Iranian Journal of Soil and Water Research
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir
ISNN: 2423-7833

Response of Agronomic and Physiological Traits of Sunflower to Irrigation Levels, Humic, and Salicylic Acid

Hamed Javadi[1]✉ | **Samira Arefi** [2]

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran. Email: h_javadi@areeo.ac.ir
2. South Khorasan Branch, Agricultural and Natural Resources Engineering Organization, Birjand, Iran. Email: samiraarefi9522@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 30, 2026

Revised: July. 31, 2026

Accepted: Aug. 25, 2026

Published online: Nov. 23, 2026

Keywords:
Grain yield,
SPAD,
Stomatal conductance,
Sunflower,
Water use efficiency

ABSTRACT

In order to investigate the effect of irrigation levels, humic, and salicylic acid on some morphophysiological traits and sunflower yield, an experiment was conducted as a split-factorial design based on randomized complete block design with three replications at the research farm of Islamic Azad University, Birjand Branch. In this study, irrigation was considered as the main factor at two levels (120 and 240 mm pan evaporation), humic acid at three levels (0, 20, and 40 liters per hectare), and salicylic acid at two levels (0 and 0.75 mM) as sub-factors. Traits such as plant height, stem diameter, number of leaves per plant, head diameter, chlorophyll meter reading at flowering time, stomatal conductance at flowering time, seed yield, and seed water use efficiency were studied. The results showed that the effect of irrigation on plant height, head diameter, stomatal conductance, and seed yield was significant. The highest plant height (88 cm), head diameter (87.8 cm), stomatal conductance at flowering time (103.6 mmol m^{-2} s^{-1}), and seed yield (1126.9 kg ha^{-1}) were obtained from the 120 mm pan evaporation irrigation level. The effect of salicylic acid on the chlorophyll meter reading at flowering time was significant, and the highest value was obtained in the control treatment (44). Other simple and interaction effects on the studied traits were not significant. Based on the results of this research, to achieve maximum sunflower seed yield in the Birjand region, irrigation treatment after 120 mm cumulative pan evaporation, without the use of humic acid and salicylic acid, can be used.

Cite this article: Javadi, H., Arefi, S., (2026) Response of Agronomic and Physiological Traits of Sunflower to Irrigation Levels, Humic, and Salicylic Acid, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (9), 2119-2131. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.417579.670169

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.417579.670169

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the major annual oilseed crops cultivated worldwide for edible oil production and confectionery use. Because of its high content of unsaturated fatty acids and absence of cholesterol, sunflower oil has high nutritional value. The crop is also characterized by relatively broad adaptation to environmental conditions and is often considered comparatively tolerant to drought due to its deep root system. Nevertheless, water deficit remains one of the main factors limiting sunflower growth and productivity, especially in arid and semi-arid regions. Under drought conditions, sunflower may exhibit reductions in vegetative growth, physiological activity, and yield components, resulting in lower seed yield. Therefore, identifying suitable management practices to alleviate the adverse effects of water deficit is important in regions with limited water resources such as South Khorasan. Among the compounds proposed for improving plant performance under stress, humic acid and salicylic acid have received attention because of their potential roles in enhancing nutrient uptake, regulating physiological processes, and improving tolerance to abiotic stress. Accordingly, this study was conducted to evaluate the effects of irrigation regime and foliar application of humic acid and salicylic acid on some morphophysiological traits, seed yield, and seed water use efficiency of sunflower in the Birjand region.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the research farm of Islamic Azad University, Birjand Branch, located in an arid region. The long-term average annual precipitation of the area is 156 mm. The experiment was arranged as a split-factorial based on a randomized complete block design with three replications. Two irrigation regimes, including irrigation after 120 and 240 mm cumulative evaporation from Class A evaporation pan, were assigned to the main plots. The subplots consisted of a factorial combination of humic acid at three levels (0, 20, and 40 L ha^{-1}) and salicylic acid at two levels (0 and 0.75 mM). Each subplot included four rows 7 m in length, with 0.6 m spacing between rows and 20 cm spacing between plants within rows, resulting in a plant density of 83,333 plants ha^{-1}. Based on soil test recommendations, triple superphosphate and urea were applied before planting and during crop growth. Sowing was carried out on June 1, and irrigation treatments were applied after complete crop establishment using evaporation data and a pressurized irrigation system. Humic acid was foliar-applied at the four-leaf stage, head emergence, and seed filling stage. Salicylic acid was sprayed twice during the growing season after irrigation. Morphological traits, including plant height, stem diameter, number of leaves per plant, and head diameter, were measured on five randomly selected plants per plot. Physiological traits included chlorophyll meter reading and stomatal conductance at flowering. At physiological maturity, plants from the two central rows of each plot were harvested to determine seed yield. Seed water use efficiency was calculated as the ratio of seed yield to the total volume of irrigation water applied. Data were statistically analyzed using MSTATC software, and means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results indicated that irrigation regime was the main factor affecting sunflower performance under the experimental conditions. Water deficit significantly reduced several key morphophysiological and agronomic traits. Plant height was significantly affected by irrigation, so that the highest value (88 cm) was obtained under irrigation after 120 mm cumulative evaporation from Class A pan. Increasing the irrigation interval to 240 mm decreased plant height by 10.7%, indicating the inhibitory effect of drought stress on vegetative growth.

Head diameter was also significantly influenced by irrigation and showed a marked decline under water deficit. The maximum head diameter (8.82 cm) was recorded under irrigation after 120 mm evaporation, while delaying irrigation until 240 mm evaporation reduced this trait by 25%. Since head diameter is closely associated with reproductive development and seed formation, its reduction under drought stress likely contributed to yield loss.

Among the physiological traits, stomatal conductance was significantly reduced by water limitation. Under irrigation after 240 mm evaporation, stomatal conductance decreased by 46% compared with the 120 mm treatment. This response reflects stomatal closure under drought conditions, which restricts gas exchange and can reduce photosynthetic activity and dry matter production.

Seed yield was significantly affected by irrigation and showed the greatest sensitivity to water deficit. The highest seed yield (1126.9 kg ha^{-1}) was obtained under irrigation after 120 mm evaporation. In contrast, extending the irrigation interval to 240 mm reduced seed yield by 48.8%. This substantial decline can be attributed to the combined effects of reduced vegetative growth, lower stomatal conductance, and smaller head

diameter under drought stress.

Salicylic acid had a significant effect only on chlorophyll meter reading; however, the higher value was observed in the control treatment, indicating that foliar application of salicylic acid at the applied concentration did not improve chlorophyll status. Humic acid had no significant effect on the measured traits, and no significant interaction was observed among irrigation, humic acid, and salicylic acid treatments.

Overall, the findings showed that sunflower response was influenced primarily by irrigation regime, whereas foliar application of humic acid and salicylic acid did not effectively alleviate the adverse effects of water deficit under the conditions of this study.

Conclusion

The results of this study clearly demonstrated that irrigation regime was the main factor affecting growth, physiological traits, and seed yield of sunflower under the arid conditions of Birjand. Irrigation after 120 mm cumulative evaporation from Class A pan produced superior plant height, head diameter, stomatal conductance, and seed yield, whereas increasing the irrigation interval to 240 mm significantly reduced sunflower performance, particularly seed yield. In contrast, foliar application of humic acid and salicylic acid at the tested levels did not provide a meaningful improvement in sunflower response under either normal irrigation or water-deficit conditions. Humic acid had no significant effect on the evaluated traits, and salicylic acid influenced only chlorophyll meter reading without improving productivity. Therefore, under the conditions of this experiment, optimizing irrigation scheduling was more effective than applying humic acid and salicylic acid. Based on these findings, irrigation after 120 mm cumulative evaporation from Class A pan can be recommended as a more appropriate management practice for achieving acceptable sunflower seed yield in the Birjand region.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or notfor-profit sectors.

Authorship contribution

Data collection: Samira Arefi, Hamed Javadi; Research report preparation: Hamed Javadi; Data analysis: Hamed Javadi

The authors participated equally in all stages of research design and implementation, data collection, statistical analysis of data, analysis and interpretation of information and results, preparation of draft article, review and control of results, correction, revision, and finalization of the article.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

No artificial intelligence tools were used in the article writing process.

Data availability statement

Data would be available on request case from first author.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۷، شماره ۹ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیک آفتابگردان به سطوح آبیاری، هیومیک و سالیسیلیک اسید

حامد جوادی [۱] ✉ | سمیرا عارفی [۲]

۱- نویسنده مسئول مکاتبات، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران. رایانامه: h_javadi@areeo.ac.ir

۲- نمایندگی خراسان جنوبی، سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، بیرجند، ایران. رایانامه: samiraarefi9522@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۴/۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۵/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۹/۱

واژه‌های کلیدی:
آفتابگردان،
عملکرد دانه،
کارایی مصرف آب،
هدایت روزنه‌ای،
عدد کلروفیل‌متر

چکیده

به منظور بررسی تأثیر سطوح آبیاری، هیومیک و سالیسیلیک¬اسید بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد آفتابگردان، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه بلوک¬های کامل تصادفی با سه تکرار درمزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند اجرا شد. در این پژوهش، آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر و اسید هیومیک در سه سطح صفر، ۲۰ و ۴۰ لیتر در هکتار و اسید سالیسیلیک در دو سطح صفر و ۰/۷۵ میلی‌مولار به‌عنوان فاکتورهای فرعی در نظر گرفته شدند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، قطر طبق، عدد کلروفیل‌متر در زمان گلدهی، هدایت روزنه‌ای در زمان گلدهی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب دانه بود. نتایج نشان داد که اثر آبیاری بر ارتفاع بوته، قطر طبق، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته (۸۸ سانتی‌متر)، قطر طبق (۸۷/۸ سانتی‌متر)، هدایت روزنه‌ای در زمان گلدهی (۱۰۳/۶ میلی‌مول بر متر مربع در ثانیه) و عملکرد دانه (۱۱۲۶/۹ کیلوگرم در هکتار) در سطح آبیاری ۱۲۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر حاصل شد. اثر سالیسیلیک اسید بر عدد کلروفیل‌متر در زمان گلدهی نیز معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در تیمار شاهد (۴۴) مشاهده شد. سایر اثرات ساده و متقابل بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط این آزمایش، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر، بدون مصرف اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک، مناسب‌ترین تیمار برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر آفتابگردان در منطقه بیرجند بود.

استناد: جوادی؛ حامد، عارفی؛ سمیرا، (۱۴۰۵) بررسی پاسخ زراعی و فیزیولوژیک آفتابگردان به سطوح آبیاری، هیومیک و سالیسیلیک اسید، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۷ (۹)، ۲۱۳۱-۲۱۱۹. https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.417579.670169

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.417579.670169

مقدمه

آفتابگردان با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یک‌ساله و دگرگشن است که پس از سویا، کلزا، پنبه‌دانه و بادام زمینی پنجمین زراعت یک‌ساله جهان است که به دلیل روغن خوراکی و مصرف آجیلی آن کشت می‌شود (Babec et al., 2020). آفتابگردان یکی از مهمترین گیاهان دانه روغنی در جهان است و روغن آن به دلیل داشتن اسیدهای چرب غیراشباع فراوان و همچنین فقدان کلسترول از کیفیت بالایی برخوردار است (Ghendov-Mosanu et al., 2023). این گیاه یک محصول زراعی متحمل به خشکی با سیستم ریشه‌ای عمیق است و کشت آن در اراضی دیم و نیمه‌خشک توسعه یافته است. به دلیل سازگاری بالا با شرایط مختلف، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذایی و فقدان عوامل ضدتغذیه‌ای، سطح زیرکشت آن افزایش پیدا کرده است (Smaeili et al., 2022). محتوای روغن دانه یک شاخص اصلاح آفتابگردان و یک جزء مهّم در عملکرد روغن محسوب می‌شود که این صفت پیچیده به وسیله عوامل محیطی و ژنتیکی تعیین می‌شود که خود به عملکرد دانه و صفات مرتبط به آن وابسته است (Ebrahimian et al., 2019).

یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان زراعی، کمبود آب است (Javadi *et al*., 2022). تنش کم‌آبی به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل محدودکننده رشد در آفتابگردان است (Khalilvand Behrouzyar and Yarnia, 2014). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داد که با افزایش کم‌آبی، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان کاهش یافت (Seyed Sharife and Seyed Sharife, 2019; Moradi Ghahderijani *et al*., 2015; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018). در تحقیقی، در پژوهشی، بیشترین عملکرد دانه و درصد روغن آفتابگردان در سطح آبیاری مبتنی بر ۴۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک حاصل شد (Jami *et al*., 2018). در پژوهشی که با چهار سطح آبیاری ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق بالقوه در طول فصل رشد آفتابگردان در خاک آهکی آذربایجان شرقی انجام شد، کاهش سطح آبیاری نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق بالقوه، از طریق کاهش وزن دانه و تعداد دانه در طبق، موجب افت عملکرد دانه شد (Ebrahimian et al., 2019).

از جمله راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات کم آبی، استفاده از موادی مانند اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بوده که با خواص تعدیل‌کنندگی تنش می‌تواند تا حدی جبران‌کننده کاهش عملکرد حاصل از خشکی باشد (Movahhedi-Dehnavi et al., 2019). اسید هیومیک با افزایش جمعیّت موجودات زنده خاک، اصلاح وضعیت فیزیکی خاک، تعدیل pH، اثرات آنزیمی و هورمونی روی رشد گیاه، افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و شوری، باعث افزایش قدرت جذب مواد غذایی، افزایش جوانه‌زنی و رشد ریشه و بهبود محصول از لحاظ کمی و کیفی می‌گردد (Rehman et al., 2023). در بین ترکیبات آلی، اسید هیومیک به سبب خاصیت کلات‌کنندگی عناصر معدنی مختلف از جمله پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و دیگر عناصر غذایی می‌تواند به عنوان یکی از ترکیبات مهم و جایگزین در تأمین نیاز غذایی گیاهان عمل کند (Wyszkowski et al., 2023). اسید هیومیک خاصیت شبه هورمونی دارد و سبب افزایش حجم ریشه و در نتیجه جذب بیشتر عناصر غذایی می‌شود (Hemati et al., 2022). از طرفی به سبب زیاد بودن ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدهیومیک سبب در اختیار قرار دادن عناصر مفید و دفع عناصر سمّی و فلزات سنگین در ریشه گیاهان می‌شود (Zhanga et al., 2023). در پژوهشی که به‌منظور بررسی اثر سه سطح اسید هیومیک (۱، ۳ و ۶ لیتر در هکتار) بر صفات رشدی و عملکرد آفتابگردان انجام شد، در شرایط کفایت نیتروژن خاک، بیشترین درصد روغن، وزن هزار دانه، وزن طبق، عملکرد دانه، قطر طبق، قطر ساقه و تعداد برگ در سطح ۳ لیتر در هکتار، بیشترین ارتفاع بوته و وزن بوته در سطح ۶ لیتر در هکتار و بیشترین درصد پروتئین در سطح ۱ لیتر در هکتار به‌دست آمد (Tadayon et al., 2021).

سالیسیلیک اسید نیز یکی از مهمترین ترکیباتی است که یک ترکیب فنولی به شمار می‌آید و به عنوان گروه جدیدی از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی محسوب شده و نقش مهّمی در تنظیم رشد و نمو گیاه بازی می‌کند (Pál et al., 2020). بررسی‌ها نشان داده است که سالیسیلیک اسید باعث تغییر پاسخ گیاهان به سرما، دمای بالا، تنش شوری، تنش اسمزی و علف کش‌ها می‌گردد و رشد گیاه را تحت این شرایط بهبود می‌بخشد (Chen et al., 2023). اثرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گوناگونی از اسید سالیسیلیک بر رشد و نمو گیاهی دیده شده است که عبارت است از جذب یون، پایداری غشاء، تنفس میتوکندریایی، بسته‌شدن روزنه‌ها، انتقال مواد، سرعت رشد و فتوسنتز می‌باشد (Khalvandi et al., 2021). در تحقیقی افزایش میزان اسید سالیسیلیک تا ۲۰۰ پی پی ام موجب افزایش تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و عملکرد روغن آفتابگردان شد (Davodi et al., 2020).

باتوجه به اهمیت تولید روغن در کشور و وجود کم آبی در منطقه خراسان جنوبی یافتن راهکاری جهت کاهش و تعدیل اثر تنش کم

آبی بر این محصول ضروری است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در سطوح مختلف آبیاری و تأثیر آن‌ها بر صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف آب آفتابگردان در منطقه بیرجند انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند- زاهدان اجرا شد. محل آزمایش از نظر اقلیمی بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمبرژه جزء مناطق خشک است. میانگین ۱۵ ساله بارندگی این منطقه ۱۵۶ میلی‌متر، حداکثر دمای آن ۳۹/۱، حداقل دما ۱۷- و متوسط دمای روزانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری پیش از اجرای آزمایش انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، ماده آلی به روش والکلی و بلک (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کجلدال(Bremner, 1965)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم قابل جذب با استخراج استات آمونیوم و قرائت با فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد pH و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک نیز با روش‌های استاندارد متداول آزمایشگاهی تعیین شدند (Page et al., 1982; Klute, 1986). نتایج تجزیه خاک منطقه مورد نظر در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

بافت خاک	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	pH	مواد آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
لوم رسی	۲/۳۲	۸/۴۷	۰/۱۲	۰/۰۱۱	۴/۰۹	۲۳۱/۵

این پژوهش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل دو سطح آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (به‌عنوان سطح آبیاری مطلوب یا شاهد) و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (به‌عنوان سطح تنش شدید کم آبی) بود که در کرت‌های اصلی قرار گرفتند. مبنای انتخاب این سطوح، ایجاد دو وضعیت رطوبتی کاملاً متمایز در خاک جهت ارزیابی دقیق پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه و سنجش نقش تعدیلی مواد اصلاح‌کننده در مواجهه با محدودیت شدید آب بود.عوامل فرعی شامل هیومیک اسید در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ لیتر در هکتار) و سالیسیلیک اسید در دو سطح (صفر و ۰/۷۵ میلی‌مولار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی اعمال شدند. کود هیومیک اسید مورد استفاده، یک فرآورده تجاری مایع با نام Shock Humic Acid بود که بر اساس اطلاعات عرضه‌کننده، با منشأ اعلامی آمریکا و با عنوان ۹۵٪ humic acid تهیه شد. اسید سالیسیلیک (C7H6O3) به دلیل نقش آن در بهبود پاسخ گیاه به تنش کم‌آبی، از شرکت دکتر مجللی تهیه شد و درصد خلوص آن بر اساس مشخصات سازنده ۹۸ درصد بود. هر کرت فرعی شامل ۴ خط کاشت به طول ۷ متر و با فاصله ردیف ۰/۶ متر و فاصله نهایی بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۸/۳۳ بوته در متر مربع) بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره (یک‌سوم قبل از کاشت، یک‌سوم در مرحله ۶ تا ۸ برگی و یک‌سوم در مرحله ظهور غنچه گل) مصرف شد (Jami *et al*., 2018) و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل به‌صورت قبل از کاشت داخل زمین پخش و با خاک مخلوط شد. کاشت آفتابگردان در تاریخ اول خردادماه انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. پس از استقرار کامل گیاه، جهت اعمال تیمارهای آبیاری داده‌های میزان تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A از اداره هواشناسی بیرجند اخذ و بر اساس آن تیمارهای آبیاری برای هر کرت محاسبه و با کمک سیستم تحت‌فشار و توسط شیلنگ و کنتور اعمال شد. محلول‌پاشی هیومیک اسید در سه مرحله شامل چهار برگی، ظهور طبق و پر شدن دانه انجام شد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در دو مرحله در زمان داشت بلافاصله بعد از آبیاری کامل و مصرف هیومیک اسید درتاریخ‌های ۱۱ و ۲۵ مردادماه انجام گردید. در هر نوبت محلول‌پاشی، شاهد نیز با آب معمولی محلول‌پاشی شد. محلول‌پاشی در ساعات خنک بعد از ظهر (۱۶ تا ۲۰) و در روزهای تعیین شده فوق‌الذکر توسط سم‌پاش موتوری پشتی که دارای حجمی حدود دوازده لیتر بود، انجام شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز طی سه نوبت با دست انجام شد. در طول فصل رشد آفت و بیماری خاصی مشاهده نگردید.

جهت اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته و قطر طبق، تعداد ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها ثبت شد. همچنین، جهت اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک شامل عدد کلروفیل‌متر، هدایت روزنه‌ای، بین ساعات ۱۱ تا ۱۴ روز قبل از اعمال تیمارهای آبیاری، تعداد ۵ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌های مورد نظر انجام

شد. جهت اندازه‌گیری عدد کلروفیل‌متر از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 (Minolta) در آخرین برگ توسعه یافته، هدایت روزنه‌ای از دستگاه پرومتر برگ ساخت دکاگون دیوایس مدل SC-1 استفاده شد.

جهت تعیین عملکرد دانه، طبق‌های دو ردیف میانی در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (قهوه‌ای شدن طبق‌ها) پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای کرت، برداشت و پس از خرمن‌کوبی و بوجاری، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد، سپس عملکرد دانه بر مبنای ۱۲ درصد رطوبت تعیین گردید.

برای محاسبه کارایی مصرف آب دانه از رابطه زیر استفاده شد:

$$WUE = \frac{GY}{Vw}$$ رابطه ۱)

در رابطه فوق، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)، GY به مفهوم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و Vw کل حجم آب آبیاری (متر مکعب) است.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته داشت، اما اثر ساده هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آبیاری و هیومیک اسید، آبیاری و سالیسیلیک اسید بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار نشد (جدول۲).

جدول ۲. جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر اسید هیومیک، اسید سالیسیلیک و سطوح آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه	تعداد برگ در بوته	قطر طبق
تکرار	۲	۲۱۰/۹	۲/۳	۲۵/۹	۱۵۸/۵
آبیاری	۱	۶۵۲/۳ *	۰/۵ ns	۰/۵ ns	۲۷۹۴/۸**
اسید هیومیک	۲	۱۱/۳ ns	۰/۱	۱/۸	۳/۵
آبیاری × اسید هیومیک	۲	۴۰/۶ns	۱/۳ ns	۱/۴ ns	۲۶/۵ ns
خطای اول	۱۰	۷۵/۵	۰/۶	۲/۱	۳۰/۵
اسید سالیسیلیک	۱	ns۱۴۳	۰/۷ ns	۳/۲ ns	۲۶/۰۱ ns
آبیاری × اسید سالیسیلیک	۱	۷۳/۶ns	۰/۶ ns	۴/۶ ns	۳۱/۳ ns
اسید هیومیک × اسید سالیسیلیک	۲	۲۰/۳ns	۰/۶ ns	۴/۸ ns	۱۵/۵ ns
آبیاری × اسید هیومیک × اسید سالیسیلیک	۲	۲۹/۸ns	۰/۶ ns	۰/۰۳ ns	۳۹/۹ ns
خطای دوم	۱۲	۵۹/۲	۲۴/۶	۱/۶	۴۳۱۸/۷
ضریب تغییرات (درصد)		۹/۱	۸/۱	۶/۸	۹/۴

**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین۸۸ سانتی‌متر از تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر بدست آمد و با افزایش دور آبیاری از ۱۲۰ به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر ارتفاع بوته به میزان ۱۰/۷ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). کاهش ارتفاع بوته تحت شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به افت پتانسیل آب در بافت‌های گیاهی و متعاقب آن کاهش فشار آماس نسبت داد که مستقیماً باعث محدودیت در تقسیم سلولی و به‌ویژه بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود (Baghalian et al., 2011). در تأیید این نتایج، Jocković *et al.* (2024) در بررسی جامع سازگاری‌های مورفولوژیک آفتابگردان گزارش کردند که تنش خشکی به‌طور پایدار و معنی‌داری منجر به کوتاه‌تر شدن طول میان‌گره‌ها و کاهش ارتفاع نهایی بوته می‌شود. این پژوهشگران اشاره کردند که کاهش رشد رویشی (مانند ارتفاع) در واقع یک پاسخ مورفولوژیک برای کاهش سطح تبخیر و بقای گیاه در شرایط محدودیت آب است. همچنین، عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای هورمونی و کمکی (مانند اسید سالیسیلیک) بر ارتفاع بوته در این پژوهش، با یافته‌های Hosseini et al. (2026) همسو است که نشان دادند اگرچه تنش خشکی اثر کاهشی شدیدی بر ارتفاع آفتابگردان دارد، اما تأثیر مواد محرک رشد بر

این صفت همیشه به اندازه سایر اجزای عملکرد چشم‌گیر نیست. این موضوع بیانگر آن است که در آفتابگردان، صفت ارتفاع بوته بیش از آنکه تحت تأثیر محرک‌های خارجی نظیر اسید سالیسیلیک یا اسید هیومیک باشد، به شدت تحت کنترل وضعیت هیدرولیکی گیاه و شدت تنش آبی اعمال شده است.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر سطوح آبیاری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه آفتابگردان

سطوح آبیاری	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر طبق (سانتی متر)	هدایت روزنه‌ای در زمان گلدهی (میلی مول بر مترمربع در ثانیه)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
۱۲۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک	۸۸ a	۸۷/۸ a	۱۰۳/۶ a	۱۱۲۶/۹ a
۲۴۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک	۷۹/۴ b	۷۰/۲ b	۷۰/۹ b	۵۷۶/۶ b

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده دورآبیاری، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر قطر ساقه و تعداد برگ در بوته نداشت (جدول ۲). عدم معنی‌دار شدن اثر تیمارها بر قطر ساقه و تعداد برگ در بوته نشان‌دهنده پایداری نسبی این دو صفت در محدوده تنش و تیمارهای به‌کاررفته است. پاسخ صفات مورفولوژیک آفتابگردان به تنش آبی و محرک‌های رشد یکسان نیست؛ به‌طوری‌که برخی صفات نظیر ارتفاع بوته حساسیت بالاتری نشان می‌دهند، اما قطر ساقه و تعداد برگ ممکن است تغییرات کمتری داشته باشند (Jocković *et al*., 2024; Hosseini *et al*., 2026).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر دورآبیاری بر قطر طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما این صفت تحت تاثیر اثر ساده هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل هیومیک اسید وسالیسیلیک اسید با آبیاری قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین قطر طبق با میانگین ۸۲/۸ سانتی‌متر از تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر بدست آمد و با افزایش دور آبیاری از ۱۲۰ به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی قطر طبق به میزان ۲۵ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). کاهش قطر طبق در شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان ناشی از محدودیت در جذب آب و مواد مغذی و کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی دانست. مطالعات متعددی این روند کاهشی را در آفتابگردان تأیید کرده‌اند (Soleymani and Ahmadvand, 2016; Yadollahi et al., 2017). در این زمینه، Jocković et al. (2024) گزارش کردند که قطر طبق به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی عملکرد، به‌شدت تحت تأثیر وضعیت آبیاری قرار دارد؛ به‌طوری که گیاه در شرایط خشکی برای بقا و مدیریت منابع محدود، رشد زایشی را فدای حفظ فرآیندهای حیاتی می‌کند. همچنین، اگرچه Hosseini et al. (2026) نشان دادند که در برخی شرایط، محلول‌پاشی ترکیبات محرک رشد مانند اسید سالیسیلیک می‌تواند اثرات تنش را تا حدی تعدیل کند، اما در پژوهش حاضر عدم معنی‌داری تیمارهای هیومیک و سالیسیلیک اسید نشان می‌دهد که احتمالاً شدت تنش اعمال‌شده (فاصله آبیاری ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی) به‌گونه‌ای بوده که محدودیت‌های هیدرولیکی بر اثرات تعدیل‌کننده این ترکیبات غلبه کرده است.

صفات فیزیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که دور آبیاری تاثیر معنی‌داری بر عدد کلروفیل‌متر در زمان گلدهی نداشت، اما اثر سالیسیلیک اسید بر این صفت درسطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین اثر هیومیک اسید، اثرات دوگانه و سه‌گانه هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و سطوح آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات ساده نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل با میانگین ۴۴، از تیمار عدم استفاده از اسیدسالیسیلیک بدست آمد که ۴/۲ درصد بیشتر از تیمار استفاده از سالیسیلیک اسید بود (جدول ۵). کاهش اندک عدد کلروفیل‌متر در پاسخ به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در پژوهش حاضر را می‌توان به اثر بازدارندگی غلظت‌های خاصی از این ماده بر سنتز پیش‌سازهای کلروفیل یا تسریع روند پیری برگ در مرحله گلدهی تحت شرایط مزرعه نسبت داد. در همین راستا،Hosseini et al. (2026) اشاره کردند که پاسخ صفات فیزیولوژیک آفتابگردان به تنظیم‌کننده‌های رشد همیشه خطی و مثبت نیست و ممکن است بسته به تعادل هورمونی گیاه، در برخی مراحل رشد تأثیر کاهشی یا خنثی داشته باشد. همچنین،Jocković et al. (2024) تأکید کردند که ثبات عدد کلروفیل‌متر در برابر تنش‌های محیطی و تیمارهای کمکی می‌تواند نشان‌دهنده یک مکانیسم سازگاری داخلی در ژنوتیپ‌های آفتابگردان برای حفظ ظرفیت فتوسنتزی باشد؛ به طوری که گیاه لزوماً با افزایش کلروفیل به محرک‌های خارجی پاسخ نمی‌دهد.

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر اسید هیومیک، اسید سالیسیلیک و سطوح آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	عدد کلروفیل‌متر در زمان گلدهی	هدایت روزنه‌ای در زمان گلدهی	عملکرد دانه	راندمان مصرف آب دانه
تکرار	۲	۷/۷	۸۲۱/۹	۲۵۶۱۱۳/۸	۲۷۷۴/۲
آبیاری	۱	۸/۴ ns	۹۶۲۰/۳**	۲۷۲۵۵۲۵/۸*	۲۲۴ns
اسید هیومیک	۲	۳/۲	۹۴/۲	۲۸۳۵۲/۶	۱۴۰/۷
آبیاری × اسید هیومیک	۲	۰/۴ ns	۳۰۹/۳ ns	۸۱۵۶۴/۲ ns	۸۸۷ns
خطای اول	۱۰	۲/۱	۱۰۴/۵	۲۷۸۴۵/۵	۲۸۵
اسید سالیسیلیک	۱	۲۸/۴**	۲۹۴/۲ ns	۱۱۷۹۳۵ns	۱۱۲۳/۸ ns
آبیاری × اسید سالیسیلیک	۱	۴/۲ ns	۱۶۴/۳ ns	۵۹۹۸۴/۱ ns	۳۱۱
اسید هیومیک × اسید سالیسیلیک	۲	۰/۴ ns	۲۶/۷ ns	۸۵۲۵/۱ ns	۱۰۵/۵ ns
آبیاری × اسید هیومیک × اسید سالیسیلیک	۲	۰/۸ ns	۲۰۱/۵ ns	۵۸۵۳۷/۰۹ ns	۸۰۷ns
خطای دوم	۱۲	۲/۷	۱۱۵/۱	۲۹۱۲۹/۸	۴۲۹/۳
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۸	۱۲/۲	۲۰	۲۱/۶

**، * و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱، ۵٪ و غیر معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر سالیسیلیک اسید بر عدد کلروفیل‌متر در زمان گلدهی آفتابگردان

سطوح سالیسیلیک اسید (میلی‌مولار)	عدد کلروفیل متر در زمان گلدهی
صفر	۴۴ a
۰/۷۵	۴۲/۳b

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر هدایت روزنه در زمان گلدهی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۴). همچنین اثر هیومیک اسید، اثرات دوگانه و سه‌گانه هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و سطوح آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری نشان داد که هدایت روزنه در زمان گلدهی تحت تأثیر تنش، ۴۶ درصد نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کاهش پیدا کرد (جدول ۳). کاهش هدایت روزنه‌ای یکی از پاسخ‌های کلیدی گیاه به خشکی است که با محدود کردن تعرق به حفظ وضعیت آبی کمک می‌کند، هرچند می‌تواند تبادل گازی و ورود CO_2 را کاهش داده و محدودیت فتوسنتزی ایجاد کند (Jocković et al., 2024; Salami et al., 2025). در همین راستا، کاهش هدایت روزنه‌ای در سامانه‌های کم‌آبیاری نیز به‌عنوان سازوکاری مهم برای مدیریت اتلاف آب گزارش شده است (El Amine et al., 2024). همچنین گزارش شده است که کاربرد برخی ترکیبات تعدیل‌کننده تنش خشکی می‌تواند افت هدایت روزنه‌ای ناشی از کم‌آبی را تا حدی کاهش دهد؛ اثری که به بهبود تنظیم اسمزی و حفظ آماس سلول‌های نگهبان از جمله از مسیر (K^+) نسبت داده می‌شود (Esazadeh Panjali Kharabasi et al., 2017).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده، دوگانه و سه‌گانه هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و سطوح آبیاری بر کارایی مصرف آب دانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). عدم واکنش معنی‌دار این صفت به سطوح آبیاری بیانگر آن است که با افزایش شدت تنش و کاهش مقدار آب مصرفی، عملکرد دانه نیز با نسبتی مشابه کاهش یافته و در نتیجه، نسبت عملکرد به آب مصرفی (کارایی مصرف آب) ثابت مانده است. این یافته نشان می‌دهد که کارایی مصرف آب در شرایط تنش خشکی، پایداری بیشتری نسبت به عملکرد دانه از خود نشان می‌دهد (Pasban Eslam, 2011). پیچیدگی این رابطه و تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی که می‌تواند منجر به عدم واکنش معنی‌دار شود، توسط Thomas et al. (2025) نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

در خصوص عدم معنی‌داری تیمارهای هیومیک اسید و اسید سالیسیلیک نیز می‌توان استنباط کرد که این ترکیبات در شرایط این پژوهش نتوانسته‌اند تغییر مؤثری در نسبت بین عملکرد دانه و حجم آب مصرفی ایجاد کنند. هرچند مواد اصلاح‌کننده خاک و تنظیم‌کننده‌های رشد پتانسیل بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه را دارند، اما تأثیر آن‌ها بر کارایی مصرف آب همواره مستقیم و قطعی نیست و به میزان زیادی به شدت تنش و همبستگی بین اجزای عملکرد وابسته است (Jocković et al., 2024). در همین راستا، گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، شاخص‌های کارایی مصرف آب در مقایسه با عملکرد مطلق، پایداری بیشتری نشان داده و ممکن

است تحت تأثیر برخی تیمارهای مدیریتی قرار نگیرند (Salami et al., 2025). هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر، عدم پاسخ‌دهی معنی‌دار کارایی مصرف آب به تیمارهای تغذیه‌ای و تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط کم‌آبیاری، در مطالعات دیگر بر روی دانه‌های روغنی نیز گزارش شده است (El Amine et al., 2024).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که اثر دور آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر ساده هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل این تیمارها با دور آبیاری بر صفت مذکور معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۱۱۲۶/۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر بدست آمد و با افزایش دور آبیاری از ۱۲۰ به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی عملکرد دانه به میزان ۴۸/۸ درصد کاهش پیدا کرد (جدول ۳). نتایج مطالعات محققان متعددی حاکی از کاهش عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش کم‌آبی است (Seyed Sharife and Seyed Sharife, 2019; Moradi Ghahderijani *et al*., 2015). تنش کم‌آبی احتمالاً از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرآیند شده و از طرف دیگر باعث کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی و افت تعداد گلچه‌های بارور سطح طبق و در نهایت تعداد دانه در طبق شده است (Ebrahimian et al., 2019). همچنین با کاهش قطر طبق در شرایط کم‌آبی (جدول ۳) تعداد گلچه‌های موجود در طبق کاهش یافته و باعث کاهش تعداد دانه در طبق و نهایتا عملکرد دانه شده است. نتایج تحقیقی نشان داد در شرایط کم آبیاری عملکرد دانه آفتابگردان حدود ۴۰ درصد کاهش یافت (Ghaffari et al., 2020). در این تحقیق اختلال در اندازه دانه به دلیل افزایش عقیمی دانه‌های گرده (Hussain et al. 2018) و آسیب اندام فتوسنتزی به دلیل ریزش زودرس برگ (Rauf and Sadaqat 2007) دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه بودند.

علیرغم گزارش‌های متعدد مبنی بر نقش مثبت اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در تعدیل اثرات تنش خشکی، عدم معنی‌داری این ترکیبات بر عملکرد دانه در پژوهش حاضر می‌تواند ناشی از وابستگی پاسخ گیاه به عواملی نظیر شدت تنش، رقم، مرحله رشد در زمان کاربرد، غلظت و روش مصرف باشد. در همین راستا، Heidari et al. (2020) نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک در آفتابگردان، به‌ویژه به صورت مصرف خاکی، موجب بهبود عملکرد دانه شد؛ لذا تفاوت در روش کاربرد یا غلظت مصرفی می‌تواند عامل اختلاف نتایج باشد. همچنین، Karimi and Tadayyon (2018) در بررسی اثر اسید هیومیک بر برخی گونه‌های روغنی، گزارش کردند که میزان پاسخ عملکرد به سطح مصرف و شدت تنش وابسته است.

در خصوص اسید سالیسیلیک نیز نتایج پژوهش‌ها یکسان نیست؛ برای مثال Hossini et al. (2024) بهبود عملکرد آفتابگردان را گزارش کردند، در حالی که Heidari et al. (2022) اثربخشی تنظیم‌کننده‌های رشد را به شدت وابسته به شرایط آزمایش دانستند. علاوه بر این، Sajedi and Sajedi (2020) معتقدند بروز اثرات بارز اسید سالیسیلیک گاهی نیازمند مدیریت تلفیقی با سایر اصلاح‌کننده‌ها نظیر بیوچار است. بنابراین، عدم معنی‌داری این تیمارها در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که احتمالاً شرایط محیطی یا غلظت مصرفی به‌گونه‌ای بوده که تغییرات صفات فیزیولوژیک نتوانسته است به افزایش معنی‌دار عملکرد نهایی دانه منجر شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید، در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی، اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه آفتابگردان نداشت. بیشترین عملکرد دانه در آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A به‌دست آمد و افزایش دور آبیاری به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر، موجب کاهش ۴۸/۸ درصدی عملکرد دانه شد. بر اساس نتایج این پژوهش، مدیریت آبیاری مناسب نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به کاربرد هیومیک و سالیسیلیک اسید در حفظ عملکرد دانه آفتابگردان داشت. بنابراین، در شرایط این آزمایش و در منطقه بیرجند، آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاسA ، بدون نیاز به کاربرد این دو ترکیب، برای دستیابی به عملکرد دانه بالاتر مناسب‌تر بود.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: سمیرا عارفی، حامد جوادی؛ تهیه گزارش پژوهش: حامد جوادی؛ تحلیل داده‌ها: حامد جوادی

نویسندگان به طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان از هیچ نوع فناوری مبنی بر هوش مصنوعی در فرآیند نگارش استفاده نکرده اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌هایی پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

REFERENCES

Babec, B., Šeremešić, S., Hladni, N., Terzić, S., Vojnov, B., Ćuk, N., and Gvozdenac, S. (2020). Effect of intercropping sunflower with legumes on some sunflower morphological traits. *Ratar. Povrt*. 57 (2), 61-67.

Baghalian, K., Abdoshah, Sh., Khalighi-Sigaroudi, F., and Paknejad, F. (2011). Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 49: 201-207.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, *54*(5), 464–465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 1149–1178). American Society of Agronomy.

Davodi, S., MirShakari, B., MirMahmoodi, T., Yazdan Seta, S., and Farah Vash, F. (2020). Effects of seed priming with salicylic acid and ascorbic acid grain yield and yield components of sunflower under water deficit conditions. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 7(2), 253-264.

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., and Damalas, C.A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218: 149-157. https://doi.org/10.016/j.agwat.2019.03.031

El Amine, B., Mosseddaq, F., Ait Houssa, A., Bouaziz, A., Moughli, L., & Oukarroum, A. (2024). How far can the interactive effects of continuous deficit irrigation and foliar iron fertilization improve the physiological and agronomic status of soybeans grown in calcareous soils under arid climate conditions? *Agricultural Water Management*, 300, 108926. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108926

Esazadeh Panjali Kharabasi, J., Galavi, M., and Ramroudi, M. (2017). Effects of methanol spraying on qualitative traits, yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(3): 511-521.

Ghaffari, M., Andarkhor, S.A., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F., Jamali, H., and Rahmanpour, S. (2020). Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. *Helia*, 43(72):67– 81. https://doi.org/10.1515/helia- 2020-0004

Ghendov-Mosanu, A., Popovici, V., Constantinescu (Pop), C.G., Deseatnicova, O., Siminiuc, R., Subotin, I., Druta, R., Pintea, A., Socaciu, C., Sturza, R. (2023). Stabilization of Sunflower Oil with Biologically Active Compounds from Berries. *Molecules*, 28(8), 3596. https://doi.org/10.3390/molecules28083596

Gholinezhad, E., and Darvishzadeh, R. (2018). Estimates of variance components and heritability of grain yield and yield components in confectionary sunflower landraces in different levels of irrigation. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 41(2), 29-40.

Heidari, M., Paydar, A., Baradarn Firozabad, M. and Abedinin Esfalati, M. (2020). The Effect of drought stress and application of humic on quantitative yield, photosynthetic pigments, and mineralnutrients content in sunflower seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *50*(4), 51-62. doi:

http://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253008.654448
Heidari, M., Tohidimoghadam, H. R., Ghooshchi, F., Modares Sanavi, S. A. M. and Kasraie, P. (2022). Effect of seed priming and foliar application of growth regulators on morphophysiological changes and safflower grain and oil yield under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), 1073-1089. http://doi.org/10.22077/escs.2021.4216.1992
Hemati, A., Alikhani, H.A., Ajdanian, L., Babaei, M., Asgari Lajayer, B., and Van Hullebusch, E.D. (2022). Effect of different enriched vermicomposts, humic acid extract and indole-3-acetic acid amendments on the growth of *Brassica napus*. *Plants*, 11 (2), 227. https://doi.org/10.3390/plants11020227
Hossini, F., Rahnama Ghahfarokhi, A. and meskarbashee, M. (2026). Foliar application of cytokinin hormone and salicylic acid on morphological traits, yield traits of sunflower drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 36(1), 135-150. doi: http://doi.org/10.22034/saps.2024.61745.3224
Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., and Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management* 201:152–166. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028
Jami, M. Q., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S. A. M, Mokhtassi Bidgoli, A., Baghbani- Arani, A and Namdari, A. (2018). Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) *Iranian Journal of Crop Sciences*. 19(2): 151-167.
Javadi, H., Moosavi, S. G. R., Javad Seghatoleslami, M., Ebrahimi, A. R., & Kozegar, M. (2022). Effect of Methanol Spraying on some Morphophysiological Characteristics, Yield and Yield Components of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) under Drought Stress Conditions. *Plant Productions*, 45(1), 29-40.
Jocković, M., Jocić, S., Cvejić, S., Dedić, B., Jocković, J., Ćuk, N., Radanović, A., Marjanović Jeromela, A., Miklič, V., & Miladinović, D. (2024). Unveiling sunflower morphological and phenological adaptations to drought stress. *OCL – Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 31, (29), 1-12. https://doi.org/10.1051/ocl/2024026
Karimi, E., & Tadayyon, A. (2018). Effect of humic acid on the yield and some morphological characteristic of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Applied Field Crops Research*, 31(1), 19–38. https://doi.org/10.22092/aj.2018.105538.1057
Khalilvand Behrouzyar, E, and Yarnia, M. (2014). Can methanol foliar application improve the productive performance of sunflower under water deficit stress? *International Journal of Biosciences*, 5(2): 28-32.
Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., and Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1), e05908. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05908
Klute, A. (Ed.). (1986). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
Moradi Ghahderijani, M., Sadat Asilan, K., and Modarres Sanavy, S. A. M. (2015). Effect of imperovers application on seed yield and irrigation water use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(2):115 -127.
Movahhedi-Dehnavi M, Behzadi Y, Niknam N, Mohtashami R. (2019). Salicylic acid mitigates the effects of drought and salinity on nutrient and dry matter accumulation of linseed. *Plant Process and Function*, 8 (31):31-44.
Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (U.S. Department of Agriculture Circular No. 939). U.S. Department of Agriculture.
Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.). (1982). *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties* (2nd ed.). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
Pál, M., Janda, T., Majláth, I., and Szalai, G. (2020). Involvement of salicylic acid and other phenolic compounds in light-dependent cold acclimation in maize. *International Journal Molecular Sciences*, 21(6), 19942. https://doi.org/10.3390/ijms21061942
Pasban Eslam, B. (2011). Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 327–338.
Rauf, S., Sadaqat, H.A. (2007). Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Interactions*, 2(1):41–51. https://doi.org/10.1080/17429.14070.14225.12
Rehman, S.U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., and Fanizzi, F.P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(4), 1134. https://doi.org/10.3390/agronomy13041134

Sajedi, A. and Sajedi, N. A. (2020). Effect of application biochar and priming and foliar application with water and salicylic acid on physiological traits of dry land safflower. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(1), 155-169. http://doi.org/10.22077/escs.2019.1823.1426

Salami, M., Tan, H., Alizadeh, B., & Heidari, B. (2025). Photosynthetic performance, pigments and biochemicals influence seed yield in rapeseed under water deficit conditions: MGIDI index helps screening drought-tolerant genotypes. *Field Crops Research*, 322, 109733. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109733

Seyed Sharife and Seyed Sharife. (2019). Effects of different irrigation levels, methanol application, and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production)*, 21(1): 27-42.

Sinha, S. K., Srivastava, H. S., and Tripathi, R. D. (1993). Influence of some growth regulators and cations inhibition of chlorophyll biosynthesis by n maize. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, 51: 241-246

Smaeili, M., Madani, H., Majd Nassiri, B., Sajedi, N.A., and Chavoshi, S. (2022). Study of water deficiency levels on ecophysiological characteristics of sunflower cultivars in Isfahan, Iran. *Applied Water Science*, 12(5): 1-11. https://doi.org/10.1007/s13201-022-01616-4

Soleymani, F., and Ahmadvand, G. (2016). The effect of chemical, biological and organic nutritional treatments on sunflowers yield and yield components under water deficit stress. *Journal of Agroecology*, 8(1):107-119.

Tadayon, M.R., Tadayyon, A., Esmaili, S. (2021). Effect of humic acid on growth and yield indices of Sunflower (*Helianthus annuus*) in a Saline Soil. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(3):101-110.

Thomas, B., Mutayoba, E., & Makungu, E. (2025). Evaluation of crop yield response to water use efficiency in the chauru irrigation scheme, Tanzania. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 13 (9), 47-74. https://doi.org/10.4236/gep.2025.139004

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29–38.

Wyszkowski, M., Kordala, N., and Brodowska, M.S. (2023). Trace element content in soils with nitrogen fertilisation and humic acids addition. *Agriculture*, 13(5), 968. https://doi.org/10.3390/agriculture13050968

Yadollahi Dehchecsme, P., Bagheri, A. A., Amini, A., and Esmailzade Bahabadi, S. (2014). Effect of drought tension and chitosan foliar application on yield and photosynthetic pigments of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Crop Physiology Journal*, 6(21): 73-83.

Zhanga, Y., Liua, G., Gaoa, Sh., Zhanga, Zh., and Huang, L. (2023). Effect of humic acid on phytoremediation of heavy metal contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9(2023), 100235. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100235