



Quantification of the Morphophysiological Response of Sesame to Salinity Stress in Different Irrigation Methods

Vahidreza Piroozfar¹ | Amir Soltani Mohammadi^{2✉} | Saeed Boroomandnasab³ |

Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi⁴

1. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: yahidrezapiroozfar66@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.soltani@scu.ac.ir
3. Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: boroomand@scu.ac.ir
4. Department of Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.rahnama@scu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 15, 2025

Revised: Feb. 1, 2026

Accepted: Apr. 6, 2026

Published online: April. 2026

Keywords:

Chlorophyll index,

Leaf area index,

Plastic mulch.

Subsurface drip irrigation

This study was conducted to quantify the effect of different irrigation methods with saline water on the yield and yield components of the sesame cultivar Behbahan in the form of split strip plots in a randomized complete block design in the educational farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in the crop years 2021 and 2022, with three replications. The main factor included three types of irrigation methods (drip tape, drip tape with mulch, and subsurface drip tape) in vertical plots, and the sub-factor included four salinity levels (1.8, 3.5, 5, and 6.5 dS/m) in horizontal plots. The results showed that with increasing salinity stress in the three irrigation methods, leaf area index, greenness index, and whole plant dry matter decreased, and the highest value in non-stress conditions (Y_{max}) was related to the drip tape with mulch. Modeling the changes in these traits with the Gompertz model had a good fit. The highest stress tolerance threshold ($EC_{50\%}$) was observed for leaf area index (13.8 dS/m) in the drip tape with mulch, for greenness index (25.6 dS/m), and total dry matter (11 dS/m) in the subsurface drip irrigation treatment. Oil content, seed yield, and oil were also affected by salinity stress and the interaction of irrigation methods. The highest seed yield (1092 kg/ha) under stress-free conditions was obtained from the drip tape with mulch treatment, which reached a stress tolerance threshold of 62.7 dS/m.

Cite this article: Piroozfar, V., Soltani Mohamadi, A., Boroomandnasab, S., Rahnama Ghahfarokhi, A., (2026) Quantification of the Morphophysiological Response of Sesame to Salinity Stress in Different Irrigation Methods, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 57 (2), <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.407936.670070>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.407936.670070>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Irrigation with saline water can lead to soil salinization, which has adverse effects on crop production and yield. Sesame (*Sesamum indicum* L.) is an important oilseed crop that is widely cultivated in different parts of the world and in Khuzestan. It is usually cultivated from early July to early August (Attar Roshan et al., 2024). Salinity stress affects sesame growth and yield and disrupts its physiological processes.

Soil and water management methods, such as pre-planting irrigation, mulching, and irrigation methods, can increase crop productivity under saline conditions. It has been reported that plastic mulching can improve sesame seed yield under different conditions. It can also increase plant height, biomass production, and grain yield by maintaining soil moisture and reducing temperature fluctuations (Pramanik et al., 2015). Also, the timing and quality of irrigation water play a crucial role in sesame production under saline conditions. According to the above, the purpose of this research is to investigate the effect of different irrigation methods with saline water on physiological characteristics, yield, yield components, and sesame oil, and to quantify it using nonlinear regression models in the climatic conditions of Ahvaz.

Material and method:

This study was conducted in the research farm of the Faculty of Agriculture of Shahid Chamran University of Ahvaz in the form of split strip plots in a randomized complete block design in the crop years 2021 and 2022 with three replications. The main factor included three types of irrigation methods (drip tape, drip tape with mulch, and subsurface drip tape) in vertical plots, and the secondary factor included three salinity levels (1.8, 3.5, 5, and 6.5 dS/m) in horizontal plots. Each plot was 3*3 m² and the length of each line was three meters, and the distance between irrigation lines was considered to be half a meter, with a row spacing of 20 cm according to the sesame planting distance.

Salinity treatments started from the 4 to 6 leaf stage. Irrigation was carried out with a fixed interval of 5 days. The irrigation water volume was calculated based on the determination of the irrigation water depth using daily evaporation from an American Class A evaporation pan located at the field meteorological station.

To determine the yield and yield components, at the end of the growing season and when the seeds were fully ripe, after removing two rows of planting on both sides of the two center lines of each experimental plot from an area equivalent to one square meter, the plants were harvested. First, the dry matter of the experimental samples was weighed, and after separating the grains and weighing the grains of each sample, the grain yield was calculated. The nonlinear Gompers model was also used to examine the trend of changes in the indicators under study in different salinities.

Analysis of variance and comparison of the means of the experimental data were performed using Minitab software. Also, to evaluate the fit of the models, the root mean square error (RMSE) index and the coefficient of determination (R²) were used to select the best distribution function.

Result and Discussion:

The results showed that low salinity stress (3.5 dS/m) had no significant effect on sesame seed yield, but high salinity reduced it. Decreased sesame seed yield under salinity stress has also been reported in previous studies (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017). Modeling of grain yield changes showed that the Gompertz model was able to explain its changes well (R² = 0.753-0.999 and RMSE = 8.46-0.16). The results of the parameters of this model also showed that the highest grain yield in non-stressed conditions (Y_{max}) and (1092 kg/ha) the highest threshold (EC₅₀%) of stress tolerance (7.62 dS/m) were obtained with the drip tape irrigation method with plastic mulch cover, which did not differ significantly from the subsurface drip irrigation treatment.

Salinity stress reduced oil content and yield in all three irrigation methods, and these changes were less in the drip tape irrigation method with plastic mulch cover than in the other two methods. Fitting the Gompers model to these variables also indicated that this model was able to explain their changes in salinity stress to an acceptable extent. For example, R² for oil content and yield was in the range of R² = 0.753-0.999 and R² = 0.676-0.999, respectively. The parameters of this model also showed that the drip tape irrigation method with plastic mulch cover showed the highest oil percentage and yield in non-stress conditions. Also, the stress tolerance threshold in this treatment was 11.8 dS/m for oil content and 96.6 dS/m for oil yield, which was higher than the other two treatments.

Funding

The study was funded by the Shahid Chamran University of Ahvaz, Country Iran, and Grant No. SCU.WI1404.273.

Authorship contribution

First author: Student, investigation, data curation, formal analysis, writing—original draft preparation, editing.

Second author: Supervisor, conceptualization, methodology, supervision, funding acquisition, project administration, writing—review and editing.

Third author: Supervisor, conceptualization, methodology, funding acquisition, review and editing.

Fourth author: Advisors, conceptualization, methodology, writing—review and editing.

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

During the preparation of this work, the author(s) did not use artificial intelligence tools.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support.

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.

کمی سازی واکنش مورفوفیزبولوژیک کنگد به تنش شوری در روش های مختلف آبیاری

وحیدرضا پیروزفر^۱ | امیر سلطانی محمدی^۲ | سعید برومندنسب^۳ | افراسیاب رهنما قهفرخی^۴۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: vahidrezapiroozfar66@gmail.com۲. نویسنده مسئول، استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.soltani@scu.ac.ir۳. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: boroomand@scu.ac.ir۴. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.rahnama@scu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

این پژوهش به منظور کمی سازی تأثیر روش های مختلف آبیاری با آب شور بر عملکرد و اجزای عملکرد کنگد رقم بهبهان به صورت کرت های خرد شده نواری در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در مزرعه آموزشی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با سه تکرار اجراء شد. عامل اصلی شامل سه نوع روش آبیاری (قطره ای بدون پوشش مالچ پلاستیکی، قطره ای با پوشش مالچ پلاستیکی و قطره ای زیرسطحی) در کرت های عمودی و عامل فرعی شامل چهار سطح شوری (۱/۸، ۳/۵، ۵ و ۶/۵ دسی زیمنس بر متر) در کرت های افقی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش تنش شوری در سه روش آبیاری، شاخص سطح برگ، سبزیگی و ماده خشک کل بوته کاهش یافت و بالاترین میزان آن در شرایط بدون تنش (Ymax مربوط به روش آبیاری قطره ای با پوشش مالچ پلاستیکی بود. مدل سازی تغییرات این صفات با مدل گومپرتز دارای برازش خوبی بود. بالاترین آستانه تحمل به تنش (EC50%) در مورد شاخص سطح برگ (۸/۱۳ دسی زیمنس بر متر) در تیمار قطره ای با پوشش مالچ پلاستیکی، در مورد شاخص سبزیگی (۶/۲۵ دسی زیمنس بر متر) و ماده خشک کل (۱۱ دسی زیمنس بر متر) در تیمار قطره ای زیرسطحی مشاهده شد. میزان روغن، عملکرد دانه و روغن نیز تحت تأثیر تنش شوری و برهمکنش روش آبیاری قرار گرفتند. بالاترین عملکرد دانه (۱۰۹۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش از تیمار قطره ای با پوشش مالچ پلاستیکی به دست آمد که آستانه تحمل به تنش به ۷/۶۲ دسی زیمنس بر متر رسید.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۱/۱۷

تاریخ انتشار: اردیبهشت ۱۴۰۵

واژه های کلیدی:

آبیاری قطره ای زیرسطحی،

شاخص سطح برگ،

شاخص کلروفیل،

مالچ پلاستیکی

استناد: پیروزفر، وحیدرضا، سلطانی محمدی، امیر، برومندنسب، سعید، رهنما قهفرخی، افراسیاب، (۱۴۰۵) کمی سازی واکنش مورفوفیزبولوژیک کنگد به تنش شوری در روش های مختلف آبیاری، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۷ (۲)،

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.407936.670070>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2026.407936.670070>

مقدمه

شوری خاک و کمبود آب از مشکلات رایج کشاورزی و از عوامل اصلی محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک هستند به گونه ای که اثرات نامطلوب تنش شوری و خشکی می تواند تأثیر به سزایی بر بهره وری و کیفیت محصولات کشاورزی در این مناطق داشته باشد (Corwin, 2021). آبیاری با استفاده از آب شور می تواند به شور شدن خاک منجر شود و بر تولید و عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر نامطلوبی بر جای می گذارد. تنش شوری با تغییر ویژگی های خاک و اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه، عملکرد محصولات را کاهش می دهد (Ismayilov et al., 2021). شوری بالای آب آبیاری موجب افزایش هدایت الکتریکی محلول خاک و کاهش دسترسی آب برای گیاهان و سمیت یونی می شود (Chhabra and Chhabra, 2021).

کنجد یکی از گیاهان روغنی مهم است که به‌طور گسترده در نقاط مختلف جهان و در خوزستان به‌طور معمول از اوایل تیر ماه الی اوایل مرداد ماه کشت می‌شود (Attar Roshan et al., 2024). سطح زیر کشت آن در ایران حدود ۵۰ هزار هکتار و میزان تولید آن ۴۹/۸ هزار تن گزارش شده است که سهم استان خوزستان از این مقدار حدود ۱۷ هزار هکتار است (Annual report, 2022). سازگاری کنجد با اقلیم‌های متنوع و تحمل آن در برابر تنش کم آبیاری، ارزش کشاورزی آن را به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری افزایش می‌دهد (Attar Roshan et al., 2024). تولید ارقام مقاوم به ریزش دانه و تحمل به شرایط کم آبیاری، سبب شده کنجد برای کشت در اقلیم‌های مختلف، از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک، مناسب باشد (Attar Roshan et al., 2024).

تنش شوری رشد و عملکرد کنجد تأثیر می‌گذارد و فرآیندهای فیزیولوژیک آن را مختل می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که افزایش شوری به کاهش ارتفاع گیاه، وزن خشک ریشه و ساقه، اجزای عملکرد مانند تعداد کپسول و دانه در گیاه منجر می‌شود (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2021; Ha-Tran et al., 2014). کاهش رشد معمولاً با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، سرعت فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای که برای بهره‌وری گیاه ضروری هستند، همراه است (Angon et al., 2022). در شرایط تنش شوری، تعادل یونی گیاه برهم می‌خورد و غلظت‌های بالاتری از یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاه مشاهده می‌شود. این وضعیت می‌تواند به سمیت یونی و عدم تعادل تغذیه‌ای منجر شود. با این حال، برخی از ژنوتیپ‌ها می‌توانند غلظت‌های بالاتری از یون‌های پتاسیم و کلر را حفظ کنند که برای کاهش اثرات منفی شوری ضروری هستند (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014). تنوع ژنتیکی معنی‌داری در میان ژنوتیپ‌های کنجد در واکنش به شوری وجود دارد. برخی از ژنوتیپ‌ها مانند آردستان و داراب توانایی بیشتری در حفظ تعادل یونی و کارایی فتوسنتزی دارند و به همین دلیل تحمل بیشتری به شوری نشان می‌دهند (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014). این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان منابع ارزشمندی برای برنامه‌های به‌نژادی گیاه بهبود تحمل شوری در کنجد مورد استفاده قرار گیرند (Samaha et al., 2025). روش‌های مدیریت خاک و آب، مانند آبیاری پیش‌کشت، مالچ‌گذاری و روش بهینه آبیاری می‌توانند بهره‌وری محصول را در شرایط شور افزایش دهند. مطالعه بر روی ذرت نشان داد که مالچ‌گذاری، شوری خاک در ناحیه ریشه را با حفظ رطوبت و کاهش تبخیر کاهش می‌دهد (Li et al., 2023). آبیاری قطره‌ای متناوب، که شامل استفاده متناوب از آب شور و آب شیرین است، می‌تواند تنش شوری را در محصولات کاهش دهد. تیمارهای آبیاری قطره‌ای ذرت با شدت پایین‌تر شوری، به حفظ چگالی طول ریشه بالاتر نسبت به آبیاری مداوم با آب شور منجر شد (Li et al., 2023). این روش نه تنها مصرف آب شیرین را کاهش می‌دهد، بلکه از کاهش عملکرد نیز جلوگیری می‌کند و به عنوان یک راهبرد پایدار آبیاری به شمار می‌آید. سیستم‌های تخلیه زیرزمینی نقش حیاتی در کاهش شور شدن خاک دارند که با شستشوی نمک‌های اضافی از ناحیه ریشه انجام می‌شود (Feng et al., 2019). گزارش شده است که مالچ‌گذاری پلاستیکی می‌تواند عملکرد دانه کنجد را تحت شرایط مختلف بهبود بخشد. همچنین می‌تواند ارتفاع گیاه، تولید زیست توده و عملکرد دانه را با حفظ رطوبت خاک افزایش و کاهش نوسانات دما موجب شود (Pramanik et al., 2015). مالچ‌گذاری ارگانیک، مانند کاه، می‌تواند بر باروری خاک و در دسترس بودن مواد مغذی تأثیر داشته باشد (Nguyen Quoc et al., 2023). همچنین زمان‌بندی و کیفیت آب آبیاری نقش حیاتی در تولید کنجد تحت شرایط شور ایفا می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که آبیاری با آب با شوری بالا در مراحل رشد، مانند مرحله رویشی، می‌تواند بدون آسیب به عملکرد مدیریت شود (Lima et al., 2020). با این حال، آبیاری مداوم با آب با شوری بالا می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه رشد و عملکرد شود (Lima et al., 2016; Bahrami et al., 2020).

در بررسی مختاران و همکاران (۱۴۰۰) در استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای برای کشت ذرت مشخص شد، رشد و عملکرد گیاه در این سامانه نسبت به آبیاری سطحی به علت بالا نگه داشتن پتانسیل آب خاک بهتر از سامانه آبیاری سطحی بوده است. گاطع زاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز در بررسی تأثیر دور آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر تغییرات شوری خاک و عملکرد گیاه ذرت برای مناطق مرکزی خوزستان گزارش کردند، بیشترین نسبت کاهش شوری با دور آبیاری ۲ روزه در هر دو سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای نواری بدست آمد. همچنین بیشترین آبیاری در عمق آبیاری ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و عمق ۲۵-۳۰ سانتیمتری سامانه تیپ صورت گرفت. بیشترین عملکرد علوفه تا (۱۳/۷ تن در هکتار) و خشک (۹/۳ تن در هکتار) گیاه ذرت و بهترین بهره‌وری آب (۱/۷ کیلوگرم در متر مکعب) در سامانه آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) با دور آبیاری دو روزه به دست آمد. بیات و همکاران (Bayat et al., 2021) در مطالعه کاربرد انواع مالچ در سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر برخی خصوصیات ذرت علوفه ای گزارش کردند، استفاده از مالچ موجب بهبود خصوصیات گیاه ذرت علوفه‌ای نسبت به شاهد شد و از شدت اثرات منفی شوری آب

آبیاری کاسته است. خوش سیما و نوری (۱۳۹۸) نیز در بررسی تاثیر تنش شوری بر ارقام مختلف ذرت در شرایط سامانه آبیاری قطره‌ای مشاهده کردند که میزان شوری و سدیم خاک رابطه مستقیم با شوری آب آبیاری و طول دوره رشد ارقام ذرت داشته و رابطه عکس با عمق خاک دارد. با توجه به مطالب بیان شده هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر روش‌های مختلف آبیاری با آب شور بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد، اجزای عملکرد و روغن کنجد و کمی‌سازی آن با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی در شرایط اقلیمی اهواز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه، در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهر اهواز و حاشیه غربی رود کارون انجام شد. خصوصیات اقلیمی و تاکسونومی خاک منطقه در جدول ۱ و پارامترهای هواشناسی در طول آزمایش در جدول ۲ آمده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال‌های زراعی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ با سه تکرار اجراء شد. عامل اصلی شامل سه نوع روش آبیاری (قطره‌ای بدون پوشش مالچ پلاستیکی، قطره‌ای با پوشش مالچ پلاستیکی و قطره‌ای زیرسطحی) در کرت‌های عمودی و عامل فرعی شامل سه سطح شوری (۱/۸، ۳/۵، ۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) در کرت‌های افقی قرار گرفت.

جدول ۱. خصوصیات اقلیمی و تاکسونومی خاک محل اجرای آزمایش

| تاکسونومی خاک | | | خصوصیات اقلیمی | | | | | | | | |
|---|---------------------|----------|----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|-------|
| فامیل خاک | زیرگروه خاک | رده خاک | رژیم رطوبی خاک | رژیم حرارتی خاک | میانگین دمای (سانتی گراد) | پتانسیل تبخیر سالانه (میلی متر) | میانگین بارش (میلی متر) | ارتفاع از سطح دریا اقلیم (متر) | طول جغرافیایی (درجه) | عرض جغرافیایی (درجه) | |
| Fine loamy, carbonatic, Calcarious, Hyperthermic. | Aridic Ustifluvents | Entisols | Ustic | Hyperthermic | ۳۲/۶ | ۲۷۸۸ | ۲۲۰ | خشک | ۹ | ۴۸/۲۸ | ۳۱/۲۰ |

جدول ۲. برخی پارامترهای هواشناسی محل اجرای آزمایش

| ماه | دمای حداقل (°C) | دمای حداکثر (°C) | دمای متوسط (°C) | میزان بارندگی (mm) |
|----------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|
| فروردین | ۷/۵ | ۳۸/۲ | ۲۳ | ۲۲/۶ |
| اردیبهشت | ۱۶ | ۴۴/۲ | ۳۰ | ۱۱/۲ |
| خرداد | ۲۲ | ۴۹/۲ | ۳۶/۶ | ۰/۶ |
| تیر | ۲۳/۴ | ۵۰ | ۳۷ | ۰ |
| مرداد | ۲۳/۹ | ۵۰/۶ | ۳۷/۵ | ۰/۱ |
| شهریور | ۱۹/۸ | ۴۸/۳ | ۳۴ | ۰/۲ |
| مهر | ۱۴ | ۴۴ | ۲۹ | ۳/۲ |
| آبان | ۶/۷ | ۳۵ | ۲۲ | ۳۰/۶ |
| آذر | ۳/۹ | ۲۹ | ۱۷ | ۵۲/۶ |
| دی | ۰/۸ | ۲۴ | ۱۲ | ۴۸/۹ |
| بهمن | ۳ | ۲۷ | ۱۵ | ۳۷ |
| اسفند | ۵/۵ | ۳۴ | ۲۰ | ۲۶ |

نحوه اجرای تیمارها

این پژوهش از اواسط تیرماه هم‌زمان با تاریخ آماده سازی شروع شد و کاشت گیاه کنجد رقم بهبهان در ۲۸ تیرماه هر سال انجام شد. برداشت کنجد در سال اول در تاریخ‌های ۲۸ و ۲۹ مهره ماه و در سال دوم در تاریخ‌های ۲۴ و ۲۵ مهرماه صورت گرفت. رقم بهبهان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایستگاه بهبهان تهیه گردید. جهت اجرای روش آبیاری قطره‌ای با مالچ پوششی، پس از اجرای روش نوار تیپ، روی خطوط تیپ لایه پلاستیک به عرض نیم متر و طول ۳/۵ متر قرار گرفت و با رنگ نقره‌ای

پوشش داده شد، در وسط نوار پلاستیکی برای انجام عملیات کاشت شکافی ایجاد شد. برای اجرای روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز در هر خط شیارهایی به عمق ۲۰ سانتی‌متر ایجاد شد و سپس با خاک پوشیده شد. هر کرت در ابعاد سه متر در سه متر و طول هر خط سه متر و فاصله خطوط آبیاری با توجه به فاصله کشت کنگد، نیم متر فاصله کشت روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله نقاط آبدار در نوارهای تیپ و لوله آبدار زیرزمینی ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

تعیین خصوصیات خاک و برنامه ریزی آبیاری

به‌منظور تعیین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از محل اجرای تحقیق از اعماق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر انجام شد (جدول ۳). آماده‌سازی زمین با شخم و دیسک سبک انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل ۴ پشته با فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول سه متر در نظر گرفته شد. بذرها هر رقم پس از ضدعفونی و مخلوط کردن با ماسه به صورت دستی در دو خط کاشت روی هر پشته با فاصله خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر روی هر پشته در عمق دو تا سه سانتی‌متری کشت شد. هر ردیف به‌صورت تصادفی به یک سطح شوری و یک روش آبیاری اختصاص یافت. لوله اصلی آبیاری با قطر ۳۲ میلی‌متر نصب شد و برای هر سه کرت یک انشعاب سه چهارم اینچ با کنتور نصب گردید. در هر کرت، ۵ خروجی آب به قطر ۱۰ میلی‌متر ایجاد و به روش آبیاری قطره‌ای یا قطره‌ای زیرسطحی متصل شد. در کرت‌های زیرسطحی، شیارهای عمیق حفر و لوله‌های آبدار قرار گرفت و در کرت‌های قطره‌ای، نوار پلاستیکی برای کاشت بذر نصب شد.

سطوح مختلف شوری براساس میزان شوری زه آب منطقه که در محدوده ۶ تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر بود تعیین شد. لذا شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شوری زه آب و شوری‌های ۵ و ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر نیز به نسبت‌های مختلف اختلاط در نظر گرفته شد. برای تهیه سطوح مختلف شوری، ابتدا ۱۵ هزار لیتر زه آب کشاورزی با شوری ۲۱۷ دسی‌زیمنس بر متر از یکی از زهکش‌های نزدیک به شهرستان ماهشهر تهیه و به محل کشت انتقال داده شد. سپس این میزان زه آب در یک مخزن ۵۰۰۰ لیتری و ۵ مخزن ۲۰۰۰ لیتری برای تهیه سطوح مختلف شوری در دو سال کشت ذخیره شد. برای تهیه سطوح مختلف شوری پس از محاسبه نیاز آبیاری براساس روش اختلاط به آب کارون درون مخازن براساس رابطه (۱) زه آب اضافه شد تا آب با سطوح مختلف شوری و در حجم مورد نیاز بدست آید. برای اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی سطوح مختلف شوری از دستگاه Ec سنج استفاده شد.

$$ECa = \frac{(ECr.Vr) + (ECd.Vd)}{(Vr + Vd)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

ECa: هدایت الکتریکی آب هدف، ECr: هدایت الکتریکی آب رودخانه، Vr: حجم آب خام رودخانه و Vd: حجم زه آب

شروع اعمال تیمارهای شوری از مرحله ۴ تا ۶ برگی بود. آبیاری با دور ثابت ۵ روز صورت پذیرفت. از آبیاری سوم تا آبیاری آخر حجم آب آبیاری بر اساس تعیین میزان عمق آب آبیاری با استفاده از تبخیر روزانه از تشت تبخیر کلاس A آمریکایی مستقر در ایستگاه هواشناسی مزرعه روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید. مقادیر پارامترهای این روابط در طول دوره در شکل ۱ آمده است.

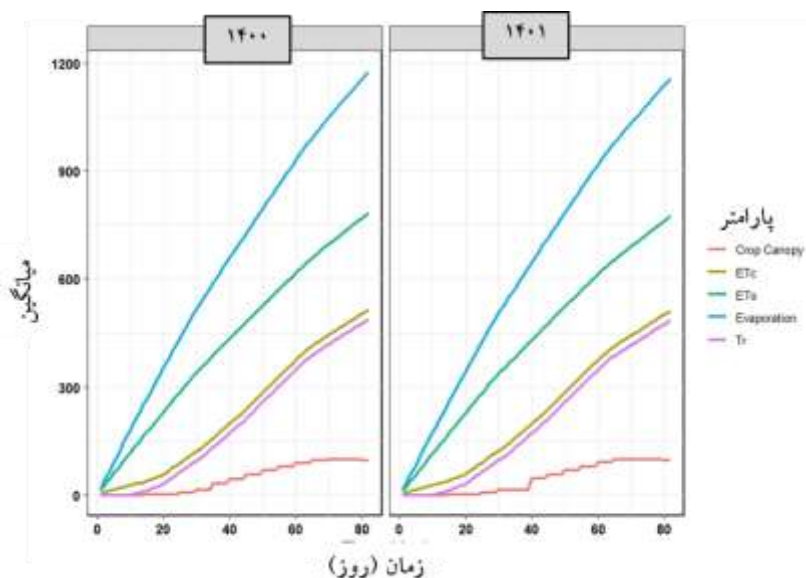
$$ET_o = kp \times ET_p \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$ET_c = kc \times ET_o \quad \text{رابطه (۳)}$$

ET_o: تبخیر تعرق گیاه مرجع برحسب میلی‌متر بر روز، kp: ضریب تشت تبخیر، ET_p: میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر بر حسب میلی‌متر بر روز، ETC: تبخیر تعرق واقعی گیاه کنگد بر حسب میلی‌متر بر روز، kc: ضریب گیاهی کنگد (جدول ۴).
بر اساس پژوهش شکری و همکاران (۱۳۹۵) ضریب تشت تبخیر برای منطقه اهواز برای ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۶۶۵، ۰/۶۸ و ۰/۶۸ می‌باشد.

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

| عمق خاک (cm) | درصد ذرات | | | جرم مخصوص ظاهری (g cm ⁻³) | رطوبت نقطه پژمردگی دائم (%) | رطوبت نقطه ظرفیت زراعی (%) | هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS m ⁻¹) | pH | کربن آلی (%) | نیتروژن (mgkg ⁻¹) | فسفر (mgkg ⁻¹) | پتاسیم (mgkg ⁻¹) |
|--------------|-----------|------|------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|------|--------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | رس | سیلت | شن | | | | | | | | | |
| ۲۰-۰ | ۲۳/۹ | ۵۰/۸ | ۲۵/۳ | ۱/۵۲ | ۱۴ | ۳۲ | ۲/۷۵ | ۸/۲۵ | ۰/۵۱ | ۰/۰۶ | ۱۲/۶ | ۱۱۷ |
| ۴۰-۲۰ | ۲۴/۴ | ۵۱/۲ | ۲۴/۴ | ۱/۵۶ | ۱۵ | ۳۳ | ۲/۶۴ | ۸/۱۷ | ۰/۵۳ | ۰/۰۸ | ۱۲/۱ | ۱۳۱ |
| ۶۰-۴۰ | ۲۳/۷ | ۵۰/۷ | ۲۵/۶ | ۱/۶۲ | ۱۴ | ۳۲ | ۲/۵۶ | ۷/۹۷ | ۰/۴۸ | ۰/۰۴ | ۱۱/۶ | ۱۱۳ |



شکل ۱. میزان تبخیر از تشت برای دو سال کشت در طول دوره آبیاری (Evaporation)، میزان تبخیر و تعرق مرجع برای دو سال کشت در طول دوره آبیاری (ETO)، تبخیر و تعرق گیاه کنگد (ETC)، درصد سطح سایه انداز (Crop canopy) و تبخیر و تعرق با احتساب سطح سایه انداز (Tr)

جدول ۴. ضریب گیاهی کنگد در هر مرحله رشدی به صورت روزانه (سلامتی و دانایی، ۱۳۹۵)

| مرحله رشد تا برداشت گیاه | مرحله جوانه | رشد سریع | رشد سریع | رشد سریع | پوشش کامل | پوشش کامل | رسیدگی | رسیدگی | رسیدگی |
|--------------------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| تعداد روز در هر مرحله | ۴ | ۶ | ۱۲ | ۱۲ | ۲۰ | ۱۶ | ۱۰ | ۶ | ۴ |
| Kc | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۶ | ۰/۸۳ | ۱ | ۰/۸ | ۰/۶ | ۰/۴۳ | ۰/۲۸ |

اندازه گیری پارامترها

به منظور اندازه گیری شاخص سطح برگ، ابتدا از خط میانی کاشت در هر کرت آزمایشی به طور تصادفی ۵ بوته انتخاب و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج اندازه گیری شد. از تقسیم سطح برگ به سطح زمین اشغال شده شاخص سطح برگ محاسبه شد. به منظور برآورد غلظت کلروفیل در برگها از دستگاه کلروفیل متردستی (مدل spad-502 کمپانی Minolta) استفاده شد. بدین منظور در ساعت ۱۱ روز قبل از آبیاری در هر کرت از گیاه وسط واحد آزمایشی سه برگ توسعه یافته انتخاب شد و از سه نقطه جداگانه هر برگ عدد اسپد قرائت شد و میانگین این سه نقطه به عنوان عدد کلروفیل آن واحد آزمایشی لحاظ گردید. برای تعیین محتوای نسبی آب، ابتدا وزن تر نمونه برگ (FW) اندازه گیری شد و سپس نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق داخل آب مقطر غوطه ور قرار داده و پس از این زمان وزن آماس نمونه (TW) خوانده شد. سپس نمونهها ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و وزن خشک (DW) تعیین و در فرمول زیر قرار گرفت (Sanchez et al., 1998).

$$RWC (\%) = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

جهت تعیین وزن خشک بوته یک متر از خطوط کناری هر کرت به طور کامل برداشت شد، سپس برگ و ساقه بوتهها جدا و در درون آون با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد و سپس هر بخش به صورت مجزا وزن شد و وزن خشک، برگ، ساقه و کل بوته در مترمربع محاسبه شد. برای تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، در پایان فصل رشد و هنگام رسیدگی کامل دانهها، پس از حذف دو ردیف کاشت از دو طرف از دو خط وسط هر کرت آزمایشی از سطحی معادل یک متر مربع، بوتهها برداشت و پس از قرار دادن در انبارهای مخصوص به مدت دو تا سه هفته و رسیدن رطوبت دانه به حدود ۷ درصد خشک شدند. ابتدا ماده خشک نمونههای آزمایشی توزین شد، و پس از جدا کردن دانهها و توزین دانههای هر نمونه، عملکرد دانه محاسبه شد. برای تعیین تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول نیز ۱۰ بوته انتخاب و تعداد کپسول در هر بوته شمارش شده و متوسط آنها تعیین شد. وزن هزار دانه نیز از متوسط چهار گروه ۱۰۰ تایی بذرها شمارش و توزین شده و در ۱۰ ضرب گردید و به عنوان وزن هزار دانه در نظر گرفته شد. درصد روغن

با دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه محاسبه شد.

بررسی روند تغییرات شاخص‌ها

از مدل‌های رگرسیونی مختلفی (خطی و غیرخطی) می‌توان برای توصیف تغییرات رابطه بین دو متغیر استفاده کرد. مدل‌های رگرسیونی غیرخطی لجستیک، گومپرتز، ریچاردز، ویبول، نمایی خطی، نمایی خطی بریده، نمایی خطی متقارن و بتا که به طور گسترده استفاده شده‌اند. این مدل‌ها بر تیمارهای مختلف در آزمایش برآزش می‌شوند، پارامترهای آنها بدست می‌آید که هر کدام دارای یک مفهوم زیست‌شناختی است و به کمک این پارامترها می‌توان تیمارهای آزمایشی را مقایسه کرد. در این مطالعه بررسی روند تغییرات شاخص‌های مورد بررسی در سطوح مختلف شوری‌های از مدل غیرخطی گومپرتز (رابطه ۴) استفاده شد (Parmoon et al., 2019):

$$Y = Y_{max} \times \exp\left(-\exp\left(\frac{(S - EC_{50\%})}{Slope}\right)\right) \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه Y صفت مورد نظر، Y_{max} : حداکثر مقدار صفت، $EC_{50\%}$: شوری رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر صفت یا آستانه تحمل به تنش (دسی‌زیمنس بر متر)، S: شوری (دسی‌زیمنس بر متر) و Slope: شیب منحنی می‌باشد.

ارزیابی برآزش مدل‌ها

برای ارزیابی برآزش مدل‌ها از شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و از ضریب تبیین (R^2) برای انتخاب بهترین تابع توزیع استفاده شد (Burnham and Anderson., 2002):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{Y} - Y_i)^2} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

در این روابط، X_i برابر با مقدار پیش‌بینی شده در موقعیت i است، Y_i عنصر واقعی در همان موقعیت \bar{Y} میانگین کل است. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت. جهت برآزش مدل‌های مورد نظر بر روی داده‌ها از سیگماپلات نسخه ۱۴ استفاده شد و پارامترهای به دست آمده از مدل، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. تجزیه به مؤلفه اصلی و ماتریس heatmap نیز با نرم افزار R نسخه ۴،۳،۲،۱ صورت گرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس شاخص سطح برگ نشان داد که اثرات سال، سال در روش آبیاری، برهمکنش سال در تنش شوری و برهمکنش روش آبیاری در تنش شوری معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح شوری در هر سه روش آبیاری، شاخص سطح برگ کاهش یافت. به عنوان مثال شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش به ترتیب ۵۳، ۳۴ و ۳۳ درصدی شاخص سطح برگ در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای + پوشش مالچ شد (جدول ۶). نتایج مدل‌سازی این صفت در سطوح مختلف شوری نیز نشان داد که مدل گومپرتز توانست به‌خوبی تغییرات این شاخص را توجیه نماید ($EMSE = 0/54 - 0/27$ و $R^2 = 0/0 - 873/961$). پارامترهای این مدل نشان داد که بالاترین شاخص سطح برگ (۵/۷۸) در شرایط بدون تنش (Y_{max}) از روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی به دست آمد. همچنین این روش آبیاری بالاترین $EC_{50\%}$ را به خود اختصاص داد که نشان‌دهنده افزایش آستانه تحمل به شوری است که در سیستم آبیاری قطره‌ای پس از ۷/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر شاخص سطح برگ ۵۰ درصد کاهش نشان داد، ولی این کاهش در تیمار قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی در شوری ۸/۱۳ دسی‌زیمنس بر متر صورت می‌گیرد (جدول ۷).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی کنگد

| منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | |
|-------------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | | شاخص سطح برگ | شاخص کلروفیل | محتوای نسبی آب برگ | وزن خشک |
| سال | ۱ | ۰/۳۸۶** | ۱۴/۳ ^{ns} | ۲۰/۱۴۶ ^{ns} | ۴۶۱۸ ^{ns} |
| تکرار | ۴ | ۰/۱۱ | ۱۹۳/۶ | ۶۳۶۰ | ۹۱۱۱ |
| روش آبیاری | ۲ | ۴/۶۵ ^{ns} | ۹۷۰/۴** | ۱۴۲۲۳۰ ^{ns} | ۵۶۵۸۴۴ ^{ns} |
| سال × آبیاری | ۲ | ۱/۴۲** | ۱۴/۸ ^{ns} | ۱۳۸۹۰** | ۱۸۷۶ ^{ns} |
| روش آبیاری × تکرار | ۸ | ۰/۲۲ | ۵/۱ | ۸۳/۴ | ۹۴۶۷۷ |
| شوری | ۳ | ۱۰/۵۱ ^{ns} | ۴۴۵۴۶ ^{ns} | ۷۶۱۲۹۰** | ۵۴۵۱۶۰۱** |
| شوری × سال | ۳ | ۳/۱۹** | ۱۴/۸ ^{ns} | ۱۳۱۹۴** | ۷۶۹۴۰ ^{ns} |
| شوری × روش آبیاری | ۶ | ۶/۱۲* | ۱۶۲۰** | ۳۰۹۰ ^{ns} | ۲۴۱۶۳۹۴** |
| شوری × روش آبیاری × سال | ۶ | ۱/۰۵ ^{ns} | ۹/۷ ^{ns} | ۱۶۸ ^{ns} | ۴۵۴۸۳ ^{ns} |
| خطا | ۳۶ | ۰/۱۶ | ۱۳/۴ | ۵۵/۲ | ۴۴۵۷۲ |
| ضریب تغییرات | - | ۱۰/۲۹ | ۶/۶۹ | ۱/۴۸ | ۱۱/۰ |

ns: معنی دار نیست، * و **: به ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار است

جدول ۶. مقادیر میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیک کنگد در سطوح مختلف شوری

| متغیر | روش آبیاری | شوری (dSm ⁻¹) | | |
|--------------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | ۱/۸ | ۳/۵ | ۵/۰ |
| شاخص سطح برگ | قطره‌ای | ۴/۵۰ ± ۱/۳ ^b | ۳/۶۰ ± ۰/۹ ^{de} | ۳/۵۲ ± ۰/۹ ^{ef} |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۴/۷۱ ± ۱/۳ ^b | ۴/۹۴ ± ۱/۵ ^{ab} | ۳/۶۰ ± ۰/۱ ^{de} |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۵/۰۱ ± ۱/۴ ^a | ۴/۹۶ ± ۰/۹ ^{ab} | ۳/۹۱ ± ۰/۹ ^{cd} |
| شاخص کلروفیل | قطره‌ای | ۵۴/۱ ± ۱/۴ ^{ab} | ۴۶/۷ ± ۱/۱ ^{bc} | ۳۰/۹ ± ۱/۳ ^{cd} |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۵۶/۹ ± ۰/۹ ^{ab} | ۵۲/۴ ± ۱/۴ ^{ab} | ۳۵/۶ ± ۱/۱ ^{cd} |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۶۱/۳ ± ۰/۸ ^a | ۵۹/۴ ± ۱/۳ ^{ab} | ۴۱/۱ ± ۱/۰ ^{bc} |
| وزن خشک برگ (mg. m ⁻²) | قطره‌ای | ۵۸۷/۳ ± ۳۸/۶ ^{bc} | ۵۳۹/۶ ± ۲۱/۸ ^{cd} | ۴۶۹/۴ ± ۸۴/۵ ^{ef} |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۶۰۰/۸ ± ۳۴/۷ ^{bc} | ۶۱۳/۸ ± ۳۲/۴ ^{ab} | ۴۹۸/۳ ± ۲۲/۵ ^{de} |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۶۱۵/۶ ± ۱۰/۸ ^{ab} | ۶۶۹/۶ ± ۱۰/۸ ^a | ۵۴۷/۸ ± ۸/۴ ^{cd} |
| وزن خشک ساقه (mg. m ⁻²) | قطره‌ای | ۱۰۹۰/۲ ± ۱۰۴/۳ ^{cd} | ۱۰۹۲/۵ ± ۷۸/۳ ^{cd} | ۹۷۹/۵ ± ۲۸/۸ ^{de} |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۱۱۳۸/۰ ± ۶۵/۵ ^{bc} | ۱۱۰۲/۲ ± ۲۸/۳ ^{bc} | ۱۰۶۳/۹ ± ۱۸/۲ ^{bc} |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۱۲۳۶/۰ ± ۱۰۹/۷ ^a | ۱۲۵۴/۷ ± ۲۴/۳ ^a | ۱۱۵۶/۱ ± ۶۵/۳ ^{ab} |
| مجموع وزن خشک (mg. m ⁻²) | قطره‌ای | ۱۶۹۶/۵ ± ۷۶/۵ ^{bc} | ۱۶۲۲/۱ ± ۳۲/۸ ^{bc} | ۱۴۴۸/۹ ± ۶۵/۰ ^{de} |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۱۷۳۸/۸ ± ۳۰/۳ ^{bc} | ۱۷۱۶/۰ ± ۲۰/۱ ^{bc} | ۱۵۶۲/۲ ± ۶۴/۳ ^{cd} |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۱۸۵۱/۶ ± ۹۹/۱ ^{ab} | ۱۹۲۴/۳ ± ۳۱/۵ ^a | ۱۷۰۳/۹ ± ۳۰/۶ ^{bc} |

طبق بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که پاسخ گیاه کنگد به تنش شوری شامل پاسخ فیزیولوژیک، مواد محلول سازگار، فعالیت آن‌تی اکسیدانی، هومئوستازی یونی و انتخاب یون‌ها و هورمونی است. در پاسخ فیزیولوژیک، گیاه تغییرات در آناتومی برگ، مانند برگ‌های ضخیم‌تر و روزنه‌های کوچک‌تر ایجاد می‌کند که این امر موجب کاهش اتلاف آب و محافظت از سیستم فتوسنتزی گیاه می‌شود (Chowdhury et al., 2017; Acosta-Motos et al., 2017). در این مطالعه نیز تغییرات شاخص سطح برگ در کنگد جهت افزایش تحمل به تنش شوری بوده است (جدول ۷). همچنین استفاده از مواد مالچ مانند باقی‌مانده‌های ارگانیک یا مالچ پلاستیکی می‌تواند محیط خاک مناسبی برای رشد گیاهان ایجاد کند (Khalifa et al., 2024). مالچ با کاهش تبخیر، حفظ رطوبت و تعدیل دمای خاک، سلامت خاک را بهبود می‌بخشد. این اثرات به‌ویژه در شرایط تنش شوری مفید هستند، جایی که در دسترس بودن آب خاک و نوسانات دما می‌توانند فشار بیشتری به گیاهان وارد کنند. علاوه بر این، مالچ‌ها به‌عنوان یک مانع طبیعی در برابر شوری خاک عمل می‌کنند و با کاهش حرکت

صعودی نمک‌ها به ناحیه ریشه، از این مشکل جلوگیری می‌کنند به همین خاطر شاخص سطح برگ در اثر استفاده از مالچ پلاستیکی بهبود یافت (Khalifa et al., 2024).

شاخص کلروفیل

شاخص کلروفیل نیز تحت تأثیر برهمکنش روش آبیاری در سطوح مختلف شوری قرار گرفت (جدول ۵). تنش شوری در سطوح پایین اثر معنی‌داری بر میزان سبزی‌نگی برگ‌های کنجد نداشت، ولی شدت‌های بالای شوری موجب کاهش این شاخص شد. در شوری ۶/۵ دسی زیمنس بر متر شاخص کلروفیل در روش آبیاری قطره‌ای ۵۲ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۴۷ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی ۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۶). مدل‌سازی تغییرات این صفت نیز نشان داد که مدل گومپرتز توانست به خوبی تغییرات آن را توجیه نماید ($EMSE = ۶/۴ - ۵۳/۴۳$ و $R^2 = ۰/۹۲۵ - ۰/۹۶۲$). نتایج پارامترهای این مدل نیز نشان داد که بالاترین شاخص سبزی‌نگی در شرایط بدون تنش (Y_{max}) مربوط به روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی (۶۵/۰۵) و بالاترین آستانه ($EC_{50\%}$) تحمل به تنش از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به دست آمد به طوری که در این تیمار در شوری ۶/۲۵ دسی زیمنس بر متر شاخص سبزی‌نگی ۵۰ درصد کاهش یافت (جدول ۷).

شهبازی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف کنجد به تنش شوری گزارش کردند که شوری موجب کاهش میزان کلروفیل در این گیاه شد. مطالعات تونا و همکاران (Tuna et al., 2008) نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری محتوای کلروفیل در ذرت کاهش می‌یابد. تنش شوری در اثر جلوگیری از ساخته شدن کلروفیل یا سرعت بخشیدن به تجزیه آن توسط آنزیم کلروفیلاز (Reddy and Vora, 2002) و نیز فتواکسید شدن کلروفیل به واسطه گونه‌های فعال اکسیژنی (Alonso et al., 2001) موجب می‌گردد تا غلظت کلروفیل در گیاهان کاهش یابد. در این مطالعه همچنین روش آبیاری قطره‌ای + مالچ پلاستیکی کاهش تبخیر، حفظ رطوبت و تعدیل دمای خاک موجب کاهش تاثیرات منفی تنش شوری بر این صفت شده است. مالچ‌ها به عنوان یک مانع طبیعی در برابر شوری خاک عمل می‌کنند و با کاهش حرکت صعودی نمک‌ها به ناحیه ریشه، از این مشکل جلوگیری می‌کنند به همین خاطر میزان کلروفیل در اثر استفاده از مالچ پلاستیکی بهبود یافت (Khalifa et al., 2024).

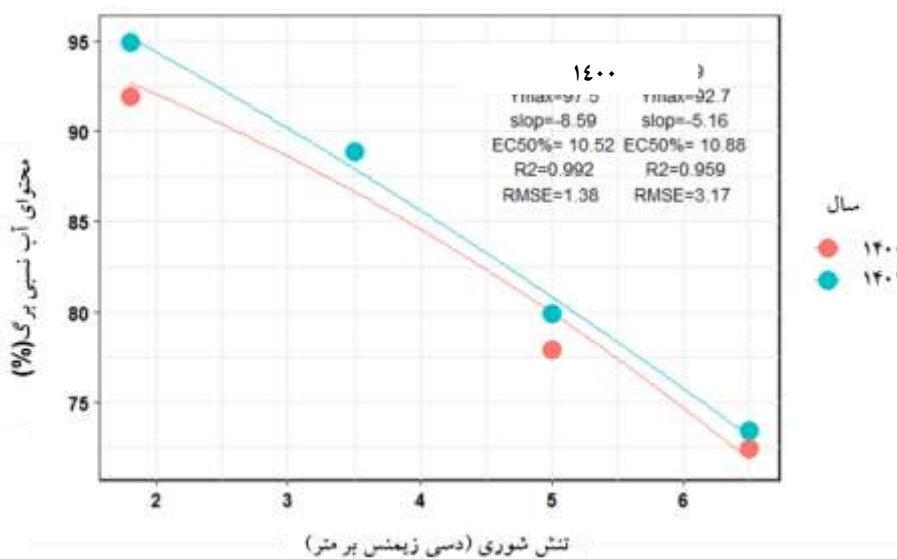
جدول ۷. مقادیر پارامتر برآورد شده مدل رگرسیونی سطوح مختلف شوری برای ویژگی‌های فیزیولوژیک کنجد در تحت تأثیر روش آبیاری

| پارامتر برآورد شده | | | | | روش آبیاری | متغیر |
|--------------------|----------------|--------------------------|----------|------------------|---------------------|--------------------------------------|
| RMSE | R ² | EC _{50%} (ds/m) | Slope | Y _{max} | | |
| ۰/۴۸ | ۰/۹۲۱ | ۷/۰۴±۰/۸ | -۲/۴±۰/۸ | ۴/۹۶±۱/۸ | قطره‌ای | شاخص سطح برگ |
| ۰/۵۴ | ۰/۸۷۳ | ۷/۸۱±۱/۳ | -۲/۲±۱/۲ | ۵/۲۲±۱/۶ | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۰/۲۷ | ۰/۹۶۳ | ۸/۱۳±۰/۸ | -۲/۹±۱/۵ | ۵/۷۸±۱/۴ | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۴/۴۳ | ۰/۹۶۲ | ۴/۱۴±۲/۴ | -۵/۹±۳/۴ | ۵۷/۳±۸/۵ | قطره‌ای | شاخص کلروفیل |
| ۵/۳۹ | ۰/۹۴۱ | ۶/۲۵±۱/۹ | -۴/۳±۱/۸ | ۶۳/۰±۹/۲ | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۶/۵۳ | ۰/۹۲۵ | ۵/۸۷±۴/۳ | -۲/۷±۲/۵ | ۶۵/۰±۲/۸ | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۹/۰۳ | ۰/۹۹۵ | ۸/۹۴±۰/۸ | -۵/۸±۳/۳ | ۵۹۰/۰±۹۷/۳ | قطره‌ای | وزن خشک برگ (mg. m ⁻²) |
| ۴۷/۵ | ۰/۸۷۷ | ۹/۰۵±۲/۷ | -۲/۷±۱/۴ | ۶۵۹/۰±۸۹/۶ | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۶۴/۹ | ۰/۷۱۶ | ۹/۰۶±۱/۴ | -۱/۹±۰/۵ | ۶۵۴/۰±۳۵/۱ | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۲۶/۵ | ۰/۹۸۲ | ۹/۱۱±۱/۰ | -۲/۱±۱/۰ | ۱۱۵۹/۰±۷۰/۲ | قطره‌ای | وزن خشک ساقه (mg. m ⁻²) |
| ۸/۷۵ | ۰/۹۹۵ | ۹/۸۱±۰/۶ | -۱/۹±۰/۴ | ۱۱۵۳/۸±۱۸/۶ | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۳۵/۸ | ۰/۹۵۰ | ۹/۲۴±۱/۸ | -۱/۶±۱/۲ | ۱۲۶۴/۰±۵۹/۰ | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۳۳/۶۹ | ۰/۹۸۸ | ۹/۳۸±۸/۰ | -۲/۹±۱/۳ | ۱۸۴۲/۰±۵۵/۶ | قطره‌ای | مجموع وزن خشک (mg. m ⁻²) |
| ۴۴/۹۵ | ۰/۹۶۱ | ۱۱/۰۴±۳/۲ | -۲/۳±۱/۲ | ۱۸۵۶/۲±۳۴/۶ | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۱۰۰/۰ | ۰/۸۶۹ | ۹/۲۴±۳/۱ | -۱/۷±۲/۳ | ۱۹۱۹/۲±۸۵/۲ | قطره‌ای + پوشش مالچ | |

محتوای آب نسبی برگ

نتایج محتوای نسبی آب برگ نیز علاوه بر اثرات اصلی سال و تنش شوری تحت تأثیر برهمکنش سال در تنش شوری قرار گرفت (جدول ۵). تنش شوری موجب کاهش محتوای آب نسبی برگ در هر دو سال زراعی شد. به عنوان مثال در سال زراعی ۱۴۰۰ تنش شوری ۶/۵

دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۱ درصد محتوای آب نسبی برگ شد که این تغییرات در سال ۱۴۰۱ به ۲۳ درصد رسید (شکل ۲). برازش مدل گومپرتز بر این شاخص در هر دو سال زراعی نیز مناسب بود ($EMSE = 3/17 - 1/38$ و $R^2 = 0/952 - 0/992$). طبق پارامترهای مدل نیز بالاترین میزان محتوای آب نسبی در شرایط بدون تنش به ترتیب ۹۲/۷ و ۹۷/۵ درصد در هر دو سال زراعی به ثبت رسید (شکل ۲). آستانه تحمل به تنش نیز در محدوده ۱۰/۵۲ و ۱۰/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب برای این دو سال برآورد شد (شکل ۲). تعادل اسمولیتی سلولی جهت حفاظت از ساختارهای سلولی یکی دیگر از روش‌های تحمل به تنش در گیاهان است که این امر حفظ محتوای رطوبت نسبی را به همراه دارد. نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای نسبی آب در گیاه در تنش شوری ملایم (۱/۸ و ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش غیر معنی‌دار داشت و آستانه تحمل به تنش ۱۰/۵ تا ۱۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر است که نشان می‌دهد در شوری‌های بالا محتوای آب نسبی کنگد کاهش پیدا می‌کند (شکل ۲). طبق گزارش‌های صورت گرفته اسمولیتی سلولی نقش مهمی در مهار گونه‌های اکسیژن و اکنش‌پذیر و تثبیت آنزیم‌ها ایفا می‌کنند. همچنین با فعال کردن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز به گونه‌های اکسیژن و اکنش‌پذیر پاسخ می‌دهند تا سم‌زدایی کرده و پراکسیداسیون لیپید را کاهش دهند (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2016; Tariq and Shahbaz, 2020). بنابراین گیاه کنگد با حفظ محتوای نسبی آب یک تحمل نسبی به تنش شوری نشان می‌دهد. همچنین استفاده از مواد مالچ می‌تواند تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک مختلف کنگد بگذارد و به گیاه کمک کند تا با تنش شوری به‌طور مؤثرتری مقابله کند. مالچ به حفظ رطوبت خاک کمک می‌کند و تأثیر منفی شوری بر جذب آب را کاهش می‌دهد. این موضوع با بهبود پتانسیل آب برگ و محتوای نسبی آب در گیاهان مالچ شده نسبت به گیاهان بدون مالچ نشان داده می‌شود که نتایج این مطالعه نیز مؤید این مطلب است (Kakabouki et al., 2023). همچنین در شرایط تنش شوری، کنگد اغلب با عدم تعادل در توزیع یون‌ها مواجه می‌شوند و تجمع بیش از حد یون سدیم در بافت‌ها اتفاق می‌افتد. مالچ می‌تواند به تنظیم جذب یون‌ها کمک کند و محتوای یون سدیم را کاهش دهد و نسبت‌های K^+/Na^+ را بهبود بخشد (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012). علاوه بر این، گزارش شده است، مالچ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش می‌دهد و محافظت کننده‌های اسمزی انباشت می‌کند که به مقابله با آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از شوری کمک می‌کنند (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012). بنابراین روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی با اثرگذاری بر میزان تبخیر و تعرق گیاه، از جذب املاح بیشتر در شرایط تنش جلوگیری نموده و از این طریق باعث کاهش اثرات منفی تنش می‌شود، اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به علت راندمان کمتر آن در توزیع رطوبت در زیر خاک تأثیرات کمتر از مالچ پلاستیکی داشت است.



شکل ۲. نمودار رگرسیون و پارامترهای برآورد شده برای محتوای نسبی آب کنگد در سطوح مختلف شوری

عملکرد ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس ماده خشک برگ، ساقه و کل بوته نشان داد، که روش آبیاری تنها بر وزن خشک برگ و ساقه معنی‌دار بود، اما تنش شوری و برهمکنش روش آبیاری در تنش شوری بر وزن خشک هر سه صفت معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد

که در اثر شوری وزن خشک برگ، ساقه و کل بوته کاهش یافت که این تغییرات در سطوح پایین تنش شوری غیرمعنی‌دار، ولی در شوری‌های بالاتر از ۵ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار بود. شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۳۰، ۲۱ و ۲۵ درصدی وزن خشک برگ، ساقه و کل بوته در روش آبیاری قطره‌ای شد که این تغییرات در مورد روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ۱۷، ۴۷ و ۱۶ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی به ۱۶، ۱۵ و ۱۵ درصد رسید (جدول ۶).

نتایج برآزش مدل گومپرتز بر وزن خشک اندام‌های گیاه نیز نشان داد که این مدل توانست تغییرات آن‌ها را در سطوح مختلف تنش شوری برای هر سه روش آبیاری به‌خوبی توجیه نماید. برای مثال R^2 برای برگ ($R^2 = 0.995 - 0.950$)، ساقه ($R^2 = 0.995 - 0.950$) و کل بوته ($R^2 = 0.998 - 0.869$) قابل قبول بود. پارامترهای خروجی مدل نیز نشان داد که وزن خشک برگ در شرایط بدون تنش در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی یکسان و در محدوده ۶۵۴ تا ۶۵۹ گرم در مترمربع بود و در تنش شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک برگ ۵۰ درصد ($EC_{50\%}$) کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین مشخص شد که بین روش آبیاری قطره‌ای و قطره‌ای زیرسطحی در شرایط بدون تنش از نظر وزن خشک ساقه تفاوتی وجود نداشت و مقدار Y_{max} در حدود ۱۱۵۳ تا ۱۱۵۹ گرم در متر مربع بود، ولی در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی به ۱۲۶۴ گرم در مترمربع افزایش یافت. آستانه تحمل به تنش نیز در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاتر از دو روش دیگر بود. نتایج وزن خشک کل بوته نیز نشان داد که آستانه تحمل به تنش وزن خشک کل بوته در روش قطره‌ای زیرسطحی (۱۱/۰۴ دسی‌زیمنس بر متر) بالاتر از قطره‌ای (۹/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر) و قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی (۹/۲۴ دسی‌زیمنس بر متر) بود (جدول ۷).

تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی رشد گیاه از جمله وزن خشک بوته و سطح برگ را کاهش داد. کاهش این اجزا به علت کاهش سطح برگ، میزان کلروفیل و تغییرات در محتوای آب نسبی بود که موجب کاهش توان فتوسنتزی و تولیدی گیاه و در نهایت کاهش وزن خشک شده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، شوری با ایجاد سمیت یون‌ها به‌دلیل انباشته شدن یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی بر رشد و سطح برگ گیاه تاثیر منفی می‌گذارد و کاهش رشد اندام‌های مختلف گیاه را به همراه دارد (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017).

اجزای عملکرد

نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد دانه (وزن هزار دانه، تعداد کپسول و تعداد دانه در کپسول) نشان داد، که روش آبیاری تنها بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود، اما تنش شوری و برهمکنش روش آبیاری در تنش شوری بر تمام اجزای عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در اثر تنش شوری اجزای عملکرد دانه کاهش یافت که این تغییرات در سطوح پایین تنش شوری غیر معنی‌دار، ولی در شوری‌های ۵ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر معنی‌دار بود (جدول ۹). تنش شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش به ترتیب ۸، ۷ و ۵ درصدی وزن هزار دانه در روش‌های آبیاری قطره‌ای، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی شد. تغییرات تعداد کپسول در بوته نیز در تنش شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به ۴۳، ۳۲ و ۲۳ و تغییرات تعداد دانه در کپسول به ترتیب به ۱، صفر و ۵ در روش‌های آبیاری قطره‌ای، قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی رسید (جدول ۹).

نتایج برآزش مدل گومپرتز بر اجزای عملکرد دانه نیز نشان داد که این مدل توانست تغییرات آن‌ها را در سطوح مختلف تنش شوری برای هر سه روش آبیاری به‌خوبی توجیه نماید. به‌عنوان مثال R^2 برای وزن هزار دانه ($R^2 = 0.991 - 0.719$)، تعداد کپسول ($R^2 = 0.994 - 0.499$) و تعداد دانه در کپسول ($R^2 = 0.964 - 0.499$) قابل قبول بود. پارامترهای خروجی مدل نیز نشان داد که وزن هزار دانه در شرایط بدون تنش در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی یکسان و در محدوده ۲/۳۵ تا ۲/۳۶ گرم بود و در تنش شوری ۸/۱۵ تا ۸/۴۶ دسی‌زیمنس بر متر وزن هزار دانه ۵۰ درصد کاهش یافت. همچنین مشخص شد که بین روش آبیاری در شرایط بدون تنش از نظر تعداد دانه کپسول تفاوتی وجود نداشت و مقدار Y_{max} در حدود ۵۸/۹ تا ۵۷/۵ عدد بود. آستانه تحمل به تنش از نظر این صفت در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (۷/۹ دسی‌زیمنس بر متر) بالاتر از قطره‌ای (۶/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر) و قطره‌ای + مالچ پلاستیکی (۶/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج مربوط به تعداد کپسول در بوته نیز مشخص کرد که بالاترین تعداد کپسول در بوته (۸۴/۴ عدد) در شرایط بدون تنش از روش آبیاری قطره‌ای + مالچ پلاستیکی بدست آمد که این تیمار به‌همراه روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بالاترین آستانه تحمل به تنش (۷/۴۹ و ۷/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر) را نیز به ثبت رساندند (جدول ۱۰).

نتایج نشان داد که در گیاه کنجد اجزای عملکرد در سطوح پایین تنش شوری تغییر معنی‌دار نداشته، ولی با شدت یافتن تنش شوری کاهش معنی‌داری در آنها مشاهده شد. همچنین طبق نتایج مدل رگرسیونی، روش آبیاری به‌ویژه قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی

می‌تواند آستانه تحمل به تنش ($EC_{50\%}$) در گیاه را افزایش دهد. به‌عنوان مثال آستانه تحمل به تنش شوری از نظر وزن هزار دانه، تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول به ترتیب ۱، ۲ و ۵/۰ دسی زیمنس بر متر افزایش یافت که این امر افزایش تحمل به تنش شوری در این گیاه را نشان دهد و می‌تواند به عنوان یک راه کار جهت افزایش تولید گیاه در مناطق با محدودیت آب شیرین روبرو هستند قابل توصیه باشد. کاهش تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه کنگد در شرایط تنش شوری در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017). تعداد دانه در کپسول در اثر شوری بیشتر از اجزای عملکرد دیگر کاهش یافت. همچنین تعداد کپسول در بوته و وزن دانه در مرتبه بعدی بودند. پایین‌تر بودن آستانه تحمل به تنش در تعداد دانه در کپسول به همین علت می‌باشد (جدول ۱۰). همچنین تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی رشد گیاه از جمله وزن خشک بوته و سطح برگ را کاهش داد (جدول ۹). کاهش این اجزا موجب کاهش توان فتوسنتزی و تولیدی گیاه شده که سبب کاهش اجزای عملکرد شده است. شوری با ایجاد سمیت یون‌ها در بافت‌های گیاهی بر رشد و سطح برگ گیاه تاثیر منفی می‌گذارد و موجب کاهش انتقال اسمولیت‌های فتوسنتزی از اندام‌هایی رویشی به زایشی شده و کاهش اجزای عملکرد را سبب می‌شود (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017).

جدول ۸. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد کنگد تحت تأثیر روش آبیاری و شوری

| میانگین مربعات | | | | تعداد کپسول | وزن هزار دانه | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------|-------------------------|
| عملکرد روغن | حجم روغن | عملکرد دانه | تعداد دانه در هر کپسول | | | | |
| ۴۱۹/۳ ^{ns} | ۳۱/۹۱ ^{ns} | ۱۲/۷۳ ^{ns} | ۱/۸۳ ^{ns} | ۰/۱۱ ^{ns} | ۰/۰۲۴ ^{ns} | ۱ | سال |
| ۲۸۸/۳۴ | ۹/۹۹ | ۸۴۷/۲۱ | ۱۲/۲۴ | ۷/۲۶ | ۰/۰۲۸ | ۴ | تکرار |
| ۶۱۰۰/۷ ^{**} | ۴۳/۹۷ [*] | ۱۶۷۷۴۷/۰ ^{**} | ۳۲/۹۷ ^{ns} | ۱۴۳۸/۱ ^{**} | ۰/۰۷۵ ^{ns} | ۲ | روش آبیاری |
| ۳۲/۶۸ ^{ns} | ۰/۹۴ ^{**} | ۱۱۰/۷۲ ^{ns} | ۳/۱۱ ^{ns} | ۰/۹۵ ^{ns} | ۰/۰۰۷ ^{ns} | ۲ | سال × روش آبیاری |
| ۳۷/۰۴ | ۰/۰۲ | ۵۱۶/۰۹ | ۳/۰۴ | ۴/۴۲ | ۰/۰۰۸ | ۸ | روش آبیاری × تکرار |
| ۱۶۴۰۴/۳ ^{**} | ۱۳۹/۳ ^{**} | ۲۱۴۹۷۹/۹ ^{**} | ۲۲/۶۸ [*] | ۱۸۴۳/۱ ^{**} | ۰/۰۵۳ [*] | ۳ | شوری |
| ۲۳/۴۳ ^{ns} | ۳/۱۳ ^{**} | ۷۷۸/۵۹ ^{ns} | ۲/۱۳ ^{ns} | ۶/۶۷ ^{ns} | ۰/۰۰۵ ^{ns} | ۳ | شوری × سال |
| ۶۱۵۵/۵ ^{**} | ۱/۰۱ ^{**} | ۱۲۸۱۶۳/۶ ^{**} | ۴۴/۶۷ ^{**} | ۱۰۹۸/۹ ^{**} | ۰/۱۰۴ ^{**} | ۶ | شوری × روش آبیاری |
| ۱۳/۶۴ ^{ns} | ۰/۰۳ ^{ns} | ۴۳۱/۵۵ ^{ns} | ۴/۱۸ ^{ns} | ۳/۶۹ ^{ns} | ۰/۰۱۰ ^{ns} | ۶ | شوری × روش آبیاری × سال |
| ۹۱/۶۶ | ۰/۰۵ | ۱۸۴۹/۵۷ | ۵/۳۹ | ۱۵/۸۵ | ۰/۰۱۰ | ۳۶ | خطا |
| ۱۳/۵۶ | ۱/۱۸ | ۱۱/۸۶ | ۹/۰۹ | ۱۱/۸۶ | ۷/۵۷ | - | ضریب تغییرات (%) |

ns: معنی‌دار نیست، * و **: به ترتیب در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی‌دار است

عملکرد دانه

عملکرد دانه نیز علاوه بر اثرات اصلی، تحت تأثیر برهمکنش روش آبیاری در سطوح مختلف شوری قرار گرفت (جدول ۸). تنش شوری در سطوح پایین (۳/۵ دسی زیمنس بر متر) اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه کنگد نداشت، ولی شدت‌های بالای شوری موجب کاهش آن شد (جدول ۹). تنش شوری ۶/۵ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش ۳۵ درصدی عملکرد دانه در روش آبیاری قطره‌ای شد که این تاثیرات منفی در روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی به ۴۷ درصد و در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی به ۲۲ درصد رسید (جدول ۸). مدل‌سازی تغییرات عملکرد دانه نشان داد که مدل گومپرتز توانست به‌خوبی تغییرات آن را توجیه نماید ($R^2 = 0.753 - 0.999$) و ($RMSE = 8/46 - 0/16$). نتایج پارامترهای این مدل نیز نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (۱۰۹۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط بدون تنش (Y_{max}) و بالاترین آستانه ($EC_{50\%}$) تحمل به تنش (۷/۶۲ دسی زیمنس بر متر) مربوط به روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی به دست آمد که با تیمار آبیاری قطره‌ای زیر سطحی تفاوت قابل‌توجهی نداشت (جدول ۱۰).

نتایج نشان داد که گیاه کنگد یک تحمل نسبی به تنش شوری داشت به طوری که عملکرد آن در سطوح پایین تنش شوری تغییر معنی‌دار نداشت، ولی با شدت یافتن تنش شوری به ۵ و ۶/۵ دسی زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری (کاهش ۲۲ تا ۴۷ درصدی در روش‌های مختلف آبیاری) در عملکرد این گیاه مشاهده شد. کاهش عملکرد دانه کنگد در شرایط تنش شوری در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017). کاهش عملکرد دانه در شرایط شوری و بهبود آن در اثر استفاده از مالچ پلاستیکی در این مطالعه بیشتر به علت تغییرات در تعداد دانه در کپسول و در مرتبه بعدی تعداد کپسول در بوته و

وزن دانه است (جدول ۹). تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی رشد گیاه از وزن خشک بوته و سطح برگ را کاهش می‌دهد (جدول ۷). کاهش این اجزا موجب کاهش توان فتوسنتزی و تولیدی گیاه شده که این امر موجب کاهش اجزای عملکرد و در نهایت کاهش عملکرد دانه را به همراه دارد. همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شد، شوری با ایجاد سمیت یون‌ها به‌دلیل انباشته شدن یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی بر رشد و سطح برگ گیاه تاثیر منفی می‌گذارد که این تاثیرات بسته به ژنوتیپ دارای شدت‌های متفاوتی است که این امر کاهش توان تولیدی گیاه را به همراه دارد (Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2014; Bekele et al., 2017). مالچ به‌عنوان یک راهبرد مؤثر برای بهبود بهره‌وری محصولات در شرایط تنش غیرزیستی، از جمله شوری، به‌طور گسترده‌ای شناخته شده است. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که استفاده از پوشش مالچ می‌تواند آستانه تحمل به تنش شوری را در مورد عملکرد دانه، تعداد کپسول در بوته و وزن هزار دانه به ترتیب ۵، ۳۵ و ۱۴ درصد در تیمار آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی نسبت به آبیاری قطره‌ای افزایش یافت (جدول ۹). همچنین مالچ پلاستیکی با تنظیم جذب یون‌ها، محتوای یون سدیم را کاهش و نسبت‌های پتاسیم به سدیم را بهبود بخشید (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012). همچنین بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و محافظت‌کننده‌های اسمزی در اثر مالچ افزایش یافته که این امر موجب افزایش توان تولیدی گیاه در شرایط تنش شوری را سبب می‌شود (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012). در این مطالعه روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی با اثرگذاری بر میزان تبخیر و تعرق گیاه، از جذب املاح بیشتر در شرایط تنش جلوگیری نموده و از این طریق باعث کاهش اثرات منفی تنش بر عملکرد دانه می‌شود، اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به علت راندمان کمتر آن در توزیع رطوبت در زیر خاک تاثیرات کمتر از مالچ پلاستیکی داشت.

جدول ۹. مقادیر میانگین عملکرد و اجزای عملکرد کنجد در سطوح مختلف شوری تحت تأثیر روش آبیاری

| شوری (dSm ⁻¹) | | | | روش آبیاری | متغیر |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
| ۶/۵ | ۵ | ۳/۵ | ۱/۸ | | |
| ۲/۱۰±۰/۰۶ ^d | ۲/۲۸±۰/۰۲ ^{bc} | ۲/۳۲±۰/۰۲ ^b | ۲/۲۹±۰/۰۴ ^{bc} | قطره‌ای | وزن هزار دانه (g) |
| ۲/۱۴±۰/۰۵ ^d | ۲/۲۸±۰/۰۵ ^{bc} | ۲/۰۴۳±۰/۰۶ ^a | ۲/۳۰±۰/۰۳ ^b | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۲/۱۹±۰/۰۴ ^{cd} | ۲/۳۰±۰/۰۴ ^b | ۲/۴۰±۰/۰۴ ^a | ۲/۳۰±۰/۰۲ ^b | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۳۲/۴±۳/۰۷ ^e | ۵۰/۹±۳/۷۱ ^{de} | ۶۱/۸±۲/۹۴ ^{bc} | ۵۷/۵±۵/۷۰ ^{cd} | قطره‌ای | تعداد کپسول |
| ۳۷/۳±۲/۴۶ ^e | ۳۸/۱±۲/۸۸ ^e | ۶۲/۰±۲/۵۳ ^{bc} | ۵۸/۴±۳/۰۹ ^{cd} | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۶۰/۲±۳/۸۱ ^{bc} | ۷۳/۸±۲/۳۶ ^{ab} | ۹۲/۸±۱/۹۳ ^a | ۷۷/۷±۳/۳۰ ^{ab} | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۵۷/۶±۰/۳۶ ^d | ۶۲/۹±۰/۵۵ ^a | ۵۶/۶±۰/۸۸ ^{bc} | ۵۷/۷±۰/۳۳ ^{bc} | قطره‌ای | تعداد دانه در هر کپسول |
| ۵۸/۸±۰/۹۸ ^{ab} | ۶۰/۰±۰/۹۴ ^a | ۵۸/۲±۱/۷۱ ^{abc} | ۵۸/۳±۰/۶۶ ^{abc} | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۵۷/۲±۰/۳۲ ^{bc} | ۵۹/۵±۰/۷۰ ^{ab} | ۵۸/۹±۱/۴۲ ^{cd} | ۵۹/۷±۱/۰۴ ^{ab} | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۴۹۴/۶±۹/۹ ^f | ۴۹۵/۴±۲۱/۶ ^{ef} | ۸۰۴/۰±۱۳/۷ ^{cd} | ۷۶۱/۱±۲۶/۸ ^{de} | قطره‌ای | عملکرد دانه (kg ha ⁻¹) |
| ۵۰۳/۴±۲۶/۶ ^f | ۶۹۷/۷±۴۳/۵ ^{de} | ۸۴۰/۹±۵۰/۰ ^{bc} | ۹۴۶/۳±۶۹/۱ ^{bc} | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۷۸۲/۸±۲۰/۷ ^{cd} | ۹۵۳/۵±۳۳/۷ ^{bc} | ۱۲۰۲/۴±۲۴/۱ ^a | ۱۰۰۲/۹±۳۳/۰ ^b | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۲۷/۹±۴/۷ ^d | ۳۳/۶±۱/۶ ^{cd} | ۴۰/۹±۲/۴ ^{ab} | ۳۸/۳±۱/۵ ^{bc} | قطره‌ای | حجم روغن (/) |
| ۳۳/۹±۲/۶ ^{cd} | ۳۸/۳±۳/۴ ^{bc} | ۴۱/۹±۲/۳ ^{ab} | ۴۲/۰±۳/۴ ^{ab} | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۳۳/۷±۱/۶ ^{cd} | ۳۸/۲±۲/۵ ^{bc} | ۴۷/۶±۱/۳ ^a | ۴۵/۵±۲/۳ ^a | قطره‌ای + پوشش مالچ | |
| ۱۳۷/۸±۱۴/۷ ^e | ۱۶۶/۳±۴/۳ ^{de} | ۳۲۸/۸±۱۰/۴ ^{bc} | ۲۹۱/۴±۹/۱ ^b | قطره‌ای | عملکرد روغن (kg ha ⁻¹) |
| ۱۷۰/۶±۱۳/۵ ^e | ۲۶۶/۹±۹/۳ ^e | ۳۵۱/۹±۹/۴ ^{bc} | ۳۹۷/۳±۸/۰ ^{cd} | قطره‌ای زیرسطحی | |
| ۲۶۳/۵±۵/۹ ^{de} | ۳۶۰/۴±۱۱/۶ ^{bc} | ۵۷۲/۲±۷/۷ ^a | ۴۵۵/۹±۷/۸ ^b | قطره‌ای + پوشش مالچ | |

جدول ۱۰. مقادیر پارامتر برآورد شده مدل رگرسیونی سطوح شوری برای عملکرد و اجزای عملکرد کنگد در تحت تأثیر روش آبیاری

| متغیر | روش آبیاری | پارامتر برآورد شده | | | |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|-----------|--------------------------|----------------|
| | | Y _{max} | Slope | EC _{50%} (ds/m) | R ² |
| وزن هزار دانه (g) | قطره‌ای | ۲/۳۱±۰/۰۲ | -۰/۷۳±۰/۳ | ۷/۴۱±۰/۵ | ۰/۹۹۱ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۲/۳۶±۰/۱۰ | -۰/۹۵±۱/۸ | ۸/۱۵±۳/۰ | ۰/۷۴۵ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۲/۳۵±۰/۰۷ | -۰/۹۴±۱/۹ | ۸/۴۶±۳/۹ | ۰/۷۱۹ |
| تعداد کپسول | قطره‌ای | ۶۲/۸±۲/۶ | -۲/۲۳±۱/۴ | ۵/۶۲±۲/۲ | ۰/۹۹۴ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۷۷/۴±۵/۷ | -۳/۸۸±۱/۳ | ۷/۴۹±۳/۷ | ۰/۷۳۵ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۸۴/۴±۶/۵ | -۱/۰۵±۲/۰ | ۷/۶۲±۲/۲ | ۰/۶۹۵ |
| تعداد دانه در هر کپسول | قطره‌ای | ۵۷/۶±۱/۸ | ۰/۵۳±۱/۸ | ۶/۴۲±۲/۴ | ۰/۵۸۴ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۵۸/۴±۳/۶ | -۰/۸۲±۰/۳ | ۷/۹۰±۴/۸ | ۰/۴۰۹ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۵۸/۹±۴/۰ | -۰/۹۵±۳/۳ | ۶/۴۸±۴/۳ | ۰/۸۰۷ |
| عملکرد دانه (kg ha ⁻¹) | قطره‌ای | ۹۹۵/۵±۵۷/۹ | -۳/۸۱±۲/۸ | ۷/۲۲±۱/۱ | ۰/۷۳۱ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۱۰۸۱/۷±۳۱/۵ | -۲/۶۹±۰/۱ | ۷/۵۰±۳/۵۱ | ۰/۹۹۹ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۱۰۹۲/۵±۷۱/۲ | -۱/۰۵±۲/۱ | ۷/۶۲±۲/۲ | ۰/۶۹۴ |
| حجم روغن (%) | قطره‌ای | ۳۹/۶±۲/۲ | -۴/۲۱±۰/۸ | ۷/۹۳±۱/۷ | ۰/۹۹۹ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۴۱/۵±۵/۳ | -۱/۵۸±۲/۰ | ۸/۱۱±۲/۶ | ۰/۸۵۶ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۴۴/۶±۶/۲ | -۱/۳۴±۲/۳ | ۸/۲۱±۰/۴ | ۰/۷۵۳ |
| عملکرد روغن (kg ha ⁻¹) | قطره‌ای | ۳۰۸/۱±۷/۵ | ۳/۰۶±۰/۵ | ۶/۰۳±۰/۱ | ۰/۹۹۹ |
| | قطره‌ای زیرسطحی | ۴۰۸/۶±۶/۶ | -۱/۹۹±۳/۶ | ۶/۳۶±۱/۵ | ۰/۷۶۶ |
| | قطره‌ای + پوشش مالچ | ۴۶۷/۱±۹/۰ | -۱/۱۰±۲/۱ | ۶/۹۶±۱/۲ | ۰/۶۷۶ |

محتوا و عملکرد روغن

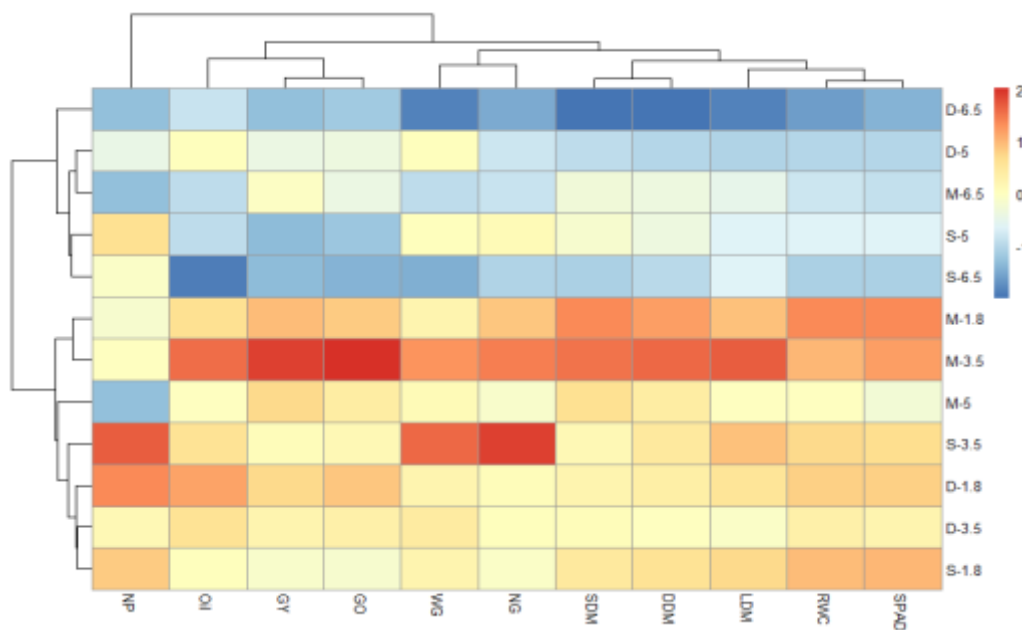
محتوا و عملکرد روغن نیز تحت تأثیر روش آبیاری، تنش شوری، برهمکنش روش آبیاری در تنش شوری قرار گرفت (جدول ۸). تنش شوری موجب کاهش محتوا و عملکرد روغن در هر سه روش آبیاری شد که این تغییرات در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی کمتر از دو روش دیگر بود. به‌عنوان مثال، تنش شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر موجب کاهش ۲۶ درصدی حجم روغن و ۴۲ درصد عملکرد روغن در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی شد (جدول ۹). برازش مدل گومپرتز بر این متغیرها نیز مشخص نمود که این مدل توانست تغییرات آن‌ها در تنش شوری را به شکل قابل قبولی توجیه نماید. به‌عنوان مثال R² برای محتوا و عملکرد روغن به ترتیب در محدوده ۰/۹۹۹-۰/۷۵۳ و R² = ۰/۹۹۹-۰/۶۷۶ بود. پارامترهای این مدل نیز نشان داد، روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی بالاترین درصد و عملکرد روغن در شرایط بدون تنش را نشان داد. همچنین آستانه تحمل به تنش در این تیمار در مورد محتوای روغن ۸/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر و در مورد عملکرد روغن ۶/۹۶ دسی‌زیمنس بر متر بود که از روش آبیاری قطره‌ای (به ترتیب ۴ و ۱۶ درصد در مورد درصد روغن و عملکرد روغن) و قطره‌ای زیرسطحی (به ترتیب ۲ و ۱۰ درصد در مورد درصد روغن و عملکرد روغن) بالاتر بود (جدول ۱۰).

کاهش محتوای و عملکرد روغن کنگد در شرایط تنش خشکی (Najafi and Safari, 2011) و شوری (Vadaliya Bhumika et al., 2019; Bahrami et al., 2016) در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. اختلافات ژنتیکی در مقاومت به شوری بر محتوای روغن تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های مقاوم به نمک در شرایط تنش نسبت به ژنوتیپ‌های حساس، کارایی روغن بالاتری حفظ می‌کنند (Bahrami et al., 2016; Bazrafshan and Ehsanzadeh, 2016). تنش شوری می‌تواند از طریق سه مکانیسم اصلی باعث کاهش محتوای روغن در گیاهان شود. کاهش جریان آب و در نتیجه کاهش دسترسی به آب برای فرآیندهای بیوشیمیایی، اختلال در فرآیند آب‌رسانی گیاه و جذب مواد معدنی ضروری، و مهار فعالیت آنزیم‌های کلیدی در مسیر لیپوژنز در سنتز روغن است (Balasubramaniam et al., 2023). شوری بالا باعث افزایش پتانسیل اسمزی خاک شده و جذب آب توسط ریشه‌های گیاه را دشوار می‌سازد. کاهش دسترسی به آب، خود یک عامل محدودکننده برای بسیاری از فرآیندهای متابولیکی، از جمله سنتز روغن، محسوب می‌شود. همچنین تنش شوری

می‌تواند عملکرد طبیعی سلول‌های گیاهی در انتقال آب را مختل کند. علاوه بر این، افزایش غلظت نمک‌ها در خاک می‌تواند جذب عناصر غذایی ضروری مانند فسفر و نیتروژن را که برای رشد و سنتز لیپیدها مورد نیاز هستند، کاهش دهد. یون‌های نمکی در شرایط تنش شوری می‌توانند به طور مستقیم بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در مسیر سنتز اسیدهای چرب و در نهایت روغن تأثیر بگذارند. این آنزیم‌ها برای سنتز چربی‌ها و روغن ضروری هستند و اختلال در فعالیت آن‌ها منجر به کاهش تولید روغن می‌شود (Arif et al., 2020; Yadav et al., 2011). مالچ پلاستیکی نیز با تنظیم جذب یون‌ها، بهبود محتوای یون سدیم، پتاسیم، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و محافظت کننده‌های اسمزی موجب کاهش تاثیرات تنش شوری و افزایش روغن می‌شود (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012).

ماتریس هیت‌مپ و دندروگرام

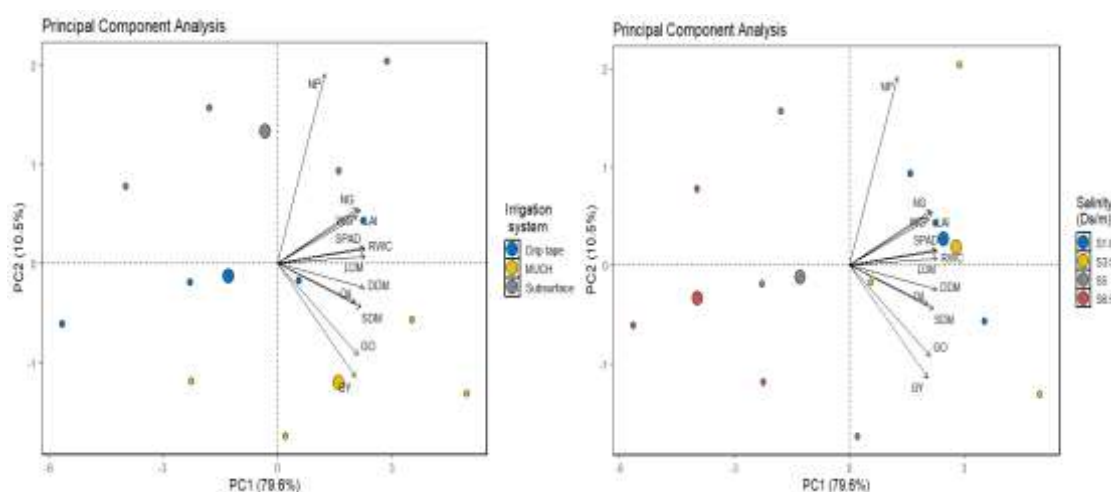
بررسی ماتریس هیت‌مپ و دندروگرام روش‌های آبیاری و تنش شوری نشان داد که برای اکثر صفات مورد مطالعه به‌ویژه عملکرد دانه و روغن، تیمارهای قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی در سطوح پایین شوری (۱/۸ و ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر) بیشترین مقدار را نشان دادند (رنگ‌های قرمز در شکل ۳). هرچند که روش قطره‌ای در سطوح بالای شوری کمترین مقدار صفات را به خود اختصاص داد، ولی نتایج نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی اثر تعدیل‌کننده و افزایش در صفات اندازه‌گیری شده در شرایط تنش شوری را دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز تایید کننده این مطلب است. مالچ پلاستیکی با تنظیم جذب یون‌ها، محتوای یون سدیم را کاهش و نسبت‌های پتاسیم به سدیم را بهبود بخشید (Kakabouki et al., 2023; Porcel et al., 2012).



شکل ۳. ماتریس نقشه حرارتی و خوشه‌بندی بین یک متغیر از رقم کنگد در سطوح مختلف شوری تحت تأثیر سیستم آبیاری (D: نوار آبیاری قطره‌ای، S: زیرسطحی، M: مالچ، شوری‌های مختلف ۱/۸ تا ۶/۵ dS/m)

همچنین روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی با اثرگذاری بر میزان تبخیر و تعرق گیاه، از جذب املاح بیشتر در شرایط تنش جلوگیری نموده و از این طریق باعث کاهش اثرات منفی تنش بر عملکرد دانه می‌شود، اما آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به علت راندمان کمتر آن در توزیع رطوبت در زیر خاک تأثیر کمتر از مالچ پلاستیکی داشت. همچنین دندوگرام گروه‌بندی صفات نیز مشخص نمود که عملکرد دانه و محتوا روغن با بالاترین تشابه در یک گروه و وزن خشک، سطح برگ و محتوای آب نسبی با بیشترین تشابه در گروه دوم و تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه نیز در گروه دیگر قرار گرفتند (شکل ۳). بنابراین تغییرات وزن خشک، سطح برگ و محتوای آب نسبی مشابه یک دیگر بوده و تنش شوری با کاهش آنها موجب کاهش اجزای عملکرد دانه و در نهایت کاهش توان تولیدی و عملکرد گیاه می‌شود. بنابراین طبق نتایج ماتریس هیت‌مپ بهترین تیمار از نظر عملکرد دانه و عملکرد روغن روش آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی است که بسته به شدت تنش شوری از تاثیرات این تیمار کاسته می‌شود، ولی می‌تواند تولید اقتصادی در شرایط محدودیت در آب در منطقه را تضمین نماید.

نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی نیز نشان داد دو مؤلفه نخست (مؤلفه ۱ و ۲) توانست ۹۱ درصد از تغییرات را توجیه نماید به طوری که مؤلفه نخست ۷۹/۵ درصد و مؤلفه دوم ۱۰/۵ درصد از تغییرات را به خود اختصاص دادند (شکل ۴). طبق نتایج خروجی این تحلیل، صفات مورد ارزیابی در ناحیه دوم و چهارم مختصات قرار گرفتند. به طوری که اجزای عملکرد دانه به همراه شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب در ناحیه دوم و عملکرد دانه و روغن به همراه ماده خشک اندام هوایی در ناحیه چهارم مختصات قرار گرفتند. نتایج مربوط به سطوح تنش شوری نیز نشان داد که شوری‌های پایین در ناحیه دوم قرار گرفتند که بالاترین تأثیر را بر اجزای عملکرد دانه نشان دادند، این در حالی بود که سطوح بالای شوری در ناحیه سوم مختصات جای گرفتند. نتایج روش آبیاری نیز مشخص نمود که ناحیه چهارم مختصات که مربوط به عملکرد دانه و روغن بود مربوط به سیستم آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ پلاستیکی بود که نشان دهنده مناسب بودن این تیمار برای تولید عملکرد دانه بالاتر می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴. تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بین متغیرهای کنگد در سطوح مختلف شوری تحت تأثیر سیستم آبیاری (MULCH؛ نوار آبیاری قطره‌ای با مالچ، LAI؛ شاخص سطح برگ، RWC؛ محتوای نسبی آب؛ GY؛ عملکرد دانه، Ne؛ تعداد کپسول، NG؛ تعداد دانه در هر کپسول، SW؛ وزن هزار دانه، OY؛ عملکرد روغن؛ DDM؛ وزن خشک کل، LDM؛ وزن خشک برگ، SDM؛ وزن خشک ساقه)

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بر اساس یافته‌ها، واضح است که گیاه کنگد تحمل نسبی به تنش شوری نشان می‌دهد به طوری که سطوح شوری ۱/۸ و ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر معنی‌دار بر عملکرد یا اجزای عملکرد دانه کنگد نداشت. با این حال، افزایش شوری بیش از ۵ دسی‌زیمنس بر متر، بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مانند محتوای نسبی آب، عملکرد و محتوای روغن تأثیر منفی گذاشت. به عنوان مثال، در سطح شوری ۷/۲ دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه تقریباً ۵۰ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای همراه با مالچ پلاستیکی در کاهش تبخیر و تخریب خاک مؤثر بود و در نتیجه رطوبت خاک را به‌طور مؤثرتری حفظ کرد. این رویکرد توزیع یکنواخت نمک‌ها در خاک را تسهیل کرد و از تجمع بیش از حد یون‌های سدیم در ریشه‌ها و بافت‌های گیاه جلوگیری کرد و اثرات نامطلوب تنش شوری بر گیاهان کنگد را کاهش داد. به عنوان مثال، در آبیاری قطره‌ای + پوشش مالچ، آستانه تحمل شوری به ۷/۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. بنابراین، اتخاذ آبیاری قطره‌ای و مالچ نه تنها مصرف آب را کاهش می‌دهد، بلکه اثرات منفی آبیاری با آب بی‌کیفیت را نیز به حداقل می‌رساند و آن را به یک استراتژی مناسب برای کشت پایدار کنگد در شرایط شور تبدیل می‌کند.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: دانشجو؛ تحقیق، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش نویس مقاله.

نویسنده دوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله.

نویسنده سوم: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، اصلاح، بازبینی مقاله.

نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش، نظارت بر پژوهش، مطالعه و بازبینی مقاله.

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش در طول آماده‌سازی این اثر، نویسنده(گان) از ابزارهای هوش مصنوعی استفاده نکرده‌اند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

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

سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز به خاطر حمایت مالی با شماره پژوهانه SCU.WI1404.273 در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

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.

منابع

- خوش سیما، مرتضی و نوری، حمیده. (۱۳۹۸). اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد و صفات زراعی سه هیبرید ذرت (*Zea mays L.*) با استفاده از آبیاری قطره‌ای نواری. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۸)، ۲۰۳۷-۲۰۴۹. DOI: /ijswr.2019.271808.668073
- سلامتی، نادر و دانایی، امیرخسرو. (۱۳۹۵). اثر سطوح مختلف آب بر عملکرد کمی و کیفی سه رقم کنگد با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای تیپ. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱)، ۱۳۷-۱۴۶. Doi: 10.22059/ijswr.2016.57986
- شکری، ساناز؛ هوشمند، عبدالرحیم و قربانی، مریم. (۱۳۹۵). برآورد ضریب تشت تبخیر به‌منظور محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه اهواز علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۱)، ۱-۱۲. https://jise.scu.ac.ir/article_12641_36af88e66ed0273d16bd3cd1cd2dc6c5
- شهبازی، نادر؛ کاظمی تبار، سیدکمال؛ کیانی، غفار؛ پاکدین پاریزی، علی و مهربان جوبنی، پویان (۱۴۰۰). واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف کنگد (*Sesamum indicum*) در شرایط تنش شوری. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۰ (۴۵)، ۲۰۷-۲۳۴. URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-۱۵۳۳۱-fa.html>
- گاطع زاده، یعقوب؛ کشکولی، حیدرعلی؛ خدادادی دهکردی، داود؛ مختاران، علی و عصاره، علی. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر دور آبیاری در سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بر تغییرات شوری خاک و عملکرد گیاه ذرت برای مناطق مرکزی خوزستان. علوم آب و خاک. ۲۷ (۲)، ۲۶۹-۲۸۱. <https://www.sid.ir/paper/1148520/fa>
- مختاران، علی؛ ورجاوند، پیمان؛ دهقانی سانج، حسین؛ آبالان، شکراله؛ عزیزی، آذرخش و جعفرنژادی، علیرضا. (۱۴۰۰). مقایسه روش قطره‌ای نواری با آبیاری سطحی و پایش شوری خاک در کشت گندم و ذرت آبیاری شده با آب لب شور. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۱، ۲۱۷-۲۳۴. https://idj.iaid.ir/article_182244.html

REFERENCES

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Alonso, R., Elvira, F., Castillo, B. & Gimeno, D. (2001). Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. *Plant Cell Envi.* 24: 905 -916. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00738.x>
- Anderson, D. R., & Burnham, K. P. (2002). Avoiding pitfalls when using information-theoretic methods. *The Journal of Wildlife Management*, 912-918. <https://doi.org/10.2307/3803155>.

- Angon, P. B., Tahjib-Ul-Arif, M., Samin, S. I., Habiba, U., Hossain, M. A., & Brestic, M. (2022). How do plants respond to combined drought and salinity stress? A systematic review. *Plants*, 11(21), 2884. [Doi: 10.3390/plants11212884](https://doi.org/10.3390/plants11212884).
- Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity-induced physiological and biochemical changes in plants: An osmotic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 156, 64-77. [Doi: 10.1016/j.plaphy.2020.08.042](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042).
- Bahrami, H., Jafari, A. O., & Razmjoo, J. (2016). Effect of salinity levels (NaCl) on yield, yield components and quality content of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Environmental Management and Sustainable Development*, 5(2), 104-117. <http://dx.doi.org/10.5296/emsd.v5i2.9852>.
- Bahrami, M., Heidari, M., & Ghorbani, H. (2016). Variation in antioxidant enzyme activities, growth and some physiological parameters of bitter melon (*Momordica charantia*) under salinity and chromium stress. *Journal of Environmental Biology*, 37(4), 529. [PMID: 27498497](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27498497/).
- Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, 12(12), 2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>.
- Barwal, S. K., Goutam, C., Chauhan, C., Vimala, Y., Alyemini, M. N., Ahmad, P., & Siddique, K. H. (2023). Salicylic acid alleviates salt-induced phytotoxicity by modulating physiochemical attributes and upregulating the AsA-GSH cycle and glyoxalase system in *Capsicum annuum* L. seedlings. *South African Journal of Botany*, 161, 222-237. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.061>.
- Bayat, Z., Sadeghipour, A., Zolfaghari, A. A., & Yazdani, M. (2021). Effect of using mulches at different levels of irrigation water salinity on some characteristics of forage corn (*Zea mays* L.). 15(4): 572-559. URL: <http://rangelandssrm.ir/article-1-765-fa.html>.
- Bazrafshan, A. H., & Ehsanzadeh, P. (2014). Growth, photosynthesis, and ion balance of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in response to NaCl concentration in hydroponic solutions. *Photosynthetica*, 52, 134-147. <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0015-z>.
- Bazrafshan, A. H., & Ehsanzadeh, P. (2016). Evidence for differential lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in *Sesamum indicum* L. genotypes under NaCl salinity. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(1), 202-222. <http://hdl.handle.net/123456789/4273>.
- Bekele, A., Besufekad, Y., Adugna, S., & Yinur, D. (2017). Screening of selected accessions of Ethiopian sesame (*Sesame indicum* L.) for salt tolerance. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 9, 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.11.009>.
- Chhabra, R., & Chhabra, R. (2021). Irrigation and salinity control. Salt-affected soils and marginal waters: Global Perspectives and Sustainable Management, 487-544. [DOI: 10.1007/978-3-030-78435-5_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78435-5_9).
- Chowdhury, S., Basu, A., & Kundu, S. (2017). Overexpression of a new osmotin-like protein gene (*SindOLP*) confers tolerance against biotic and abiotic stresses in sesame. *Frontiers in Plant Science*, 8, 410. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00410>.
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862. [DOI: 10.1111/ejss.13010](https://doi.org/10.1111/ejss.13010).
- El-Morsy, E. A., Abou-Zeid, S. T., Khalefa, A. M., & Helmi, M. Y. (2011). Proper management of soil and water under saline conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 2(7), 747-767.
- Feng, G., Zhang, Z., & Zhang, Z. (2019). Evaluating the sustainable use of saline water irrigation on soil water-salt content and grain yield under subsurface drainage condition. *Sustainability*, 11(22), 6431. <https://doi.org/10.3390/su11226431>.
- Gateazadeh, Y., Kashkuli, H., Khodadadi dehkordi, D., Mokhtaran A., & Assareh, A. (2023). Investigating the Effect of Irrigation Interval in Subsurface Drip Irrigation System on Soil Salinity Changes and Corn Plant Yield for the Central Regions of Khuzestan. *Journal of Water Science and Technology*, 27(2):269-281. [URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4324-fa.html](http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4324-fa.html). (In Persian).
- Ha-Tran, D. M., Nguyen, T. T. M., Hung, S. H., Huang, E., & Huang, C. C. (2021). Roles of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(6), 3154. <https://doi.org/10.3390/ijms22063154>.
- Ismayilov, A. I., Mamedov, A. I., Fujimaki, H., Tsunekawa, A., & Levy, G. J. (2021). Soil salinity type effects on the relationship between the electrical conductivity and salt content for a 1:5 soil-to-water extract. *Sustainability*, 13(6), 3395. <https://doi.org/10.3390/su13063395>.
- Kakabouki, I., Stavropoulos, P., Roussis, I., Mavroeidis, A., & Bilalis, D. (2023). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in improving the growth and yield performances of flax (*Linum usitatissimum* L.) to salinity stress. *Agronomy*, 13(9), 2416. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092416>.
- Khalifa, T., Abdel-Kader, N. I., Elbagory, M., Ahmed, M. E., Saber, E. A., Omara, A. E. D., & Mahdy, R. M. (2024). Investigating the influence of eco-friendly approaches on saline soil traits and growth of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *PeerJ*, 12, e17828. [DOI: 10.7717/peerj.17828](https://doi.org/10.7717/peerj.17828).
- Khoshsima, M. & Noory, H. (2019). Effect of Irrigation Water Salinity on Yield and Agronomic Characteristics of Three Corn (*Zea mays* L.) Hybrids Using Drip-Tape Irrigation. *Iran Water Soil Res.* 5(50): 2038-2049. [DOI: 10.271808.668073](https://doi.org/10.271808.668073). (In Persian).
- Li, M., Wang, W., Wang, X., Yao, C., Wang, Y., Wang, Z., & Chen, W. (2023). Effect of straw mulching and deep burial mode on water and salt transport regularity in saline soils. *Water*, 15(18), 3227. <https://doi.org/10.3390/w15183227>.
- Lima, G. S. D., Pinheiro, F. W., Gheyi, H. R., Soares, L. A. D. A., Sousa, P. F. D. N., & Fernandes, P. D. (2022). Saline

- water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(3), 180-189. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p180-189).
- Mokhtaran, A., Varjavand, P., Dehghanisanij, H., Absalan, S., Azizi, A. & Jafarnejadi, A. (2021). Comparison of Drip Irrigation with Surface Irrigation and Monitoring Soil Salinity in Wheat and Corn Irrigated with Brackish Water. *J. Water Res. Agri.* 35: 217-234. https://idj.iaid.ir/article_182244.html. (In Persian).
- Najafi, H., & Safari, M. (2011). Study of drought stress on yield, yield component and oil of sesame cultivars. In Persian: 11th National Seminar of Irrigation and Evaporation Reduction, PP: 35-36.
- Nguyen Quoc, K., Nhi, L. T. Y., Le Thanh, Q., Ly Ngoc Thanh, T. X., & Le Vinh, T. (2023). Norms establishment of the diagnosis and recommendation integrated system at preflowering in pineapple (*Ananas comosus* L.) and its verification in case of nutrient omission trial by two consecutive crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(9), 1198-1214. DOI: [10.21475/ajcs.23.17.07.p3936](https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.07.p3936).
- Parmoon, G., Moosavi, S.A., & Ataollah Siadat, S. (2019). Descriptions of okra seed longevity loss behavior using nonlinear regression models. *Adv. Hort. Sci.* , 33, 301–312. <https://www.jstor.org/stable/26817893>.
- Porcel, R., Aroca, R., & Ruiz-Lozano, J. M. (2012). Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 181-200. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0029-x>.
- Pramanik, K., Adhikari, A., Bera, A. K., & Mandal, B. (2015). Effect of seed priming and mulching on growth and productivity of rain-fed sesame (*Sesamum indicum* L.) during the summer season. *International Journal of Bioresource Science*, 2(1), 25-31. <https://vbudspace.lsdiscovey.in/xmlui/handle/123456789/5369>
- Raza, M. A., Feng, L. Y., Iqbal, N., Manaf, A., Khalid, M. H. B., Ur Rehman, S., & Yang, W. (2018). Effect of sulphur application on photosynthesis and biomass accumulation of sesame varieties under rainfed conditions. *Agronomy*, 8(8), 149. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080149>
- Reddy, M. & Vora, A. (2002) Pigment composition, and disaccharides metabolism in Bajra leaves under CaCl₂ salinity. *Photosynthetica*. 56: 123 -136.
- Salamati, N. & Danaie, A. (2016). Effects of the amount of water in tape tube irrigation on the qualitative and quantitative yield of three sesame varieties. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(1):137-146. DOI: [10.22059/ijswr.2016.57986](https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.57986). (In Persian).
- Samaha, G. M., Mohamed, S., & Anter, A. (2025). Molecular markers to assess genetic variations and yield for developing climate-ready sesame cultivars. *Egyptian Journal of Botany*, 65(1), 85-97.
- Sánchez, F. J., Manzanares, M., De Andres, E. F., Tenorio, J. L. and Ayerbe, L. (1998). Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crops Research*, 59, 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00125-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00125-7).
- Savy, D., Cozzolino, V., Vinci, G., Verrillo, M., Aliberti, A., Maggio, A., & Piccolo, A. (2022). Fertilisation with compost mitigates salt stress in tomato by affecting plant metabolomics and nutritional profiles. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 104. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00373-5>.
- Shahbazi N, Kazemitabar S K, kiani G, Pakdin Parizi A, & Mehraban Joubani P. (2021). Physiological and biochemical responses of different sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes under salinity stress. *Plant Process and Function*; 10 (45): 14 URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1533-fa.html>. (In Persian).
- Shokri, S., Hooshman, A. & Ghorbani, M. (2017). The Estimation Evaporation Pan Coefficient For Calculating Reference Evapotranspiration in Ahvaz. *Irrigation Sci. Eng.* 40 (1): 1-12. DOI: [10.22055/jise.2017.12641](https://doi.org/10.22055/jise.2017.12641). (In Persian).
- Tariq, A., & Shahbaz, M. (2020). Glycinebetaine-induced modulation in the oxidative defense system and mineral nutrients of sesame (*Sesamum indicum* L.) under saline regimes. *Pak. J. Bot.* 52(3), 775-782. DOI: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-3\(34\)](https://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-3(34)).
- Tariq, M., & Akhtar, K. (2022). Mulching is an approach for a significant decrease in soil erosion. In *Mulching in Agroecosystems: Plants, Soil & Environment* (pp. 59-70). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6410-7_4.
- Tuna, A. L., Kaya, C., Dikilitas, M. & Higgs, D. (2008). The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters, and nutritional status in maize plants. *Envir. Exp. Botany*. 62:1 -9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.06.007>
- Vadaliya Bhumika, M., Parmar, K. B., Ribadiya Trupti, R., Vekaria, L. C., & Davra Monali, A. (2019). Effect of salinity on yield, yield attributing characters, and quality of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. *Int J Chem Stud*, 7(1), 2278-2281.
- Yadav, S., Irfan, M., Ahmad, A., & Hayat, S. (2011). Causes of salinity and plant manifestations to salt stress: a review. *Journal of Environmental Biology*, 32(5), 667-85. PMID: [22319886](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22319886/).
- Zhang, Y., Li, D., Zhou, R., Wang, X., Dossa, K., Wang, L., & You, J. (2019). Transcriptome and metabolome analyses of two contrasting sesame genotypes reveal the crucial biological pathways involved in rapid adaptive response to salt stress. *BMC Plant Biology*, 19(66):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1665-6>.