Vol 25, No. 4, Winter 2023

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

The Effects of Iron and Zinc Foliar Application on Nutrients Absorption Improvement, Seed Yield and Water Use Efficiency of Sunflower under Drought Stress Conditions

Raheleh Arab[1] | Alireza Yadavi[2]✉ | Hamidreza Balouchi[3] | Hamid Alahdadi[4]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran. E-mail: Arman1388.arab@yu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran. E-mail: Yadavi@yu.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran. E-mail: Balouchi@yu.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran. E-mail: hallahdadi@stu.yu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 5 December 2022
Received in revised form
19 September 2023
Accepted 25 September 2023
Published online 13 December 2023

Keywords:
Biological yield
Irrigation regime
Micronutrient
Number of heads
Seed weight

ABSTRACT

Objective: This experiment was conducted to investigate the effects of drought stress and foliar application of Fe and Zn on agronomical characteristics of sunflower

Methods: a farm experiment was carried out in the Fars agricultural research center in the split plots form base on a randomized complete block design with three replications during 2014. Irrigation at three levels (irrigation after 60, 120, and 180 mm of evaporation from A class evaporation pan) as the main plots and foliar application at four levels (water, iron sulfate, zinc sulfate, and iron sulfate+ zinc sulfate) were used as sub-plots.

Results: The results showed that the delay in irrigation from 60 to 180 mm of evaporation caused a decrease in the number of seeds per head, grain yield and biological yield by 24.8%, 37.5% and 30%, respectively. The foliar application of iron sulfate+ zinc sulfate compared to the control treatment increased the number of seeds per head, 1000-seed weight and grain yield by 24.1%, 16.6 percent and 14.3 percent, respectively. The delay in irrigation, increased the water use efficiency by 50.9%. The interaction between irrigation and foliar application had a significant effect on leaf and grain iron concentration and leaf zinc concentration, so that with delay in irrigation, absorption of nutrients decreased, but foliar application under drought stress conditions increased iron and zinc absorption in sunflower

Conclusion: According to these results, it can be stated that with micronutrient foliar spraying, the severe drop in sunflower yield can be prevented under drought stress conditions.

Cite this article: Arab, R., Yadavi, A., Balouchi, H., & Alahdadi, H. (2023). The Effects of Iron and Zinc Foliar Application on Nutrients Absorption Improvement, Seed Yield and Water Use Efficiency of Sunflower under Drought Stress Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 25 (4), 969-985. DOI: https://doi.org/00000000000000000

© The Authors.
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/00000000000000000

دوره بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

تأثیر محلول‌پاشی با آهن و روی بر بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

راحله عرب[۱] | علیرضا یدوی[۲]✉ | حمیدرضا بلوچی[۳] | حمید الهدادی[۴]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: Arman1388.arab@yu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: Yadavi@yu.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: Balouchi@yu.a.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران. رایانامه: hallahdadi@stu.yu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲

کلیدواژه‌ها:

تعداد طبق

رژیم آبیاری

عملکرد زیستی

عناصر کم‌مصرف

وزن دانه

چکیده

هدف: آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر آهن و روی بر خصوصیات زراعی آفتابگردان انجام شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس در سال ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) به‌عنوان کرت اصلی و محلول‌پاشی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات‌آهن، سولفات‌روی و سولفات‌آهن+ سولفات روی) به‌عنوان کرت‌های فرعی به‌کار برده شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تأخیر در آبیاری از ۶۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر باعث کاهش تعداد دانه در طبق، عملکرد دانه و زیستی به‌ترتیب به میزان ۲۴/۸، ۳۷/۵ و ۳۰ درصد شد. در بین تیمارهای محلول‌پاشی، محلول‌پاشی با سولفات آهن+ سولفات روی، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۲۴/۱، ۱۶/۶ و ۱۴/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. تأخیر در آبیاری، کارایی مصرف آب را تا ۵۰/۹ درصد افزایش داد. برهم‌کنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن برگ و دانه و غلظت روی برگ داشت، به‌طوری‌که با تأخیر در آبیاری، جذب عناصر غذایی کاهش یافت ولی محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش جذب آهن و روی در آفتابگردان شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به این نتایج می توان اظهار داشت که از طریق محلول‌پاشی آهن و روی می‌توان از افت شدید عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی جلوگیری نمود.

استناد: عرب، راحله؛ یدوی، علیرضا؛ بلوچی، حمیدرضا و الهدادی، حمید (۱۴۰۲). تأثیر محلول‌پاشی با آهن و روی بر بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در آفتابگردان در شرایط تنش خشکی . *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۴)، ۹۸۵-۹۶۹.

DOI: https://doi.org/00000000000000000

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

CC BY NC

۱. مقدمه

یکی از پراهمیت‌ترین گیاهان دانه روغنی، آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) است (Cechin *et al*., 2018) که به جهت داشتن درصد اسیدهای چرب غیر اشباع، کیفیت روغن مطلوبی را دارا می‌باشد (Ansarifard *et al*., 2020). آفتابگردان با شرایط اقلیمی ایران سازگاری بالایی داشته (قلی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰) و نسبت به خشکی نیمه حساس است (Hassan & Mohamed, 2019). با درنظرگرفتن واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی و تغییرات آب‌وهوایی، پژوهش‌گران خشکی را مهم‌ترین تهدید جهت تولید گیاهان زراعی در زمین می‌دانند (Balestrini *et al*., 2018; Li *et al*., 2016). با توجه به فرایندهای فرار از خشکی گیاهان، آفتابگردان قادر است تنش خشکی متوسطی را تحمل کند، با این وجود به‌دلیل کاهش توانایی گیاه آفتابگردان برای تنظیم تعرق و انبساط برگ، به تنش شدید خشکی حساس است (García-López *et al*., 2014).

۲. پیشینه پژوهش

بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل رشد رویشی و زایشی و هم‌چنین بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان مشخص کرد که ارتفاع بوته (Pekcan *et al*., 2016)، تعداد دانه در طبق (فاطمی و همکاران، ۱۴۰۰)، وزن هزاردانه (Umer *et al*., 2015) و عملکرد دانه (رضایی و همکاران، ۱۴۰۱; Ibrahim *et al*., 2016) کاهش معنی‌داری نشان داده است. حامد و همکاران (۱۳۹۴) در آزمایش‌های خود نشان دادند که در شرایط مطلوب آبیاری روند تجمع ماده خشک کل درکلزا با شیب زیادی افزایش یافته اما با افزایش تنش خشکی عملکرد زیستی کاهش یافت. در ارتباط با تنش خشکی و کارایی مصرف آب نیز، اسدزاده و همکاران (۱۳۹۶) اظهار نمودند که این شاخص با تأخیر در آبیاری، افزایش یافته است. تنش خشکی هم‌چنین می‌تواند بر جذب عناصر ریزمغذی نیز اثرگذار باشد. جلیل شش‌بهره و موحدی دهنوی (۱۳۹۱) گزارش دادند که تنش خشکی بر میزان محتوای آهن و روی در دانه سویا کاهش معنی‌داری داشته است. هم‌چنین تأخیر در آبیاری گیاه گلرنگ، موجب کاهش معنی‌دار عنصر روی شده است (عزیزآبادی و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به این‌که کمبود عناصر کم‌مصرف گاهی به‌عنوان محدودکننده جذب سایر عناصر غذایی عمل می‌کنند، کاربرد این ریزمغذی‌ها یکی از راه‌های کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاهان زراعی می‌باشد (Nikolic & Pavlovic, 2018). با وجود تأثیر مثبت کودهای شیمیایی در حاصلخیزی خاک (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸)، کاربرد این کودها برای رفع همه نیازهای تغذیه‌ای گیاهان کافی نیست. امروزه برای جلوگیری از آسیب‌های زیست‌محیطی کودهای شیمیایی و هم‌چنین فراهمی عناصر کم‌مصرف، روش محلول‌پاشی رواج یافته است (Meena *et al*., 2014). در همین راستا گزارش شده است که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باعث افزایش غلظت آهن دانه کلزا شد (جشنی و همکاران، ۱۳۹۶) و محلول‌پاشی با آهن غلظت پتاسیم دانه گیاه کنجد را نیز افزایش داده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌چنین بیان شده است که محلول‌پاشی روی باعث افزایش میزان این عنصر در آفتابگردان (Torabian *et al*., 2016) شده است. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی علاوه بر افزایش محتوای غلظت عناصر در گیاهان، می‌توانند در بهبود اجزای عملکرد نیز تأثیر مثبتی داشته باشند. دیندوست اسلام و یوسف‌زاده (۱۳۹۲) نشان دادند محلول‌پاشی عناصر آهن و روی در آفتابگردان باعث افزایش تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و در نهایت کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی شد. تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی بر بهبود عملکرد زیستی، شاخص برداشت، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه در کاملینا (آژند و همکاران، ۱۳۹۹)، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در گلرنگ (عباسی و همکاران، ۱۳۹۹) و عملکرد زیستی، عملکرد دانه و شاخص برداشت در سویا (وقار و همکاران، ۱۴۰۰) نیز گزارش شده است. با توجه به اهمیت آفتابگردان به‌عنوان

یک گیاه دانه روغنی و از طرف دیگر صدمات جبران‌ناپذیر تنش خشکی به عملکرد آفتابگردان، اتخاذ روش‌هایی که بتواند سبب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی شود بسیار دارای اهمیت است. بنابراین این پژوهش به‌منظور بررسی عکس‌العمل رشد و عملکرد و جذب عناصر و کارایی مصرف آب آفتابگردان به مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی اجرا گردید.

۳. روش شناسی پژوهش

این پژوهش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده درقالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه زرقان) با مختصات جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۰۴ متری از سطح دریا در سال ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. میانگین دمای سالیانه آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه آن ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. سردترین ماه سال، دی‌ماه با متوسط دمای ۱/۵۰ درجه سانتی‌گراد وگرم‌ترین ماه سال، مردادماه با میانگین دمای ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش انجام شد. رژیم‌های آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در سه سطح (آبیاری پس از تبخیر ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر آب از تشتک تبخیر کلاس A) و تیمارهای محلول‌پاشی در چهار سطح (محلول‌پاشی آب (شاهد)، سولفات آهن، سولفات روی و ترکیب سولفات روی و آهن هرکدام به میزان سه گرم در لیتر) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. محلول سولفات روی و سولفات آهن به‌ترتیب از انحلال سه گرم سولفات روی ۹۹ درصد ($ZnSO_4.7H_2O$) و سولفات آهن ۹۹ درصد ($FeSO_4.7H_2O$) در یک لیتر آب تهیه گردید. تیمارهای محلول‌پاشی در دو نوبت (مرحله ۸-۶ برگی و ۱۲-۱۰ برگی) انجام شد. محلول‌پاشی با دستگاه سمپاش دستی ۱۲ لیتری پشتی با نازل مخروطی شکل (مدل سولو کد ۴۶۲ ساخت کشور آلمان با فشار سه بار) به میزان ۱/۵ لیتر در هر کرت (به مساحت ۱۴/۴ مترمربع) انجام شد. شروع اعمال تیمارهای آبیاری نیز در مرحله شش برگی صورت گرفت که فواصل آبیاری براساس میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر برای تیمارهای مختلف آبیاری متفاوت بود. آبیاری نیز به‌صورت جوی و پشته‌ای اعمال گردید. حجم آب آبیاری برای هر کرت نیز با استفاده از پارشال فلوم محاسبه گردید. با توجه به محاسبات انجام‌شده میزان آب مصرفی در واحد سطح در تیمارهای آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر از مرحله اعمال تیمار آبیاری تا پایان فصل رشد به‌ترتیب ۱۴۳۸۶، ۶۸۹۹ ۴۴۰۷ مترمکعب در هکتار بود هر کرت آزمایشی شامل چهار پشته به عرض ۶۰ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود. فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر (با تراکم ۸/۳ بوته در مترمربع)، فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر، فاصله بین کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بین تکرارها ۳ متر لحاظ گردید. زمین مورد آزمایش در سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بوده و در بهار و ۱۰ روز قبل از کاشت توسط گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و پس از شخم مقادیر کود توصیه‌شده (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره) براساس آزمون خاک (جدول ۱) به زمین افزوده شد. کود اوره در سه مرحله یک مرحله قبل از کاشت و دو مرحله بعد از کاشت (مرحله ۶-۴ برگی و ستاره‌ای) داده شد. بذر آفتابگردان رقم هایسان ۲۵ که (رقم روغنی با طول دوره رسیدگی متوسط رس) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس تهیه شد. کاشت بذر نیز به‌صورت هیرم‌کاری و کپه‌ای (سه بذر در هر کپه) در ۱۵ خردادماه صورت گرفت که پس از سبز شدن بوته‌های اضافی حذف گردید و در هر نقطه یک بوته حفظ گردید.

صفات موردبررسی در این آزمایش شامل غلظت روی برگ و دانه، غلظت آهن برگ و دانه، غلظت پتاسیم برگ و دانه، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت، کارایی مصرف آب بودند. میزان عناصر آهن، روی و پتاسیم در برگ و دانه توسط دستگاه جذب اتمی (Hitachi Zcast, 2300. Japan) انجام گرفت

(امامی، ۱۳۷۵). برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد، در مرحله رسیدگی ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی (به‌جز دو ردیف حاشیه) انتخاب و پس از جداسازی طبق‌ها از بوته تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد زیستی، پس از حذف دو خط حاشیه هر کرت و ۵۰ سانتی‌متر از هر طرف کرت، سطحی معادل ۳ مترمربع برداشت گردید. در سطح مذکور کلیه بوته‌ها از محل طوقه جدا و جهت کاهش رطوبت بوته‌ها، بوته‌ها در آون در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد و رطوبت بوته‌ها به ۷ درصد رسید. در مرحله‌ی بعد برای به‌دست‌آوردن عملکرد زیستی، سطح برداشت‌شده هر کرت جداگانه وزن شدند. با جداکردن دانه‌ها از طبق‌های انتخاب‌شده نیز عملکرد دانه محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی به‌دست آمد. کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایش، با محاسبه نسبت عملکرد دانه به آب مصرفی در هر کرت طبق رابطه (۱) تعیین شد. میزان آب مصرفی در واحد سطح برای تیمارهای آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر از مرحله اعمال آبیاری تا پایان فصل رشد به‌ترتیب ۱۴۳۸۶، ۶۸۹۹ و ۴۴۰۷ مترمکعب در هکتار بود.

رابطه ۱) $$WUE=GY/WU$$

در این رابطه، GY عملکرد دانه و WU میزان آب مصرفی است.

تجزیه آماری طرح با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها برای اثرهای اصلی که معنی‌دار شدند، با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه گردید. برای صفاتی که برهم‌کنش دو عامل معنی‌دار گردید برش‌دهی براساس تنش خشکی و مقایسه میانگین با رویه L.S.Means انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

درصد اشباع	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ماده آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل‌جذب	پتاسیم قابل‌جذب	آهن	روی	منگنز	مس	رس	سیلت	شن
(درصد)	(دسی‌زیمنس بر متر)		(درصد)			(میلی‌گرم بر کیلوگرم)					(درصد)		
۵۴	۰/۹۷	۸/۰۲	۱/۰۷	۰/۰۹	۱۲	۳۱۴	۷/۹	۰/۸	۷/۹	۱/۱	۳۲	۵۴	۱۴

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. غلظت عنصر روی در برگ و دانه

سطوح مختلف رژیم آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر غلظت روی در برگ و دانه داشت. برهم‌کنش آن‌ها نیز بر غلظت روی برگ معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر غلظت روی برگ نشان داد که بیش‌ترین غلظت روی برگ در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با روی و کم‌ترین غلظت روی برگ در تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با آهن به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با تأخیر در آبیاری از ۶۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر غلظت روی دانه کاهش ۹/۴ درصدی داشت. هم‌چنین بیش‌ترین غلظت روی دانه از تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین غلظت روی دانه از تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر بود (جدول ۴). در واقع کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اختلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌شود. بیش‌ترین غلظت روی دانه از تیمار محلول‌پاشی با روی به‌دست آمدکه باعث افزایش ۱۵/۹ درصدی غلظت روی دانه نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) شد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی ترکیب آهن و روی نداشت (جدول ۴).

۴. ۲. غلظت عنصر آهن در برگ و دانه

سطوح مختلف دور آبیاری، محلول‌پاشی و برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن برگ و آهن دانه داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر غلظت آهن در برگ آفتابگردان نشان داد که بیش‌ترین غلظت آهن برگ در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با آهن و کم‌ترین غلظت آهن برگ در تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با روی به‌دست آمد. البته در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر این کاهش تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد بیش‌ترین غلظت آهن دانه در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی به‌دست آمد که افزایش ۹/۹۳ درصدی نسبت به شاهد داشت. کم‌ترین غلظت آهن دانه در تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر و محلول‌پاشی با آب مشاهده شد (جدول ۳).

۴. ۳. غلظت عنصر پتاسیم در برگ و دانه

اثر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم برگ و دانه در آفتابگردان داشت، اما برهم‌کنش آن‌ها بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). با تأخیر در آبیاری آبیاری از ۶۰ به آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش ۲۴/۸ درصدی در مقدار پتاسیم برگ مشاهده شد. بیش‌ترین میزان پتاسیم برگ در تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین پتاسیم برگ در تیمار ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. بین مقدار پتاسیم برگ در تیمار آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. محلول‌پاشی باعث افزایش مقدار پتاسیم در برگ شد. بیش‌ترین مقدار پتاسیم برگ در تیمار محلول‌پاشی با روی مشاهده شد که افزایش ۳۲/۵ درصدی نسبت به شاهد داشت که تفاوت معنی‌داری با محلول‌پاشی ترکیب آهن و روی نداشت. کم‌ترین غلظت پتاسیم برگ از تیمار محلول‌پاشی شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). غلظت پتاسیم دانه نیز با تأخیر آبیاری از ۶۰ به ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر کاهش ۲۵/۱ درصدی داشت (جدول ۴). بررسی اثر محلول‌پاشی بر غلظت پتاسیم دانه نشان داد که در تمام تیمارهای محلول‌پاشی پتاسیم دانه نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش یافت و بیش‌ترین پتاسیم دانه در تیمار محلول‌پاشی ترکیب آهن و روی به‌دست آمد که افزایش ۳۸/۱ درصدی نسبت به شاهد داشت. بین محلول‌پاشی تیمارهای آهن و روی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین غلظت پتاسیم دانه نیز در شاهد (محلول‌پاشی با آب) مشاهده شد (جدول ۴).

۴. ۴. تعداد دانه در طبق

اثر تیمارهای آبیاری و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در طبق معنی‌دار شد اما برهم‌کنش این تیمارها بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). با تأخیر در آبیاری تعداد دانه در طبق کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به آبیاری پس ۶۰ میلی‌متر تبخیر، کاهش ۲۴/۸ درصدی در تعداد دانه طبق مشاهده شد. مصرف عناصر ریزمغذی باعث افزایش تعداد دانه در طبق شدند. بیش‌ترین تعداد دانه در طبق از تیمار محلول‌پاشی با ترکیب آهن و روی به‌دست آمد که باعث افزایش ۳۱ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) شد (جدول ۴).

۴. ۵. وزن هزاردانه

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی بر وزن هزاردانه معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش آن‌ها و رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. در بین تیمارها، بیش‌ترین وزن هزاردانه از تیمار

محلول‌پاشی ترکیب آهن و روی به‌دست آمد که باعث افزایش ۲۰ درصدی وزن هزاردانه نسبت به شاهد شد. کم‌ترین وزن هزاردانه در شاهد (محلول‌پاشی با آب) مشاهده شد (جدول ۴).

۴. ۶. عملکرد دانه

نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه آفتابگردان معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش این تیمارها بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با تأخیر در آبیاری عملکرد دانه کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر کاهش ۳۷/۵ درصدی داشت (جدول ۴).

بررسی اثر محلول‌پاشی بر عملکرد دانه نشان داد که در تمام تیمارهای محلول‌پاشی عملکرد دانه نسبت به شاهد (محلول‌پاشی با آب) افزایش یافت و بیش‌ترین عملکرد در تیمار محلول‌پاشی ترکیب آهن و روی به‌دست آمد که افزایش ۱۶/۸۰ درصدی نسبت به شاهد داشت، اما بین تیمارهای محلول‌پاشی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

۴. ۷. عملکرد زیستی

آنالیز داده‌ها حاکی از معنی‌داربودن اثر رژیم آبیاری و معنی‌دارنشدن سطوح محلول‌پاشی و برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر عملکرد زیستی می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد عملکرد زیستی نیز به‌طور معنی‌داری با تأخیر در آبیاری کاهش پیدا کرد، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر کاهش ۳۰ درصدی داشت (جدول ۴).

۴. ۸. کارایی مصرف آب

اثر رژیم آبیاری بر کارایی مصرف آب معنی‌دار شد اما اثر محلول‌پاشی و برهم‌کنش آبیاری و محلول‌پاشی بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که تأخیر در آبیاری باعث افزایش کارایی مصرف آب شد، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر افزایش ۵۰/۹ درصدی داشت (جدول ۴).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات آفتابگردان در سطوح مختلف دور آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی برگ	روی دانه	آهن برگ	آهن دانه	پتاسیم برگ	پتاسیم دانه
تکرار	۲	۷/۶۹ ns	۳۱/۰۸ ns	۱۴/۱۹ ns	۲/۳۳ ns	۴۳۵۰۲۸ ns	۱۲۳۲ ns
رژیم آبیاری	۲	۳۷۳۵ **	۱۷۳ *	۱۰۲۲ **	۸۳۳۹ *	۱۲۶۹۱۲۴۳ *	۳۰۵۴۸۳ **
خطای اصلی	۴	۳۳/۹۴	۸/۵۴	۲/۴۴	۱۶/۵۴	۷۰۸۴۲۷	۱۳۸۵۰
محلول‌پاشی	۳	۳۶۹۸ **	۵۵۶ **	۶۱۰**	۲۹۱۲ **	۱۶۷۰۸۰۴۵ **	۳۵۹۰۷۳ **
رژیم آبیاری× محلول‌پاشی	۶	۶۸۷ **	۸/۴۱ ns	۲۳/۷۳ *	۱۰۷۰ **	۱۴۷۰۷۰۰ns	۱۷۸۵۶ns
خطای فرعی	۱۸	۳۰/۴۵	۵/۲۷	۷/۲۱	۲۰/۰۶	۸۹۷۲۳۶	۷۹۱۰
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۶۷	۳/۰۱	۲/۰۸	۰/۵۹	۱۳/۸۷	۴/۴۸

*، ** و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

ادامه جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات آفتابگردان در سطوح مختلف دور آبیاری و محلول‌پاشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن هزاردانه	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه	عملکرد زیستی	شاخص برداشت	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۱۶۳/۰۰ ns	۲۲۸۸۵ ns	۱۰۶۶ ns	۴۵۹۹ ns	۹/۶۰ns	۱/۰۵ns
رژیم آبیاری	۲	۱۳۰/۰۸ ns	۱۴۶۸۸۶ *	۵۳۳۵۷ **	۵۸۱۷۷۸**	۱۹/۹۷ ns	۳۷/۳۳ **
خطای اصلی	۴	۱۴۸۵۱/۸	۱۴۸۵۱	۷۲۲	۷۵۱۱	۸/۰۴	۰/۱۷
محلول‌پاشی	۳	۱۵۵/۳۳ **	۴۸۶۷۱*	۴۶۳۱*	۴۲۸۵ ns	۱۹/۴۷ ns	۱/۳۲ ns

رژیم آبیاری× محلول‌پاشی	۶	۵۱/۹۷ ns	۱۰۸۲۰ ns	۱۳۳۵ ns	۸۰۵ ns	۶/۹۵ ns	۰/۲۳ ns
خطای فرعی	۱۸	۲۲/۲۵	۱۳۲۲۷	۳۳/۷۸	۳۰۶۶	۵/۳۵	۰/۲۷
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۵۳	۱۵/۱۷	۹/۲۵	۴/۴۴	۱۲/۴۱	۱۱/۶۷

*، ** و ns: به‌ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

جدول ۳. مقایسه میانگین برهم‌کنش رژیم آبیاری و محلول‌پاشی بر غلظت روی برگ، آهن برگ و آهن دانه در آفتابگردان

رژیم آبیاری	محلول‌پاشی	روی برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	شاهد	۸۴ c	۱۴۱ b	۷۹۰/۰ d
آبیاری پس از۶۰ میلی‌متر	آهن	۴۵/۶۶ d	۱۴۷/۳۳ a	۸۷۷/۶۶ a
تبخیر از تشت تبخیر	روی	۱۲۵/۳۳ a	۱۲۵ c	۸۶۷ b
	آهن+ روی	۱۱۴ b	۱۴۳/۶۶ ab	۸۴۱/۶۶ c
	شاهد	۸۵/۳۳ c	۱۲۲/۶۶ c	۷۱۵/۳۳ c
آبیاری پس از ۱۲۰میلی‌متر	آهن	۶۰ d	۱۳۴ a	۷۳۲/۶۶ a
تبخیر از تشت تبخیر	روی	۱۱۵/۶۶ a	۱۱۶/۳۳ d	۷۱۷ bc
	آهن+ روی	۹۵ b	۱۲۸ b	۷۲۴ b
	شاهد	۵۲/۶۶ bc	۱۱۷ c	۶۷۱/۳۳ c
آبیاری پس از ۱۸۰میلی‌متر	آهن	۴۱/۶۶ c	۱۳۱/۶۶ a	۶۹۴/۳۳ c
تبخیر از تشت تبخیر	روی	۷۶/۶۶ a	۱۱۳/۶۶ c	۶۸۵ b
	آهن+ روی	۶۸/۳۳ a	۱۲۵ b	۶۸۸ b

* در هرستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ٤. مقایسه میانگین اثرات رژیم آبیاری و محلول‌پاشی برای غلظت عناصر، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان

تیمارهای آزمایشی	روی دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	وزن هزاردانه (گرم)	تعداد دانه در طبق	عملکرد دانه (میلی‌گرم بر هکتار)	عملکرد زیستی (میلی‌گرم بر هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
رژیم آبیاری								
پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر	۸۲/۲۸ a	۷۹۷۸/۴ a	۱۲۲۶/۳ a	۵۹/۰۸ a	۸۹۰/۹ a	۳۵۲۶ a	۱۴۵۱۳ a	۳/۲۷ c
پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر	۷۶/۱۱ b	۶۵۱۰/۳ b	۹۹۹/۷ b	۵۴/۵۴ a	۷۵۸/۱ b	۳۰۰۹ b	۱۲۶۹۲ b	۵/۸۲ b
پس از ۱۸۰میلی‌متر تبخیر	۷۲/۷۰ c	۵۹۹۶/۸ b	۹۱۸/۴ b	۵۲/۹۱a	۶۶۹/۸ c	۲۲۰۳ c	۱۰۱۳۰ c	۶/۶۶ a
محلول‌پاشی								
شاهد	۷۰/۲۳ b	۵۶۱۳/۵ c	۷۹۰/۹ c	۵۰/۱۱ c	۶۵۶/۶ c	۲۵۹۵ b	۱۲۱۳۰	۴/۷۲
آهن	۶۸/۸۳ b	۶۵۳۴ b	۱۰۷۳/۱ b	۵۵/۴۴ b	۷۲۹/۲ b	۲۹۴۴ a	۱۲۶۳۲	۵/۲۴
روی	۸۳/۶۳ a	۸۳۲۱/۱ a	۱۰۵۰/۵ b	۵۴/۶۶ b	۷۵۲/۴ b	۲۹۸۰ a	۱۲۵۰۸	۵/۴۶
آهن+ روی	۸۲/۶۶ a	۷۶۴۵/۴ a	۱۲۷۸۱/۱ a	۶۰/۱۱ a	۸۶۵/۷ a	۳۰۳۱ a	۱۲۵۱۰	۵/۵۹

در هرستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۵. بحث

Kobraee (2016) با مطالعه روابط روی و آهن، دریافت که مصرف هر یک از این دو عنصر، غلظت عنصر دیگر را پایین می‌آورد. ایشان بیان داشتند اثر آنتاگونیستی بین عنصر روی و آهن مربوط به اثر رقابتی این دو عنصر در محل جذب است. مطلبی‌فرد (۱۳۹۶) نیز نشان داد که محلول‌پاشی سولفات روی سبب افزایش غلظت ۲/۳۷ برابری این عنصر در مقایسه با شرایط عدم استفاده از روی در شاخساره سیب زمینی گردید. تغییر در میزان روی پس از محلول‌پاشی در گیاه وابسته به رابطه میان آوندها و تبادل عنصری در آن‌ها است (Ali *et al*., 2016). انتقال روی توسط Gupta *et al*. (2016) پس از محلول‌پاشی با سولفات روی در گیاهان موردبررسی قرار گرفت. هم‌چنین پژوهش‌گران بیان کرده‌اند که انتقال روی از قسمت‌های زیرین گیاه و برگ‌های پیر به اندام‌های هوایی و دانه‌ها در اواخر دوره رشد گیاه، به‌کمک آوندهای آبکش صورت گرفته و غلظت روی در دانه‌ها را افزایش می‌دهد (Yin *et al*., 2016). حلیمیان و همکاران (۱۳۹۸) نشان

دادند که محلول‌پاشی روی باعث افزایش ۳۱ درصدی غلظت روی دانه شد.

Ghasemi Fasaei & Ronaghi (2015) در پژوهش‌های خود دریافتند که دو عنصر آهن و روی برهم‌کنش منفی بر محتوای غلظت یکدیگر در محل جذب داشته‌اند. Marschner (2012) نیز نشان داد که زیادی روی، جذب و انتقال آهن را در گیاه کاهش داده و کلروز برگ‌ها را در اثر کمبود آهن به وجود می‌آورد. بابائیان و همکاران (۱۳۸۹) گزارش دادند که با کاهش رطوبت خاک غلظت آهن در آفتابگردان کاهش یافت و محلول‌پاشی آهن باعث افزایش غلظت این عنصر تحت شرایط تنش خشکی شد، هم‌چنین اثر متقابل تنش آبی و غلظت عنصر آهن نیز بر محتوای آهن گیاه معنی‌دار بود، که تأییدکننده نتایج پژوهش پیش‌رو می‌باشد. شهرکی‌زاد و همکاران (۱۴۰۰) گزارش دادند که محلول‌پاشی آفتابگردان با آهن باعث افزایش غلظت آهن در اندام هوایی آن گردید. افزایش میزان آهن دانه با محلول‌پاشی آهن توسط عباسی و همکاران (۱۳۹۹) نیز بیان شده است. ایشان دریافتند که در صورت دسترسی و فراهمی یک عنصر، فرایند جذب و انتقال با وجود رطوبت کافی رخ خواهد داد و این ویژگی در رابطه با محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها نیز تأیید می‌گردد.

Vattani *et al*. (2012) گزارش دادند که محلول‌پاشی با آهن غلظت پتاسیم را افزایش داد. نتایج پژوهش‌گران حاکی از آن است که محلول‌پاشی آهن موجب بهبود شرایط تغذیه‌ای و درنتیجه کارایی بهتر سیستم فتوسنتزی شده است و از این طریق با تولید انرژی بیش‌تر، غلظت عناصری مانند پتاسیم که جذب آن‌ها به‌صورت فعال انجام می‌شود را افزایش می‌دهد (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۴۰۱).

تعداد دانه در طبق آفتابگردان از اجزای مهم و مؤثر در عملکرد دانه می‌باشد تنش خشکی از طریق اثرگذاری بر منابع فتوسنتزی و فعالیت آنزیمی به‌واسطه کاهش سطح برگ و درنتیجه کاهش انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به اندام‌های زایشی کاهش تعداد دانه در طبق را درپی خواهد داشت (حمزه‌ئی و همکاران، ۱۳۹۵). تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی با تحت تأثیر قراردادن گلچه‌ها در سطح طبق و عدم باروری آن‌ها از تولید تعداد دانه در طبق جلوگیری می‌کند (مجدم، ۱۳۹۵). اختلال در گرده‌افشانی توسط حشرات در نتیجه کمبود آب طی مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی که باعث خشک‌شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی می‌شود را نیز میتوان به‌عنوان یکی از دلایل دیگر کاهش تعداد دانه در طبق مطرح کرد (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به نقش عناصر آهن و روی در آنزیم‌های دخیل در فرایند فتوسنتزی گیاه، محلول‌پاشی این عناصر باعث بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه شده و از طریق بهبود دسترسی اندام‌های زایشی گیاه به مواد فتوسنتزی، تعداد دانه تشکیل‌شده در طبق می‌تواند افزایش یابد. دیندوست اسلام و یوسف‌زاده (۱۳۹۲) نشان دادند که محلول‌پاشی آهن و روی در شرایط تنش خشکی افزایش مثبتی بر تعداد دانه در طبق داشت. آن‌ها بیان داشتند یون‌های فلزی همچون آهن و روی به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مشارکت داشته و تحت شرایط تنش خشکی این عناصر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را افزایش داده و لذا حساسیت گیاه را به تنش خشکی کاهش داده است. هم‌چنین در شرایط کاربرد عناصر ریزمغذی اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه بهبود یافته است. در مطالعه صورت‌گرفته توسط رضائی‌چیانه و همکاران (۱۳۹۶) نیز افزایش تعداد دانه در طبق گلرنگ با کاربرد عنصر ریزمغذی روی در سطوح مختلف آبیاری گزارش گردیده است.

نقش مؤثر آهن و روی در مقدار کلروفیل برگ و سنتز بیش‌تر ایندول استیک‌اسید موجب تأخیر در پیری و افزایش مدت زمان فتوسنتز می‌شود درنتیجه تولید و انتقال کربوهیدرات‌ها به اندام‌های زایشی و دانه‌های در حال پرشدن بهبود می‌یابد و در نهایت رقابت بین دانه‌ها به جهت دستیابی به عناصر غذایی کم‌تر می‌شود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴). افشانی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش دادند محلول‌پاشی آهن و روی باعث افزایش وزن هزاردانه در تمام مراحل تنش خشکی شد. سید شریفی و

سید شریفی (۱۳۹۸) نیز گزارش کردند وزن هزاردانه در آفتابگردان با افزایش سطوح محلول‌پاشی ریزمغذی نانواکسیدآهن افزایش یافت. نتایج نشان داد وزن هزاردانه تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. یحیوی تبریز و صدرآبادی حقیقی (۱۳۸۳) نیز به این نتیجه رسیدند که کاهش رطوبت خاک و خشکی بر وزن دانه‌ها تأثیر معنی‌داری نداشته است.

کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش کمبود آب می‌تواند ناشی از کاهش میزان فتوسنتز و مواد فتوسنتزی و نیز افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. به‌عبارتی، عملکرد دانه در شرایط آبیاری محدود به‌علت کاهش طول دوره رشد و پرشدن دانه و کاهش تعداد دانه در طبق بوده است (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). قنبری و همکاران (۱۴۰۰) نیز گزارش دادند تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی) و کاهش رطوبت خاک موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه آفتابگردان گردید. در بررسی صورت‌گرفته توسط حیدری و همکاران (۱۳۹۸) نیز تیمار تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت و با افزایش سطح تنش از عملکرد دانه کاسته شد که این میزان کاهش معادل ۴۵/۵ درصد بود. هم‌چنین کاهش عملکرد دانه به واسطه تنش خشکی در آفتابگردان توسط یداللهی و همکاران (۱۳۹۶) نیز مطرح شده است.

افشانی و همکاران (۱۳۹۴) بیان کردند محلول‌پاشی آهن با تأثیر بر میزان فتوسنتز و تثبیت دی‌اکسیدکربن و تولید قند و ذخیره‌سازی آن در دانه، موجب افزایش وزن هزاردانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه می‌گردد. عنصر روی با اثر بر فعالیت آنزیم‌های مختلف مانند دهیدروژنازها، آلدولازها و پلیمرازها در سنتز تریپتوفان، تقسیم سلولی، ساختمان غشای سلولی، پروتئین و محافظت غشا از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرایندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها دخالت دارد (Marschner, 2012). کمبود روی مانع از سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات‌ها می‌شود. هم‌چنین تراوایی غشای پلاسمایی در گیاهان مبتلا به کمبود روی، افزایش یافته و منجر به خروج پتاسیم، نیترات و ترکیبات آلی از سلول ریشه می‌گردد در نتیجه با توجه به نقش روی بر کارکرد فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، به‌نظر می‌رسد که عنصر روی از طریق افزایش میزان فتوسنتز باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعه سلیمانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شد تغذیه گیاه با روی به‌دلیل شرکت در ساخت و افزایش ذخیره پروتیین دانه گرده، باعث افزایش میزان گرده‌افشانی و در نهایت تعداد بیش‌تر دانه در طبق و عملکرد بیش‌تر دانه شد. براساس گزارش Torabian *et al.* (2016) نیز محلول‌پاشی روی در گیاه آفتابگردان منجر به افزایش عملکرد دانه شد. عنصر روی به‌دلیل نقش مهمی که درکارکرد اندام‌های زایشی دارد– به‌دلیل همبستگی بین وزن هزاردانه و عملکرد دانه– با افزایش وزن هزاردانه، افزایش عملکرد را نیز در پی دارد (Valli *et al*., 2016). قنبری و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و منگنز در آفتابگردان باعث کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی شده و از طریق بهبود شرایط مورفولوژیک، عملکرد دانه و فعال‌شدن آنزیم‌های تنش، توانایی گیاه برای مقابله با شرایط تنش افزایش می‌یابد. ابوطالبیان و بابارئیسی (۱۳۹۶) نیز گزارش دادند محلول‌پاشی سولفات روی باعث افزایش وزن هزاردانه، تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه در تنش کم رطوبتی (آبیاری پس از ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر) نسبت به تیمار شاهد شد.

اسدزاده و همکاران (۱۳۹۶) بیان داشتند کاهش عملکرد زیستی در شرایط اعمال تنش کم‌آبی را می‌توان به تأثیر منفی تنش کم‌آبی بر رشد رویشی و اجزای عملکرد آفتابگردان مربوط دانست. ابوطالبیان و بابارئیسی (۱۳۹۶) نیز گزارش کردند که افزایش شدت تنش کم‌آبی به‌ویژه در اواخر مرحله گرده‌افشانی، کاهش زیست‌توده آفتابگردان را در پی خواهد داشت. براساس نتایج پژوهش آن‌ها عملکرد زیستی به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی واکنش مثبتی نشان داده و استفاده از سولفات روی حتی بهتر از کاربرد نواری آن، باعث بهبود عملکرد زیستی شده است. جوادی و همکاران (۱۴۰۱) نیز گزارش کردند اثر تنش کم‌آبی در آفتابگردان باعث کاهش عملکرد زیستی شد. مامنبی و همکاران (۱۳۹۹) در آزمایش‌های خود نشان دادند که با افزایش تنش کم‌آبی و کاهش رطوبت خاک عملکرد زیستی در کلزا کاهش یافت.

اسدزاده و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان دادند که کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پس از ۲۰۰ میلی‌متر تبخیر با میانگین ۰/۴۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب از برتری معنی‌دار ۱۶/۱ درصدی نسبت به تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر برخوردار بود. Seghatoleslami & Forutani (2015) گزارش دادند که با کاهش آبیاری به مقدار ۵۰ درصد نیاز آبی در آفتابگردان کارایی مصرف آب به طور معنی‌داری و به میزان ۶۶ درصد در مقایسه با تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) افزایش یافت. یزداندوست همدانی و همکاران (۱۳۹۸) نیز بیان کردند که با تامین نیاز آبی ۸۰ و ۶۰ درصد گیاه آفتابگردان، به‌ترتیب به میزان ۹ و ۱۹ درصد کارایی مصرف آب بیش‌تری به‌دست آمده است و این تیمارها نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد نیاز آبی) تفاوت معنی‌داری داشته‌اند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی عناصر آهن و روی در شرایط تنش رطوبتی باعث بهبود جذب عناصر غذایی نظیر آهن، روی و پتاسیم در آفتابگردان می شود و با بهبود اجزای عملکرد، می‌تواند تأثیر مثبتی بر سازوکارهای تحمل به خشکی و افزایش عملکرد داشته باشد. پیشنهاد می‌شود در مناطق دارای کمبود آب به جهت بالابردن بهره‌وری از آب، فواصل آبیاری را در آفتابگردان براساس ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر انجام شود و برای جلوگیری از کاهش شدید عملکرد در این شرایط از محلول‌پاشی آهن+ روی استفاده گردد.

۷. تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس (ایستگاه زرقان) به جهت فراهم‌نمودن امکان اجرای این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی آن مرکز، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

ابراهیمیان، الناز؛ رشدی، محسن؛ پاسبان اسلام، بهمن؛ خلیلی محله، جواد و بای بوردی، احمد (۱۳۸۹). ارزیابی کارآیی روش های مصرف ریزمغذی‌های آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان روغنی. *مجله پژوهش در علوم زراعی*، ۲(۷)، ۱۵-۲۷.

ابوطالبیان، محمدعلی و بابارئیسی، افسانه (۱۳۹۶). بررسی شیوهٔ کاربرد سولفات‌روی بر بیشینه شاخص سطح برگ، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط تنش رطوبتی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۸ (۲)، ۳۳۹-۳۵۰.

اسدزاده، نرگس؛ موسوی، سید غلامرضا و ثقه الاسلامی، محمد جواد (۱۳۹۶). تأثیر سطوح آبیاری و کودهای نانو و معمولی روی و سیلیس بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب در آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۳۰ (۱)، ۱-۱۷.

افشانی، سارا؛ امیرنیا، رضا و هادی، هاشم (۱۳۹۴). بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در شرایط کم‌آبیاری. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۳ (۱)، ۴۳-۵۲.

امامی، ع (۱۳۷۵). *روش‌های تجزیه گیاه*. چاپ اول. تهران: انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب.

آژند، ماندانا؛ سعیدی، محسن؛ بهشتی، آل آقاعلی و کهریزی، دانیال (۱۳۹۹). اثر محلول‌پاشی سولفات‌آهن و روی بر عملکرد و

برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک کاملینا (*Camelina sativa* L. crantz) در شرایط دیم. *مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲ (۴۸)، ۱۵۵-۱۷۲.

بابائیان، مهدی؛ حیدری، مصطفی و قنبری، احمد (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و جذب عناصر غذایی در آفتابگردان (*Helianthus annus* L.). *نشریه علوم زراعی ایران*، ۱۲ (۴)، ۳۹۱-۳۷۱.

جشنی، رزیتا؛ فاتح، اسفندیار و آینه‌بند، امیر (۱۳۹۶). تأثیر کودهای زیستی تیوباسیلوس و نیتروکارا و محلول‌پاشی عناصر روی و آهن بر برخی صفات کیفی و انتقال مجدد مواد در کلزا. *تولیدات گیاهی*، ۴۰ (۱): ۱-۱۴.

جلیل شش‌بهره، مرضیه و موحدی دهنوی، محسن. (۱۳۹۱). اثر محلول‌پاشی روی و آهن بر بنیه بذر سویا رشد کرده در شرایط تنش خشکی. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۵ (۱)، ۱۹ – ۳۵.

جوادی، حامد؛ موسوی، سید غلامرضا؛ ثقه الاسلامی، محمد جواد؛ ابراهیمی، علیرضا و کوزه‌گر، محمد (۱۴۰۱). تأثیر محلول‌پاشی متانول بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). در شرایط تنش کم‌آبی. *تولیدات گیاهی*، ۴۵ (۱)، ۲۹-۴۰.

حامد، علی؛ اکبری، غلامعباس؛ خوش‌خلق سیما، نیراعظم؛ شیرانی‌راد، امیرحسین؛ جبّاری، حمید و طباطبایی، سیدعلی (۱۳۹۳). ارزیابی ویژگی‌های زراعی و برخی صفات فیزیولوژیک ارقام کلزا تحت تأثیر تنش خشکی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۷ (۲)، ۱۵۵۵-۱۷۱.

حلیمیان، اسماعیل؛ مجدم، مانی و دروگر، نازلی (۱۳۹۸). ارزیابی عملکرد کمی و کیفی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در واکنش به محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی در شرایط تنش کم‌آبی. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۳۲ (۴)، ۱-۱۵.

حمزه ئی، جواد؛ نجفی، حمید و بابایی، مجید (۱۳۹۵). اثر آبیاری و نیتروژن بر پارامترهای زراعی، عملکرد، کیفیت دانه و کارایی زراعی نیتروژن در آفتابگردان. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۴ (۴)، ۶۸۶-۶۹۶.

حیدری، مصطفی؛ پایدار، احمد؛ برادران فیروزآباد، مهدی و عابدینی اسفهلانی، محمد (۱۳۹۸). تأثیر تنش خشکی و کاربرد هیومیک‌اسید بر عملکرد کمی، رنگدانه‌های فتوسنتزی و مقادیر عناصر معدنی دانه آفتابگردان. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰ (۴)، ۵۱-۶۲.

حیدری، مصطفی؛ گلیج، مریم؛ قربانی، هادی و برادران فیزوآبادی، مهدی (۱۳۹۴). تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید آهن بر عملکرد دانه، محتوای یونی و رنگدانه‌های نورساختی کنجد. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۴۶ (۴)، ۶۱۹-۶۲۸.

خدادادی کروکی، امیر؛ یاورزاده، محمدرضا؛ اکبریان، محمدمهدی و عسکری، علی‌اکبر (۱۴۰۱). مطالعه تأثیر محلول‌پاشی کودهای نانوذرات آهن، منیزیم و تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد سیب زمینی رقم سانته. *فصلنامه پژوهش های علوم کشاورزی پایدار*، ۲ (۱)، ۱۹-۳۰.

دیندوست اسلام، صابر و یوسف‌زاده، سعید (۱۳۹۲). تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی روی، آهن و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی آفتابگردان رقم هایسان ۳۳. *مجله پژوهش در علوم زراعی*، ۶ (۲۲)، ۴۱-۲۵.

رضایی، محسن؛ ایلکایی، محمد نبی؛ مهدوی دامغانی، عبدالمجید؛ صوفی زاده، سعید و آقایاری، فیاض (۱۴۰۱). مطالعه فراتحلیل اثرات تنش خشکی بر برخی صفات دانه آفتابگردان روغنی. *فصلنامه پژوهش های علوم کشاورزی پایدار*، ۲ (۱)، ۳۱-۴۹.

رضائی چیانه، اسماعیل؛ خرم‌دل، سرور؛ مولودی، آرزو و رحیمی، امیر (۱۳۹۶). اثر کود نانو کلات روی و تلقیح با قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات زراعی و فیزیولوژیک گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش خشکی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۵ (۱)، ۱۶۸-۱۸۴.

سلیمانی، رضا؛ نورقلی پور، فریدون و مشیری، فرهاد (۱۳۹۶). اثر محلول‌پاشی روی، آهن و منگنز بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *نشریه علوم زراعی ایران*، ۱۹ (۱)، ۱-۱۲.

سیدشریفی، رئوف و سیدشریفی، رضا (۱۳۹۸). تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کاربرد متانول و نانواکسید آهن بر عملکرد و مؤلفه‌های پرشدن دانه آفتابگردان. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۱ (۱۹، ۲۷-۴۲.

شهرکی‌زاد، مرضیه؛ غلامعلی زاده آهنگر، احمد و میر، نوشین (۱۴۰۰). مقایسه کاربرد برگی و خاکی نانوکلات‌های آهن بر ویژگی‌های رشدی آفتابگردان در یک خاک شور. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۱ (۱)، ۴۷-۶۳.

عباسی، امین؛ صیادی آذر، زهرا و لطفی، امین (۱۳۹۹). ارزیابی صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با کاربرد نانوذرات روی و آهن در شرایط مختلف رطوبتی. *نشریه زراعت دیم ایران*، ۹(۲)،۲۳۷-۲۵۸.

عزیزآبادی، الهه؛ گلچین، احمد و دلاور، محمد امیر (۱۳۹۳). تأثیر پتاسیم و تنش خشکی بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی برگ گیاه گلرنگ. *مجله روابط خاک و گیاه*، ۵ (۳)، ۶۵-۸۰.

فاطمی، اعظم؛ معاونی، پیام؛ دانشیان, جهانفر؛ مظفری، حمید و غفاری، مهدی (۱۴۰۰). بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوذره منیزیم بر صفات مورفوفیزیولوژیکی ارقام آفتابگردان تحت تنش خشکی. *به زراعی کشاورزی*، ۲۳ (۳)، ۵۲۱-۵۳۳.

قلی‌زاده، امیر؛غفاری، مهدی؛ پیغام‌زاده، کمال وکیا، شهریار (۱۴۰۰). بررسی روابط میان عملکرد و سایر صفات زراعی و شناسایی هیبریدهای برتر در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۳ (۳۷)، ۱۷۱-۱۸۴.

قنبری، مجید؛ مختصی بیدگلی، علی؛ منصور قناعی پاشاکی، کامران و طالبی سیه‌سران، پرنیان (۱۴۰۰). ارزیابی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) به رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی با نانوکودهای روی و منگنز. *تولیدات گیاهی*، ۴۴ (۴)، ۴۸۸-۴۷۵.

مام‌نبی، سهراب؛ نصراله‌زاده، صفر؛ قاسمی گلعذانی، کاظم و راعی، یعقوب (۱۳۹۹). صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد دانه و روغن کلزا (*Brassica napus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی و کودهای شیمیایی و زیستی. *دانش کشاورزی وتولید پایدار*، ۳۰ (۳)، ۳۵۹-۳۷۸.

مجدم، مانی (۱۳۹۵). تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه آفتابگردان در سطوح مختلف نیتروژن. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۹ (۴)، ۱۲۱-۱۳۶.

محمدی، عصمت؛ اصغری، حمید رضا؛ غلامی، احمد و خرم‌دل، سرور. (۱۳۹۸). اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی. *بوم شناسی کشاورزی*، ۱۱ (۱)، ۲۹۵-۳۰۷.

مرادی، سمیرا؛ پوریوسف، مجید و عندلیبی، بابک (۱۳۹۴). تأثیر کاربرد برگی عناصر ریزمغذی (آهن و روی) بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۱ (۵)، ۷۵۳-۷۶۲.

مطلبی‌فرد، رحیم (۱۳۹۶). تأثیر روی و فسفر بر عملکرد، جذب عناصر غذایی و کارایی زراعی روی در سیب‌زمینی. *نشریه آب و خاک*، ۳۱ (۳)، ۸۹۹-۸۸۶.

وقار، محمدسعید؛ سیف‌زاده، سعید؛ ذاکرین، حمید رضا؛ کبرایی، سهیل و ولد آبادی، سید علیرضا (۱۴۰۰). اثر محلول‌پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز بر برخی خصوصیات کمی و کیفی سویا (*Glycine max* L.) تحت تنش کم‌آبی. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۴ (۳)، ۷۰۳-۷۱۸.

یحیوی تبریز، شهنام و صدرآبادی حقیقی، رضا (۱۳۸۲). تأثیر آبیاری محدود بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم کلزای بهاره در شرایط آب و هوایی تبریز. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱(۲)، ۳۰۵-۳۱۳.

یداللهی، پرویز؛ اصغری پور، محمدرضا؛ مروانه، هاشم؛ خیری، نورالله و امیری، عیوب (۱۳۹۶). اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و روغن دو رقم آفتابگردان. *تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک*، ۱(۱)، ۶۵-۷۶.

یزداندوست همدانی، محمد؛ قبادی، مختار؛ قبادی، محمداقبال؛ جلالی هنرمند، سعید و سعیدی، محسن (۱۳۹۸). اثر محلول‌پاشی برخی ترکیبات شیمیایی بر تبادلات گازی، روابط آب و خصوصیات فتوسنتزی آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در رژیم‌های آبیاری مختلف. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۷(۳)، ۴۷۷-۴۸۹.

References

Abbasi, A., Sayadiazar, Z., & Lotfi, R. (2021). Evaluation of biochemical and physiological changes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with the application of zinc and iron nanoparticles under different moisture conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *9*(2), 237-258. https://doi.org/ 10.22092/IDAJ.2021.121182.206 (In Persian).

Aboutalebian, M., & Baba Raeisi, A. (2017). Effect of zinc sulfate application method on maximum leaf area index, yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(2), 339-350. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.125338.653877. (In Persian).

Afshani, S., Amirnia, R., & Hadi, H. (2015). Investigation of the effect of foliar application iron spraying and zinc on yield and yield components of autumn rapeseed (*Brassica napus* L.) In low irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 43-52. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i1.48315. (In Persian).

Ali, A. U., Sarwar, G., Aftab, M., & Sher, M. (2016). Effect of soil and foliar applied copper on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Research*, *29*(1), 35-42.

Ansarifard, I., Mostafavi, K., Khosroshahli, M., Reza Bihamta, M., & Ramshini, H. (2020). A study on genotype–environment interaction based on GGE biplot graphical method in sunflower genotypes (*Helianthus annuus* L.). *Food Science & Nutrition*, *8*(7), 3327-3334. https://doi.org/10.1002/fsn3.1610

Asadzadeh, N., Moosavi, S. G., & Seghatoleslami, M. J. (2018). Effect of irrigation regimes and application of nano and conventional ZnO and SiO_2 fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of sunflower (*Helianthus annus* L.). *Applied Research in Field Crops*, *30*(1), 1-20. http://doi.org/10.22092/aj.2017.108423.1095.(In Persian).

Azhand, M., Saeidi, M., Beheshti, A. A. A., & Kahrizi, D. (2021). Effect of Foliar Application of Iron and Zinc Sulphate on Yield and some Physiological Characteristics of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in Rainfed Conditions. *Scientific Journal of Crop Physiology*, *12*(48), 155-172. (In Persian).

Azizabadi, E., Golchin, A., & Delavar, M. A. (2014). Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *5*(3), 65-80. (In Persian).

Babaeian, M., Heidari, M., & Ghanbari, A. (2010). Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Iranian Journal of crop sciences*, *12*(4), 377-391. (In Persian).

Balestrini, R., Chitarra, W., Antoniou, C., Ruocco, M., & Fotopoulos, V. (2018). Improvement of plant performance under water deficit with the employment of biological and chemical priming agents. *The Journal of Agricultural Science*, *156*(5), 680-688. https://doi.org/10.1017/S0021859618000126.

Cechin, I., Gonzalez, G. C., Corniani, N., & Fumis, T. D. F. (2018). The sensitivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants to UV-B radiation is altered by nitrogen status. *Ciência Rural*, *48*(2), 1-6. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170369.

Dendoost Eslam, S. & Yosef Zadeh, S. (2013). Effect of drought stress and micro-nutrient foliar application (Zn, Fe and Mn) on qualitive and quantitative characters in sunflower (Cv. Haysan 33). *Journal of Research in Crop Sciences*, *6*(22), 25-41. (In Persian).

Ebrahimian, A., Roshdi, M., Paseban Eslam, B., Khalili Mahaleh, J., & Baibordi, A. (2008). Evaluation of Fe and Zn application methods on yield and yield components of oil sunflowers. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, *2*(7), 15-27. (In Persian).

Emami, A. (1996). *Plant Decomposition Methods*. Tehran: Publication of Soil and Water Research Institute. (In Persian).

Fatemi, A., Moaveni, P., Daneshian, J., Mozaffari, H., & Ghaffari, M. (2021). Effect of Foliar Application of Magnesium Nanoparticles on Morphophysiologic Characteristics of Sunflower Cultivars under Drought Stress. *Journal of Crops Improvement*, *23*(3), 521-533. http://doi.org/10.22059/jci.2021.307513.2430. (In Persian).

Javadi, H., Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M. J., Ebrahimi, A. R., & Kozegar, M. (2020). Effect of methanol spraying on some morphophysiological characteristics, yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Productions*. *45*(1), 29-40. http://doi.org/10.22055/ppd.2020.33127.1888. (In Persian).

García-López, J., Lorite, I. J., García-Ruiz, R., & Domínguez, J. (2014). Evaluation of three simulation approaches for assessing yield of rainfed sunflower in a Mediterranean environment for climate change impact modelling. *Climatic change*, *124*(1), 147-162. https://doi.org/10.1007/s10584-014-1067-6

Ghasemi Fasaei, R., & Ronaghi, A. (2016). The influence of iron chelate and zinc sulfate on the growth and nutrient composition of chickpea grown on a calcareous soil. *Iran Agricultural Research*, *34*(2), 35-40. http://doi.org/10.22099/iar.2016.3427

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Mansour Ghanaei-Pashaki, K., & Talebi-Siah Saran, P. (2021). Evaluation of Morpho-Physiological and Biochemical Characteristics of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Response to Different Irrigation Regimes and Spraying of Zn and Mn Nano-Fertilizers. *Journal of Plant Productions*, *44*(4), 475-488. http://doi.org/10.22055/ppd.2020.33041.1886. (In Persian).

Gholizadeh, A., Ghaffari, M., Payghamzadeh, K., & Kia, S. (2021). Study on Relationships between Yield and Other Agronomic Traitsand Identification of the Superior Hybridsin Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Crop Breeding*, *13*(37), 171-184. http://doi.org/10.52547/jcb.13.37.171. (In Persian).

Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *15*(1), 89-109. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1

Halimiyan, E., Mojaddam, M., & Derogar, N. (2020). Evaluation of Agronomic Traits and Corn Grain Quality in Response to Micronutrient Spraying under Irrigation Lack Stress. *Applied Research in Field Crops*, *32*(4), 1-15. http://doi.org/10.22092/aj.2019.120681.1254. (In Persian).

Hamed, A., Akbari, G., Sima, K. K., Azam, N., Shirani Rad, A. H., Jabbari, H., & Tabatabaee, S. A. (2015). Evaluation of the agronomic characteristics and some physiological traits of canola varieties under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *7*(2), 155_171. http://doi.org/10.22077/escs.2015.171. (In Persian).

Hamzei, J., Nejafi, H., & Babaei, M. (2016). Effect of irrigation and nitrogen on agronomic parameters, yield, grain quality and agronomic nitrogen use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *14*(4), 686-698. http://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.43336. (In Persian).

Hassan, A. M., & Mohamed, H. E. (2019). L-arginine pretreatment enhances drought resistance of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants by increase in polyamines content. *Journal of Plant Growth Regulation*, *38*(2), 600-605. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9873-0

Heidari, M., Goleg, M., Ghorbani, H., & Firozabadi, M. B. (2016). Effect of drought stress and foliar application of iron oxide nanoparticles on grain yield, ion content and photosynthetic pigments in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *46*(4), 619-628. http://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.56811. (In Persian).

Heidari, M., Paydar, A., Firozabad, M. B., & Esfalati, M. A. (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. http://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.253008.654448. (In Persian).

Ibrahim, M. F. M., Faisal, A., & Shehata, S. A. (2016). Calcium chloride alleviates water stress in sunflower plants through modifying some physio-biochemical parameters. *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, *16*(4), 677-693. https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2016.16.4.12907

Jalil Shesh Bahre, M., & Movahedi Dehnavi, M. (2012). Effect of zinc and iron and foliar application on soybean seed vigour grown under drought stress. *Crop production*, *5*(1), 19-35. (In Persian).

Jashni, R., Fateh, E., & Aynehband, A. (2017). Effect of thiobacillus and nitrocara biological fertilizers and foliar application of zinc and iron on some qualitative characteristic and remobilization of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant Productions*, *40*(1), 1-14. http://doi.org/10.22055/ppd.2017.12067.(In Persian).

Khodadadi Karkoki, A., Yavarzadeh, M., Akbarian, M., & Askari, A. A. (2022). A Study on the Effect of Nano-Fertilizer Foliar and Cultivation Date on Growth and Yield of Potato Santeh Cultivar. *Sustainable Agricultural Research*, *2*(1), 19-30. http://doi.org/10.30495/sarj.2022.1956289.1069. (In Persian).

Kobraee, S. (2016). Effect of zinc, iron and manganese fertilization on concentrations of these metals in the stem and leaves of soybean and on the chlorophyll content in leaves during the reproductive development stages. *Journal of Elementology*, *21*(2), 395-412. http://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.2.966

Li, Z. G., Min, X., & Zhou, Z. H. (2016). Hydrogen sulfide: a signal molecule in plant cross-adaptation. *Frontiers in plant science*, *7*, 1621. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01621

Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi, G. K., & Raei, Y. (2020). Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 359-377. (In Persian).

Marschner, H. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Limited. *London, UK*. pp. 347-364.

Mojaddam, M. (2017). Effect of drought stress on physiological characteristics and seed yield of sunflower at different levels of nitrogen. *Journal of Crop Production*, *9*(4), 121-136. http://doi.org/10.22069/ejcp.2017.10676.1841. (In Persian).

Mohammadi, E., Asghari, H. R., Gholami, A., & Khorramdel, S. (2019). Effect of nutrient management on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) influenced by different tillage systems. *Agroecology*, *11*(1), 295-307. http://doi.org/10.22067/jag.v11i1.65869. (In Persian).

Motalebifard, R. (2017). Effects of Zinc and Phosphorus Levels on Yield, Nutrients Uptake and Zinc Recovery and Agronomic Efficiency in Potato. *Journal of Water and Soil*, *31*(3), 886-899. http://doi.org/10.22067/JSW.V31I3.54513. (In Persian).

Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S., & Subba Rao, A. (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, *84*(3), 505-518. https://doi.org/10.1007/s40011-013-0270-y

Moradi, S., Pouryousef, M., & Andalibi, B. (2015). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on yield, yield components, and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *31*(5), 762-753. http://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.103612. (In Persian).

Nikolic, M., & Pavlovic, J. (2018). Plant responses to iron deficiency and toxicity and iron use efficiency in plants. In *Plant micronutrient use efficiency*. Cambridge: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812104-7.00004-6

Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M. I., Nalcaiyi, A. S. B., Erdal, Ş. Ç., Cicek, N., Ekmekci, Y., & Kaya, Y. (2016). Effects of drought on morphological traits of some sunflower lines. *Ekin Journal of Crop Breeding*, *2*(2), 54-68.

Rezaei, M., Nabi Ilkaee, M., Mahdavi Damghani, A., Souphizadeh, S., & Aghayari, F. (2022). Meta-Analysis of the Impact of Drought Stress on Yield and Yield Components and Percentage of Oil Seed Sunflower. *Sustainable Agricultural Science Research*, *2*(1), 31-49. http://doi.org/10.30495/sarj.2022.1958837.1076. (In Persian).

Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., & Rahimi, A. (2017). Effects of nano chelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(1), 168-184. http://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.49876. (In Persian).

Seghatoleslami, M. J., & Forutani, R. (2015). Yield and water use efficiency of sunflower as affected by nano Zno and water stress. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, *2*(1), 34-37. https://doi.org/10.12720/joaat.2.1.34-37

Seyed Sharifi, R. & Seyed Sharifi, R. (2019). Effects of different irrigation levels, methanol application, and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Crops Improvement*, *21*(1), 27-42. http://doi.org/10.22059/jci.2018.264647.2079. (In Persian).

Shahrakizad, M., Gholamalizadeh, A., & Mir, N. (2021). Comparison of Foliar and Soil Application of Iron Nano-Chelate on Sunflower Growth Characteristics in a Saline Soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *11*(1), 47-63. http://doi.org/10.22069/ejsms.2021.15763.1845. (In Persian).

Soleimani, R., Nourgholipour, F., & Moshiri, F. (2017). Effect of foliar application of Zn, Fe and Mn on seed yield and micronutrient contents of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *19*(1), 1-12. (In Persian).

Torabian, S., Zahedi, M., & Khoshgoftar, A. H. (2016). Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. *Journal of plant nutrition*, *39*(2), 172-180. https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1009107

Umer, S., Alam, S., Sajid, H., Aaqil, K., Asif, A., Li, J., & Awais, S. (2015). Impact of foliar application of boron on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation conditions. *Academia Journal of Agricultural Research*, *3*(9), 219-225. http://doi.org/10.15413/ajar.2015.0129

Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabady, A. R. (2021). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelate on some quantitative and qualitative characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(3), 703-718. http://doi.org/10.22077/escs.2020.3197.1816. (In Persian).

Valli, S. P., Sudhakar, C., Rani, J., & Rajeswari, R. R. (2016). Correlation and path coefficient analysis for the yield components of safflower. germplasm (*Carthamus tinctorius* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*, *7*(2), 420-426.

Vattani, H., Keshavarz, N., & Baghaei, N. (2012). Effect of sprayed soluble different levels of iron chelate nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 and Virofly). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, *3*(3), 2651-2656.

Yadollahi, P., Asgharipour, M. R., Marvaneh, H., Kheiri, N., & Amiri, A. (2017). The effects of drought stress on grain and oil yield of two cultivars of sunflower. *Crop Science Research in Arid Regions*, *1*(1), 65-76. http://doi.org/10.22034/csrar.01.01.06. (In Persian).

Yahyavi Tabriz, S. H., & Sadrabadi Haghighi, R. (2004). Effect of irrigation on yield and yield component of three spring canola cultivars under environmental of Tabriz. *Iran Journal of Field Cops Research*, *1*(2), 305-313. (In Persian).

Yazdandoost, H. M., Ghobadi, M., Ghobadi, M. E., jalali, H. S., & Saeidi, M. (2019). Influence of foliar application of some chemicals on gas exchange, water relations and photosynthetic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(30), 477-489. http://doi.org/10.22067/gsc.v17i3.76843. (In Persian).

Yin, H., Gao, X., Stomph, T., Li, L., Zhang, F., & Zou, C. (2016). Zinc concentration in rice (*Oryza sativa* L.) grains and allocation in plants as affected by different zinc fertilization strategies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *47*(6), 761-768. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1146891