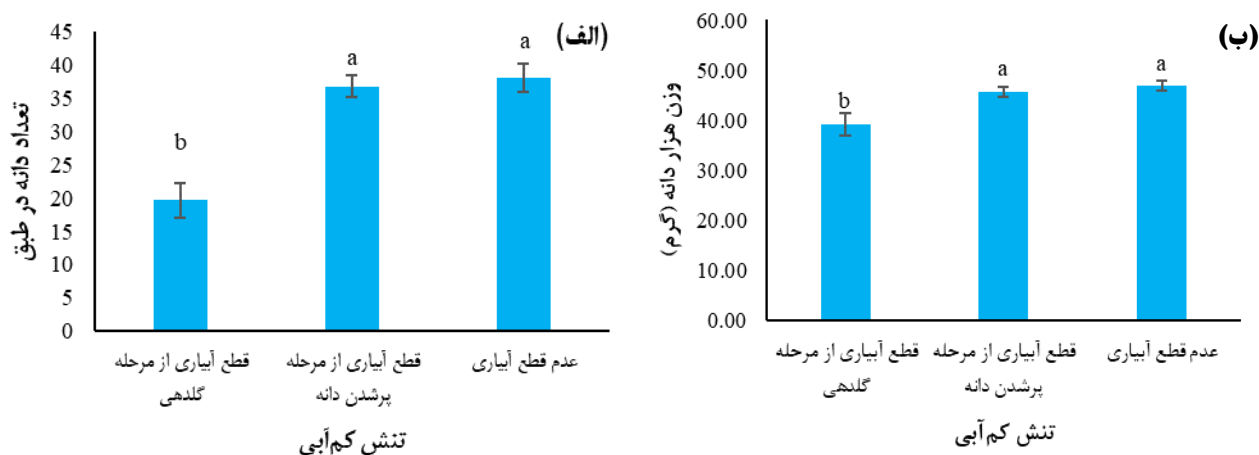
بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵)، اثر متقابل تنش کم آبی و محلول پاشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکردهای زیستی، کاه و دانه معنی دار بود. به علاوه، اثر اصلی تنش کم آبی بر این سه صفت نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. اثر اصلی محلول پاشی تنها بر عملکرد دانه تأثیر معنی دار در سطح یک درصد داشت، در حالی که بر عملکرد زیستی و عملکرد کاه تأثیر معنی داری نداشت (جدول ۵). در خصوص شاخص برداشت، نتایج نشان داد که اثرات اصلی محلول پاشی و برهمکنش آن با تنش کم آبی تأثیر معنی داری بر این صفت نداشتند، اما اثر اصلی تنش کم آبی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین ها نشان داد که در شرایط عدم قطع آبیاری و نیز قطع آبیاری از مرحله گلدهی، سطوح مختلف محلول پاشی تأثیر معنی داری بر عملکردهای زیستی و کاه نداشتند (جدول ۶). در شرایط قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه، بیشترین عملکرد زیستی از تیمار محلول پاشی آمینواسیدها + اوره با میانگین ۱۲۳۲۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول

۶؛ این تیمار با تیمارهای آمینواسیدها + آهن (۱۱۹۶۷ کیلوگرم)، آهن + اوره (۱۱۴۱۷ کیلوگرم)، آمینواسیدها + اوره + آهن (۱۱۷۰۰ کیلوگرم) و تیمار شاهد (عدم محلول پاشی) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۶). در همین شرایط، بیشترین عملکرد کاه نیز از تیمار محلول پاشی آمینواسیدها با میانگین ۱۰۴۴۴ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که از نظر آماری با سایر تیمارها تفاوت معنی داری نداشت (جدول ۶).



شکل ۱. تأثیر محلول پاشی روی تعداد طبق در بوته گلرنگ (حروف مشترک نشان از عدم اختلاف معنی دار می باشد).

Figure 1. Main effect of foliar spraying on capitula per plant of safflower (Means with common letters do not have a significant difference).



شکل ۲. تأثیر تنش کم آبی روی تعداد دانه در طبق (الف) و وزن هزار دانه (ب) گلرنگ (حروف مشترک نشان از عدم اختلاف معنی دار می باشد).

Figure 2. Main effect of water deficit stress on number of seeds per capitula (الف) and 1000-seed weight (ب) of safflower (Means with common letters do not have a significant difference).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین محلول پاشی در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی و عدم قطع آبیاری روی عملکرد دانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۳)؛ ولی در شرایط قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه، بیشترین عملکرد دانه (۲۶۲۷/۷۸ کیلوگرم در هکتار) از محلول پاشی آمینواسیدها + اوره + آهن تولید شد (شکل ۳) و با محلول پاشی آهن + اوره (۲۲۱۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) و آمینواسیدها + آهن (۲۲۱۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) اختلاف آماری معنی داری نداشت (شکل ۳). کمترین مقدار عملکرد دانه (۱۰۶۶/۶۷ کیلوگرم در هکتار) نیز در شرایط قطع آبیاری از مرحله پرشدن دانه و در تیمار عدم

محلول پاشی مشاهده شد (شکل ۳). مقایسه میانگین اثر اصلی تنش کم آبی (شکل ۴) نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در شرایط عدم قطع آبیاری و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به دست آمد، در حالی که کمترین شاخص برداشت مربوط به تیمار قطع آبیاری از مرحله گلدهی بود.

جدول ۵. تجزیه واریانس عملکردهای گلرنگ تحت تأثیر محلول پاشی در شرایط تنش کم آبی.

Table 5. Variance analysis of safflower yields under the influence of foliar spraying in water deficit stress conditions.

درجه آزادی	درجه	میانگین مربعات	شاخص برداشت
۲	بلوک	۱۲۸۵۷۷۱۴ ^{ns}	۲۴/۳۳ ^{ns}
۲	تنش کم آبی (S)	۱۷۰۲۲۰۶۵۰ ^{**}	۷۲۵ [*]
۴	خطای کرت اصلی	۲۵۹۱۹۵۸	۴۲/۶۶
۸	محلول پاشی (F)	۲۹۰۲۳۸۳ ^{ns}	۸/۷۶ ^{ns}
۱۶	S*F	۴۵۸۵۱۴۸ ^{**}	۱۰/۷۸ ^{ns}
۴۸	خطای کرت فرعی	۱۸۰۵۱۷۸	۱۰/۷۶
	ضریب تغییرات (%)	۱۲/۶۳	۲۲/۶۰

^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی داری و معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

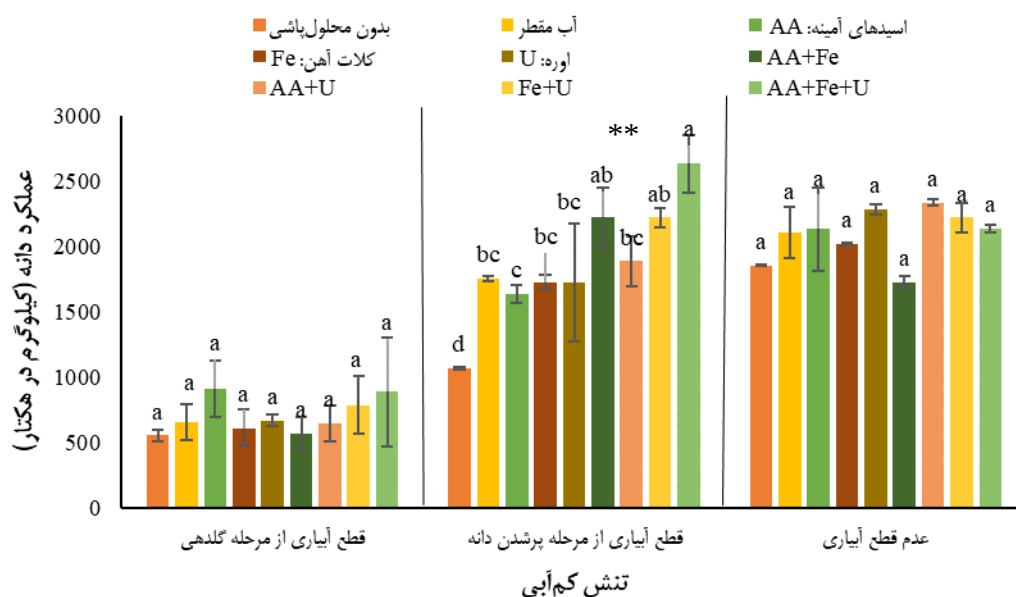
جدول ۶. اثر برهمکنش تنش کم آبی و محلول پاشی روی عملکردهای زیستی و کاه گلرنگ.

Table 6. Interaction of water deficit stress and foliar spraying on biological, and straw yields of safflower.

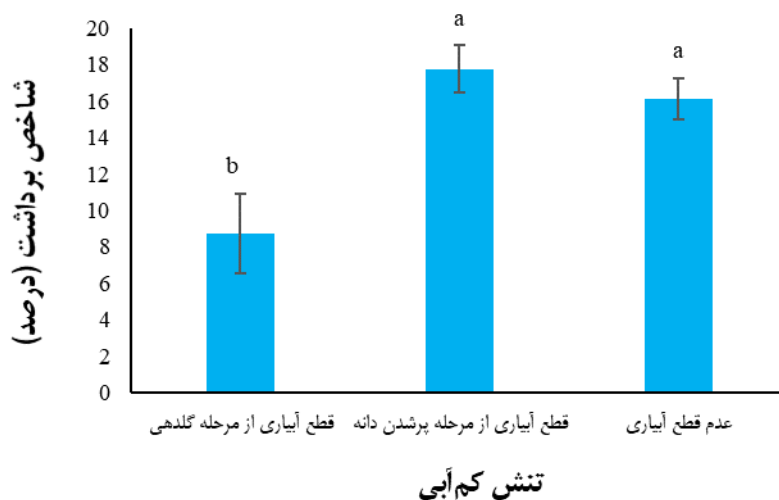
عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار)			عملکرد کاه (کیلوگرم در هکتار)		
محلول پاشی	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی	عدم قطع آبیاری	قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی	عدم قطع آبیاری
بدون محلول پاشی	۶۲۱۶ ^a	۱۱۵۶۷ ^{a-c}	۱۱۶۶۷ ^a	۵۶۶۷ ^a	۹۸۱۷ ^a
آب مقطر	۷۳۴۴ ^a	۱۰۱۶۶ ^{b-d}	۱۲۴۸۹ ^a	۶۶۹۴ ^a	۱۰۳۸۳ ^a
آمینواسیدها (AA)	۸۴۷۸ ^a	۸۶۵۶ ^d	۱۳۴۸۳ ^a	۷۵۶۷ ^a	۱۱۳۵۶ ^a
کلات آهن (Fe)	۷۴۳۳ ^a	۹۸۵۰ ^{cd}	۱۴۴۳۳ ^a	۶۸۲۸ ^a	۱۲۴۱۷ ^a
اوره (U)	۹۰۶۱ ^a	۸۴۵۸ ^d	۱۳۹۴۴ ^a	۸۳۹۴ ^a	۱۱۶۶۱ ^a
AA+Fe	۹۳۸۳ ^a	۱۱۹۶۷ ^{ab}	۱۱۹۱۱ ^a	۸۸۱۷ ^a	۱۰۱۸۶ ^a
AA+U	۷۸۰۶ ^a	۱۲۳۲۸ ^a	۱۲۸۱۱ ^a	۷۱۶۱ ^a	۱۰۴۴۳ ^{ab}
Fe+U	۸۴۷۴ ^a	۱۱۴۱۷ ^{a-c}	۱۳۴۴۴ ^a	۷۶۹۴ ^a	۱۱۲۲۸ ^a
AA+Fe+U	۸۷۹۴ ^a	۱۱۷۰۰ ^{a-c}	۱۴۰۰۰ ^a	۷۹۱۱ ^a	۱۱۸۶۷ ^a
p-value	ns	**	ns	**	ns

برش دهی بر اساس سطوح تنش کم آبی انجام شده است. حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار می باشد.

تنش کم آبی یکی از عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی است که با تأثیر بر فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مورفولوژیکی گیاه، باعث کاهش عملکرد می شود. در شرایط تنش کم آبی، گیاهان به منظور حفظ آب، با کاهش تبخیر از طریق بستن روزنه ها و محدود کردن رشد سلولی، میزان تبخیر و انتقال آب را کاهش می دهند (Chaves et al., 2003). این پاسخ موجب کاهش اندازه سلول ها، طول و قطر طبق و در نتیجه کاهش حجم کلی اندام های گیاهی می شود (Verslues et al., 2006). کاهش طول و قطر طبق در این تحقیق به دلیل محدودیت در دسترسی به آب و کاهش توان گیاه در گسترش سلولی و تقسیم سلولی بوده است که این تغییرات به کاهش توان زایشی گیاه و کاهش تعداد گل ها و دانه ها منجر می شود. ارتفاع بوته در این مطالعه به طور معنی داری تحت تأثیر تنش کم آبی قرار نگرفت که علت آن احتمالاً مربوط به زمان اعمال تنش است. از آنجایی که رشد طولی گلرنگ عمدتاً در مراحل ابتدایی و پیش از گلدهی رخ می دهد، اعمال تنش پس از گلدهی نتوانست تأثیر قابل توجهی بر افزایش ارتفاع گیاه داشته باشد. این یافته با مطالعات پیشین مطابقت دارد که نشان می دهد رشد طولی پس از گلدهی در بسیاری از گیاهان به صورت نسبی تثبیت می شود (Verslues et al., 2006).



شکل ۳. اثر برهمکنش تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی روی عملکرد دانه گلرنگ (برش‌دهی بر اساس سطوح تنش کم‌آبی انجام شده است).
Figure 3. Interaction of water deficit stress and foliar spraying on safflower seed yield (Sliced has been done based on the levels of irrigation regimes.)



شکل ۴. اثر اصلی تنش کم‌آبی روی شاخص برداشت گلرنگ (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد).
Figure 4. Main effect of water deficit stress on safflower harvest index (Means with common letters do not have a significant difference).

یکی از نتایج مهم این پژوهش، افزایش تعداد طبق در بوته‌هایی بود که محلول‌پاشی ترکیبی حاوی آهن، اوره و آمینواسیدها را دریافت کردند. آهن به عنوان عنصر ضروری در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های فتوسنتزی، باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تولید انرژی می‌شود که این انرژی برای رشد اندام‌های زایشی و تشکیل دانه حیاتی است (Yoshihara et al., 2021). نیتروژن، به عنوان بخش اصلی پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه، در افزایش تقسیم و توسعه سلولی و رشد رویشی و زایشی نقش مهمی دارد (Kawade et al., 2023). آمینواسیدها نیز علاوه بر تأمین پیش‌سازهای پروتئینی، به عنوان تنظیم‌کننده رشد و مقاومت در برابر استرس‌های محیطی عمل می‌کنند (Rodrigues-Corrêa & Fett-Neto, 2019; Coa et al., 2019). ترکیب این سه ماده در محلول‌پاشی، بهبود رشد طبق و عملکرد زایشی را تسهیل کرده و به افزایش تعداد گل و دانه منجر شد.

کاهش وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد کاه نیز از دیگر اثرات منفی تنش کم‌آبی در این مطالعه بود. کاهش دسترسی به آب سبب محدودیت جذب عناصر غذایی، کاهش نرخ فتوسنتز و کاهش انتقال آسمیلات‌ها به اندام‌های زایشی می‌شود که نهایتاً موجب کاهش وزن دانه و تعداد آن می‌شود (Farooq et al., 2009). همچنین تنش کم‌آبی باعث اختلال در سنتز پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه شده و این امر موجب کاهش رشد سلولی و تشکیل دانه می‌شود (Munir et al., 2021). محلول‌پاشی ترکیبی حاوی آهن، اوره و آمینواسیدها توانست اثرات منفی تنش را کاهش داده و باعث افزایش عملکرد دانه، عملکرد کاه و وزن هزار دانه شود. شاخص برداشت نیز که نشان‌دهنده نسبت عملکرد دانه به کل زیست‌توده است، تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش یافت. کاهش شاخص برداشت ناشی از کاهش شدیدتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد کل گیاه بوده که به دلیل کاهش فتوسنتز و محدودشدن منابع آسمیلات‌ها به اندام‌های زایشی اتفاق می‌افتد (Farooq et al., 2009). محلول‌پاشی ترکیبی عناصر غذایی به حفظ بهتر این شاخص کمک کرده و موجب تعادل تغذیه‌ای و افزایش کارایی استفاده از منابع در شرایط استرس شد. در نهایت، یافته‌های این تحقیق تأکید می‌کند که مدیریت تغذیه‌ای به کمک محلول‌پاشی آهن، اوره و آمینواسیدها می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد گیاه گلرنگ مورد استفاده قرار گیرد. توجه به زمان مناسب اعمال تنش و محلول‌پاشی می‌تواند نقش مهمی در حفظ رشد و عملکرد محصول داشته باشد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی در مرحله زایشی تأثیر منفی قابل‌توجهی بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه گلرنگ داشت. اعمال تنش باعث کاهش طول و قطر طبق، وزن هزار دانه، تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص برداشت شد. در مقابل، استفاده از محلول‌پاشی عناصر تغذیه‌ای به‌ویژه ترکیب آهن، اوره و آمینواسیدها توانست به شکل مؤثری اثرات منفی تنش کم‌آبی را کاهش داده و رشد و عملکرد گیاه را بهبود بخشد. این ترکیب باعث افزایش تعداد طبق، بهبود رشد اندام‌های زایشی، افزایش وزن هزار دانه و در نهایت بهبود عملکرد زیستی و اقتصادی شد. هم‌افزایی میان آهن، نیتروژن و آمینواسیدها از طریق بهبود فتوسنتز، افزایش سنتز پروتئین، تقویت تقسیم سلولی و افزایش مقاومت گیاه به تنش، نقش کلیدی در ارتقاء عملکرد ایفا کرد. بنابراین، محلول‌پاشی همزمان این ترکیبات می‌تواند به عنوان یک راهکار تغذیه‌ای مؤثر در مدیریت تنش کم‌آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق بر اهمیت تغذیه مکمل در کاهش خسارت ناشی از تنش‌های محیطی تأکید دارد و می‌تواند به عنوان راهنمایی برای بهبود عملکرد و پایداری تولید گلرنگ در شرایط کم‌آبی مورد استفاده قرار گیرد.

۵. منابع

- Beyyavas, V., & Dogan, L. (2022). Yield, yield components, and oil ratios of irrigated and rainfed safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under semi-arid climate conditions. *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(2), 1807-1820. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2002_18071820.
- Cao, Y., Liu, S., Liu, K., Abbasi, I.H.R., Cai, C., & Yao, J. (2019). Molecular mechanisms relating to amino acid regulation of protein synthesis. *Nutrition Research Reviews*, 32(2), 183-191. <https://doi.org/10.1017/S0954422419000052>.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., & Pereira, J.S. (2003). Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264. <https://doi.org/10.1071/fp02076>.
- Culpan, E. (2023). Effect of sowing dates on seed yield traits and oil content of safflower in Northwest Turkey. *Turkish Journal of Field Crops*, 28(1), 87-93. <http://dx.doi.org/10.17557/tjfc.1194005>.
- Fageria, N.K., & Baligar, V.C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D.B.S.M.A., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*. Springer, Dordrecht, 153-188. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>.
- Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., Modarres Sanavy, S.A.M., & Rezazadeh, A. (2021). Effect of deficit irrigation and foliar application of polyamines on seed and oil yields, water use efficiency, and fatty acids

- production in spring safflower seed oil (*Carthamus tinctorius L.*). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(3), 79-96. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.305009.654732>.
- Gürsoy, M. (2019). Importance of some oil crops in human nutrition. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(12), 2154-2158. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i12.2154-2158.2916>.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., & Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>.
- Jabbari-Orange, M.J., & Ebadi, A. (2012). Responses of phenological and physiological stages of spring safflower to complementary irrigation. *African Journal of Biotechnology*, 11(10), 2465-2471. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1628>.
- Jam, B.J., Shekari, F., Andalibi, B., Fotovat, R., Jafarian, V., Najafi, J., ..., Mastinu, A. (2023). Impact of silicon foliar application on the growth and physiological traits of *Carthamus tinctorius L.* exposed to salt stress. *Silicon*, 15(3), 1235-1245. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02090-y>.
- Kawade, K., Tabeta, H., Ferjani, A., & Hirai, M.Y. (2023). The roles of functional amino acids in plant growth and development. In *Plant and Cell Physiology*, 64(12), 1482-1493. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad071>.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J., & Flexas, J. (2002). Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89(7), 895-905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11(1), 15-19. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.11.002>.
- Munir, M.A., Hussain, M., Farooq, M., & Jabran, K. (2021). Drought stress in plants: An overview. *Plant Stress Physiology*, 81-97.
- Noletto-Dias, C., Picoli, E.A.T., Porzel, A., Wessjohann, L.A., Tavares, J.F., & Farag, M.A. (2023). Metabolomics characterizes early metabolic changes and markers of tolerant *Eucalyptus* spp. clones against drought stress. *Phytochemistry*, 212, 113715. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2023.113715>.
- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., & Górecki, H. (2018). Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 23(2), 470. <https://doi.org/10.3390/molecules23020470>.
- Ragaey, M.M., Sadak, M.S., Dawood, M.F., Mousa, N.H., Hanafy, R.S., & Latef, A.A.H.A. (2022). Role of signaling molecules sodium nitroprusside and arginine in alleviating salt-induced oxidative stress in wheat. *Plants*, 11(14), 1786. <https://doi.org/10.3390/plants11141786>.
- Rodrigues-Corrêa, K.C., da, S., & Fett-Neto, A.G. (2019). Abiotic stresses and non-protein amino acids in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 38(5-6), 411-430. <https://doi.org/10.1080/07352689.2019.1707944>.
- Singh, S., Angadi, S.V., Grover, K.K., Hilaire, R.S., & Begna, S. (2016). Effect of growth stage based irrigation on soil water extraction and water use efficiency of spring safflower cultivars. *Agricultural Water Management*, 177, 432-439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.023>.
- Thomas, J., Mandal, A.K.A., Raj Kumar, R., & Murugan, A.C. (2010). Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of tea (*Camellia* sp.). *International Journal of Agricultural Research*, 4(7), 228-236. <http://dx.doi.org/10.3923/ijar.2009.228.236>.
- Verma, A.K., & Deepti, S. (2016). Abiotic stress and crop improvement: Current scenario. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 4(4), 345-346. <https://doi.org/10.15406/apar.2016.04.00149>.
- Verslues, P.E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J., & Zhu, J.K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45(4), 523-539. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113x.2005.02593.x>.
- Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, M.S., & Narayan, O.P. (2021). Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Gene Reports*, 23, 101040. <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2021.101040>.
- Yoshihara, A., Nagata, N., Wada, H., & Kobayashi, K. (2021). Plastid anionic lipids are essential for the development of both photosynthetic and non-photosynthetic organs in *Arabidopsis thaliana*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 4860. <https://doi.org/10.3390/ijms22094860>.