University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

Phenol Content Assays and Corn Grain Yield by Zinc and Iron Consumption in Cut-off Irrigation Conditions

Mojtaba Afshari [1]✉ | **Ahmad Naderi** [2]

1. Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2. Corresponding Author, Research Organization, Agricultural Extension and Education, Khuzestan Research Center of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran. Email: Ahmad.naderi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: December 26, 2022
Received in revised form: March 07, 2023
Accepted: March 14, 2023
Published online: September 23, 2023

Keywords:
Chlorophyll,
iron sulfate,
irrigation regime,
micronutrients,
stomatal conductance.

ABSTRACT

This experiment was conducted to evaluate the effect of micronutrients on leaf phenol content and yield of SC704 corn hybrid in water deficit condition during two years (2018-2019 and 2019-2020) in Shahid Salemi farm of Ahvaz. The experiment was conducted as split-split plots in a randomized complete block design with three replications. Main plots included water deficit stress at three levels (complete irrigation, cut-off irrigation at vegetative growth stage (12-14 leaf stage), and cut-off irrigation at early seed growth stage (13-15 days after pollination), and sub-plots included sulfate foliar application zinc sulfate at three concentrations (0, 5, and 10 g/L) and sub-subplots contained foliar solution of iron sulfate at three concentrations (0, 3, and 6 g/L). The results of this study showed that foliar application of zinc sulfate in the cut-off irrigation conditions in the vegetative growth stage and in the beginning of the seed growth stage led to a significant increase in stomatal conductivity and leaf phenol content. The lowest leaf proline was obtained under complete irrigation conditions without iron sulfate solution. The highest yield of ear was obtained in complete irrigation with 6 g/L concentration of FeSO4 (9135.66 kg/ha), which increased by 25.1% compared to non-spray at this irrigation level. In general, unfavorable changes in physiological and functional indices of SC704 corn hybrid under the cut-off irrigation at the reproductive growth stage were more than the vegetative growth stage, and the application of zinc sulfate and iron sulfate in optimal concentration led to reduce the damage and adverse effects of water stress in these growth stages.

Cite this article: Afshari, M., & Naderi, A. (2023). Phenol content assays and corn grain yield by zinc and iron consumption in cut-off irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(3), 69-80. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352955.654965.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.352955.654965

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

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

سنجش محتوای فنول و عملکرد ذرت دانه‌ای در پاسخ به مصرف عناصر روی و آهن در شرایط قطع آبیاری

مجتبی افشاری[۱]✉ | احمد نادری[۲]

۱. گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان ، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲: نویسنده مسئول، دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

رایانامه: Ahmad.naderi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
رژیم آبیاری،
ریزمغذی،
سولفات آهن،
کلروفیل،
هدایت روزنه‌ای.

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی تاثیر عناصر ریزمغذی بر محتوای فنول برگ و عملکرد هیبرید SC704 ذرت در شرایط کمبود آب، در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه شهید سالمی اهواز به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش کم‌آبی در سه سطح (آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه (۱۵-۱۳ روز پس از گرده‌افشانی))، کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (۰، ۵ و ۱۰ در هزار) و کرت‌های فرعی فرعی شامل محلول‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (۰، ۳ و ۶ در هزار) بودند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای و محتوای فنول برگ شد. کمترین پرولین برگ در شرایط آبیاری کامل و بدون محلول‌پاشی سولفات آهن به‌دست آمد. بیش‌ترین عملکرد بلال در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۹۱۳۵/۶۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط آبیاری ۲۵/۱ درصد افزایش داشت. به‌طور کلی، تغییرات نامطلوب شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکردی هیبرید SC704 ذرت تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد زایشی بیش‌تر از رشد رویشی بود و کاربرد سولفات روی و سولفات آهن در غلظت بهینه منجر به کاهش خسارت و آثار نامطلوب تنش کم‌آبی در این مراحل رشدی شد.

استناد: افشاری، م.، و نادری، ا. (۱۴۰۲). سنجش محتوای فنول و عملکرد ذرت دانه‌ای در پاسخ به مصرف عناصر روی و آهن در شرایط قطع آبیاری. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۶۹-۸۰ DOI: 10.22059/ijfcs.2023.352955.654965

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

در ایران کشت ذرت از اهمیت فراوانی برخوردار است. نیاز کشور به ذرت حدود ۳/۷ تا ۴ میلیون تن در سال است که ۲/۲ میلیون تن در داخل تولید می‌شود و حدود ۱/۵ میلیون تن از طریق واردات تامین می‌شود (Alizade *et al.*, 2019). این گیاه به‌دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی گوناگون، به سرعت در تمام دنیا گسترش یافته است و در سال‌های اخیر در میان غلات مکان اول را از لحاظ تولید به خود اختصاص داده است (Moayeri, 2020). شناخت مراحل حساس به کمبود آب در گیاهان و تأمین به‌موقع نیاز آن‌ها می‌تواند ما را در جهت حصول حداکثر عملکرد یاری کند (Madeh Khaksar *et al.*, 2014). کمبود آب عبارت است از ناکافی‌بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکندگی آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث محدودشدن پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Seyedzovar *et al.*, 2014). میزان آب مورد نیاز ذرت بسته به شرایط محیطی و غذایی بین ۶ الی ۱۲ هزار مترمکعب در هکتار است (Golbashy *et al.*, 2010). توسعه برگ از جمله حساس‌ترین فرآیندهایی است که به وسیله کمبود آب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب سبب کوچک‌ترشدن سلول‌ها و کاهش تعداد سلول‌های تولیدی به وسیله مریستم‌ها می‌شود (Nabavi Moghadam *et al.*, 2013). در گیاه ذرت تولید ماده خشک با کاهش آب مصرفی، کاهش می‌یابد، ولی کاهش عملکرد دانه در اثرکمبود آب بیش از کاهش ماده خشک تولیدی است. تنش آبی به‌دلیل مواجه‌شدن ذرت با درجه حرارت در محیط‌های گرمسیری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد می‌شود (Peykarestan *et al.*, 2017). Rezaverdinejad *et al.* (2006) با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشدی ذرت علوفه‌ای در کرج گزارش کردند که تنش رطوبتی در مراحل رشد رویشی و گل‌دهی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۸ و ۲۹ درصدی عملکرد نسبت به تیمار آبیاری متداول شد. Cakir (2004) گزارش کرد که تنش رطوبتی در طول مراحل مختلف رشد ذرت، عملکرد آن را در درجات مختلف کاهش می‌دهد که شدت کاهش عملکرد نه‌تنها به شدت تنش بلکه به مرحله رشدی گیاه نیز وابسته است. در شرایط تنش قابلیت دسترسی به مواد غذایی، جذب و انتقال مواد دچار اختلال می‌شود.

روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. این عنصر در فعالیت آنزیم‌های گیاهی و بر ویژگی‌های مختلف رشد ذرت نقش اساسی دارد و بروز ضعف عمومی در رشد و ایجاد پاکوتاهی از علائم کمبود این عنصر است (Raker *et al.*, 2013). اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد. با کاهش میزان رطوبت خاک تحرک عنصر روی در محلول خاک کاهش یافته و باتوجه‌به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور مضاعفی با کمبود این عنصر مواجه خواهد شد (Jorfi *et al.*, 2022a). کمبود روی مرحله گرده‌افشانی در ذرت را بیش از ۱۵ روز به تأخیر می‌اندازد و در نتیجه منجر به کاهش عملکرد دانه در گیاه می‌شود (Mahmoodi & Yarnia, 2013). Salem & El-Gizawy (2012) اذعان کردند که کاربرد کود روی تاثیر مثبتی بر عملکرد ذرت می‌گذارد و عملکرد دانه را از طریق افزایش تعداد دانه و بهبود شرایط فیزیولوژیکی گیاه افزایش می‌دهد.

از دیگر اختلالات تغذیه‌ای شایع در خاک های آهکی و قلیایی، کمبود آهن است. اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی از طریق محلول‌پاشی سولفات آهن یا محلول‌پاشی کلات آهن می‌تواند کارآمدتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد. آهن به‌میزان زیادی در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی مورد نیاز است و به‌عنوان کوفاکتور در چندین پروتئین در زنجیره انتقال الکترون نقش دارد (Afshari *et al.*, 2020). Zare *et al.* (2013) در بررسی تاثیر کاربرد آهن در زراعت ذرت مشاهده کردند که کاربرد این کود منجر به افزایش عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های کیفی ذرت دانه‌ای شد. Stravinskiene & Racaite (2014) گزارش کردند که کود آهن، با افزایش رشد ریشه‌ها، می‌تواند جذب عنصر دیگر را افزایش دهد که در این شرایط بر میزان اثرگذاری کودها در رشد گیاهان افزوده می‌شود.

ازآنجایی‌که عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی و مدیریت گیاه در شرایط تنش، تعیین‌کننده عملکرد کمی گیاهان می‌باشد، این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات محتوای فنول و شاخص‌های عملکردی ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ در واکنش به مصرف عناصر روی و آهن در شرایط کمبود آب انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۹۹–۱۳۹۸ و ۱۳۹۸–۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی شهید سالمی اهواز واقع در شمال غرب اهواز به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش کمبود آب در سه سطح: آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴–۱۲ برگی) و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه (۱۵–۱۳ روز پس از گرده‌افشانی)، کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی سولفات روی در سه غلظت ۰، ۵ و ۱۰ در هزار بود و محلول‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت ۰، ۳ و ۶ در هزار به‌عنوان کرت فرعی فرعی در نظر گرفته شد. اعمال تیمار تنش کمبود آب مختص به مراحل مذکور بوده و پس از آن تا پایان دوره رشد، نیاز آبی گیاه تامین شد. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از دو عمق ۳۰–۰ و ۶۰–۳۰ سانتی‌متری نمونه مرکبی از خاک تهیه شد و جهت بررسی‌های لازم به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایشی.

Soil depth (cm)	Soil texture	Organic Carbon (%)	pH	EC (ds/m)	Total N (%)	Available P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)
0-30	Silty loam	0.76	7.4	2.5	0.05	7.2	264	0.44	10.1
30-60	Silty loam	0.52	7.7	2.1	0.04	6.4	217	0.30	9.8

هر کرت شامل ۶ خط کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متر بود. کودهای شیمیایی کاربردی شامل نیتروژن خالص به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره بوده که نیمی از آن به‌صورت پایه و نیمی دیگر به‌صورت سرک در مرحله ۸–۶ برگی استفاده شد. همچنین به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌صورت پیش‌کاشت استفاده شد. رقم مورد استفاده در این تحقیق، ذرت هیبرید ۷۰۴ بود. کشت به‌صورت ردیفی در پنجم مردادماه به‌صورت کپه‌ای در عمق ۵–۳ سانتی‌متری انجام شد. در مرحله ۴–۲ برگی عملیات تنک انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام و سپس تا مرحله استقرار کامل گیاهچه‌ها (۴ تا ۵ برگی) آبیاری‌ها به‌صورت معمول و تامین نیاز آبی گیاه صورت گرفت. پس از آن تیمارهای مربوط به تنش کمبود آب اعمال شد که شامل قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴–۱۲ برگی) و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه بود. در طول دوره رشد مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و کنترل شیمیایی با علفکش نیکوسولفورون با غلظت ۲ لیتر در هکتار انجام شد. محلول‌پاشی هر یک از عناصر آهن و روی با غلظت‌های تعیین‌شده پس از کالیبره‌کردن سمپاش با فشار یک اتمسفر در دو زمان در مرحله ۸–۶ برگی و در مرحله دوازده برگی انجام شد. برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و با رطوبت دانه حدود ۲۰ درصد انجام شد. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل محتوای پرولین برگ، محتوای فنول برگ، هدایت روزنه‌ای، عملکرد بلال، عملکرد چوب بلال و عملکرد دانه بود. پس از حذف دو خط حاشیه از هر کرت، از خطوط وسط جهت مقایسه عملکرد به‌صورت کف‌بر برداشت شد. محتوای پرولین و محتوای کلروفیل برگ پس از اعمال آخرین تیمار قطع آبیاری (در مرحله ابتدای رشد دانه) و نیز پس از محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی اندازه‌گیری شدند و سایر صفات نظیر عملکرد بلال، عملکرد چوب بلال و عملکرد دانه بلال پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و برداشت نهایی اندازه‌گیری شدند.

برای محاسبه محتوای پرولین برگ از منحنی استاندارد پرولین به روش باتس (Bates, 1973) استفاده شد. به‌منظور سنجش میزان فنول کل، ۰/۲ گرم نمونه برگ با ۲۰ میلی‌لیتر آب مخلوط و جوشانده شد، سپس به مدت یک ساعت در بن‌ماری قرار داده، پس از آن نمونه‌ها از کاغذ صافی شماره یک عبور داده شد و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسید. سپس با یک میلی‌لیتر عصاره با پنج میلی‌لیتر فولین–دنیس و ۱۰ میلی‌لیتر کربنات سدیم ($NaCO_3$ 35) مخلوط و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتری رسید. محلول برای مدت زمان ۴۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت، سپس مقدار جذب رنگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر بااستفاده‌از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Faurobert *et al.*, 2007).

هدایت روزنه‌ای برگ در زیر نور خورشید کامل در طول ظهر بین ساعت ۱۱ تا ۱۳، بااستفاده‌از یک سیستم فتوسنتزی قابل حمل مدل (LI-6200, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) اندازه‌گیری شد. از خطوط میانی هر کرت تعداد ۱۰ برگ به‌صورت

تصادفی انتخاب و مقادیر این صفت با دستگاه پرومتر اندازه‌گیری شد. پرومتر دستگاهی است که بااستفاده‌از یک منوی دیجیتال و یک قطعه کوچک دو صفحه‌ای که برگ در بین آن قرار می‌گیرد، هدایت روزنه‌ای را اندازه‌گیری می‌کند. جهت محاسبه عملکرد دانه، پس از کوبیدن بلال‌های هر کرت دانه‌ها را جدا کرده و دانه‌های برداشت‌شده هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق توزین و محاسبه شد. عملکرد بلال نیز از مجموع وزن خشک دانه و چوب بلال حاصل شد. تجزیه واریانس داده‌های حاصل از این بررسی بااستفاده‌از نرم‌افزار آماری (SAS Ver. 9.12) انجام شد و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. نمودارها بااستفاده‌از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۹) ترسیم شدند.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

قبل از تجزیه مرکب داده‌های دو سال، آزمون بارتلت انجام شد. براساس نتایج، واریانس صفاتی نظیر محتوای فنول برگ و کلروفیل a همگن نبودند. بنابراین تجزیه واریانس این صفات به‌صورت جداگانه در هر سال انجام شد. برای صفاتی نظیر محتوای پرولین برگ، هدایت روزنه‌ای، عملکرد بلال، عملکرد چوب بلال و عملکرد دانه به علت همگن‌بودن واریانس‌ها، تجزیه مرکب صورت گرفت.

۳-۱. پرولین برگ

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، پرولین آزاد برگ تحت تاثیر تنش کمبود آب (S) و محلول‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل تنش کمبود آب و سال (S×Y) در سطح احتمال یک درصد و آهن و تنش کمبود آب در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه مرکب اثر سولفات روی و سولفات آهن در شرایط تنش کمبود آب بر برخی صفات ذرت SC704.

Sources of Variation	df	Leaf proline	Stomatal conductance	Ear yield	Cob wood yield	Grain Yield
Year (Y)	1	^{ns} 1.74	^{ns} 0.0001	213431.4^{ns}	^{ns} 321206.38	^{ns} 10975.66
R (Y)	4	0.42	0.00021	418347.1	61376.56	180700.48
Water deficit stress (S)	2	** 75.2	** 0.61121	107572063.7**	** 14003866.81	** 4395056.62
S×Y	2	** 2.02	^{ns} 0.00013	** 1774027.4	^{ns} 135096.92	** 930658.12
Error a	8	0.19	0.00007	227602.4	49457.8	108453.09
Zinc (Zn)	2	^{ns} 0.6	** 0.0161	** 104559717.3	** 10325087.77	** 49224391.36
S×Zn	4	^{ns} 0.45	** 0.00511	** 699436.7	** 214328.09	** 402153.4
Zn× Y	2	^{ns} 0.31	^{ns} 0.00001	** 1321805.8	* 96687.78	** 723875.29
S×Zn× Y	4	^{ns} 0.2	^{ns} 0.00003	^{ns} 249663.1	^{ns} 11008.7	^{ns} 168473.78
Error b	26	0.31	0.00003	192072.4	24147.88	98762.17
Iron (Fe)	2	** 24.6	** 0.00078	** 30638181.9	** 3621539.55	** 13334343.79
S× Fe	4	* 0.53	^{ns} 0.00003	** 747958.5	** 152377.43	* 263050.2
Zn× Fe	4	^{ns} 0.1	^{ns} 0.00002	** 1769459.8	** 303356.35	** 699378.72
S×Zn× Fe	8	^{ns} 0.09	^{ns} 0.00004	^{ns} 95400.3	^{ns} 11436	^{ns} 68408.99
Fe×Y	2	^{ns} 0.24	^{ns} 0.00001	^{ns} 146599.1	^{ns} 2620.23	^{ns} 110055.91
S×Fe× Y	4	^{ns} 0.22	^{ns} 0.00001	^{ns} 65036.3	^{ns} 2762.78	^{ns} 47227.96
Zn×Fe× Y	4	^{ns} 0.03	^{ns} 0.000001	^{ns} 345269.7	^{ns} 29871.51	^{ns} 180403.94
S×Zn×Fe× Y	8	^{ns} 0.04	^{ns} 0.000001	^{ns} 123683.9	^{ns} 5041.88	^{ns} 92624.11
Sub sub-Error	72	0.21	0.0004	156741.4	17840.48	85535.5
Coefficient of variation (%)		8.44	4.73	6.11	9.28	6.78

Leaf Proline: پرولین برگ؛ Stomatal conductance: هدایت روزنه‌ای؛ Ear yield: عملکرد بلال؛Cob wood yield: عملکرد چوب بلال؛Grain Yield: عملکرد دانه. ^{ns}، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح پنج و یک درصد هستند.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل عنصر آهن و تنش کمبود آب (S×Fe) نشان داد که قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه، افزایش معنی‌دار پرولین آزاد برگ را به دنبال داشت. محلول‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش پرولین آزاد برگ شد. بیش‌ترین مقادیر این صفت در تیمار قطع

آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه همراه با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار حاصل شد که نسبت به تیمار عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و محلول‌پاشی با غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی، ۱۵/۱۱ درصد افزایش داشت. کم‌ترین پرولین آزاد برگ در شرایط آبیاری کامل و بدون محلول‌پاشی سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۵). زمانی که گیاه تحت تنش کمبود آب قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه افزایش آمینواسیدها و آمیدها تسریع می‌شود. یکی از این آمینواسیدها، پرولین است. تجمع پرولین در بافت گیاهان تنش‌دیده به علت افزایش سنتز آن به وسیله پیرولین-۵-کربوکسیلازسنتتاز و کاهش تجزیه آنزیم پرولین‌اکسیداز است (Amirinejad *et al.*, 2016). به نظر می‌رسد آهن به‌عنوان کوفاکتور اثر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به‌ویژه در شرایط تنش دارد، به‌طوری‌که بر فعالیت آنزیم‌های یادشده به‌شدت اثر می‌گذارد. نتایج مطالعه Nasrolahzade *et al.* (2016) نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین و میزان قندهای محلول در ذرت شد. افزایش میزان پرولین در اثر تنش کمبود آب با نتایج تحقیقات Zafari *et al.* (2017) مطابقت داشت.

۳-۲. هدایت روزنه‌ای

بر اساس نتایج تجزیه مرکب (جدول ۲) هدایت روزنه‌ای تحت تاثیر اثر تنش کمبود آب (S)، محلول‌پاشی سولفات روی (Zn) و محلول‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل S×Zn در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی (S×Zn)، محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای شد. اما بین دو غلظت ۵ و ۱۰ هزار سولفات روی از نظر این صفت اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۴). احتمالاً تغییرات تولید آبسیزیک‌اسید در شرایط قطع آبیاری و عدم محلول‌پاشی دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای در این تیمار است. رفتار روزنه‌ها نقش اساسی در تعیین آثار تنش کمبود آب بر گیاه دارد. خشکی باعث محدودشدن بازشدگی روزنه‌ها و کاهش هدررفت آب و جذب کربن و بنابراین حفظ رطوبت در بافت‌های گیاه می‌شود (Parsa *et al.*, 2021). به نظر می‌رسد تیمارهای کمبود آب بدون محلول‌پاشی با کاهش قطر دهانه روزنه‌ها، هدایت روزنه‌ای را نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی کاهش داده و در نتیجه موجب ثابت‌ماندن محتوای آب اندام هوایی گیاه می‌شوند. Auge *et al.* (2015) گزارش کردند که کم‌آبی باعث کاهش جذب آب توسط سیستم ریشه گیاه، کاهش تعرق، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و همچنین به‌هم‌خوردن موازنه هورمونی در گیاه می‌شود.

۳-۳. محتوای فنول برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس جداگانه دو سال مورد آزمایش، در هر دو سال فنول کل تحت تاثیر تنش کمبود آب (S) و محلول‌پاشی سولفات روی (Zn) در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت و همچنین در سال دوم اثر متقابل (S×Zn) در سطح پنج درصد بر محتوای فنول کل معنی‌دار شد (جدول ۳). در بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی (S×Zn) در سال دوم، محلول‌پاشی سولفات روی در هر سه شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار محتوای فنول شد. بیشترین میزان فنول کل در تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه به همراه محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت‌های ۵ و ۱۰ در هزار حاصل شد و کم‌ترین میزان این صفت در شرایط آبیاری کامل بدون محلول‌پاشی سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۴). افزایش ترکیبات فنولی با افزایش تنش کمبود آب در این آزمایش با نتایج سایر تحقیقات مطابقت دارد (Alinia *et al.*, 2016; Davarpanah *et al.*, 2016). آن‌ها این ترکیب را به‌عنوان یک پاسخ مقاومتی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال دانستند. در همین راستا گزارش‌های قبلی نشان داد که همبستگی مثبتی بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنول کل وجود دارد (Neffati *et al.*, 2010). بعضی محققان افزایش محتوای فنولیک تحت تنش کمبود آب را به تجمع کربوهیدرات‌ها محلول در گیاهان به‌دلیل کاهش انتقال قندهای محلول نسبت داده‌اند (Ibrahim & Jaafar, 2012). علاوه‌براین افزایش تولید ترکیبات فنولی احتمالا ناشی از افزایش فعالیت فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز تحت تنش آب است (Oh *et al.*, 2009). کمبود آب همراه با شدت نور بالا، بسته‌شدن روزنه‌ها را به‌دنبال خواهد داشت، نتیجه آن کاهش جذب دی‌اکسید کربن است. بنابراین مصرف $NADPH_2$ در تثبیت دی‌اکسید کربن از طریق چرخه کالوین کاهش می‌یابد. این امر منجر به تجمع بیش از حد $NADPH_2$ می‌شود. در نتیجه آن، همه پروسه‌های متابولیک به سمت سنتز ترکیبات کاهش‌دهنده

$NADPH_2$ نظیر ایزوپرونوئیدها، فنول‌ها یا آلکالوئیدها سوق داده می‌شوند (Selmar & Klein Wachter, 2013). مطالعات بسیاری بیانگر اثر مثبت روی بر میزان فنول کل است (Song *et al*., 2015). افزایش فنول در اثر محلول‌پاشی ناشی از افزایش بیان ژن‌های مسئول بیوسنتز ترکیبات فنلی است (Dear & Aronoff, 1965).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس محتوای فنول برگ و کلروفیل a هیبرید SC704 ذرت.

Sources of Variation	df	Leaf Phenol content		Chlorophyll a	
		2018	2019	2018	2019
R	2	^{ns} 0.08	^{ns} 0.35	^{ns} 0.091	^{ns} 0.07
Water deficit stress (S)	2	** 1708.29	** 1610.28	** 17.18	** 15.97
Error a	4	0.12	0.47	0.37	0.22
Zinc (Zn)	2	** 18.02	** 21.91	** 2.18	** 1.46
S×Zn	4	^{ns} 1.33	* 1.44	^{ns} 0.07	^{ns} 0.08
Error b	12	0.81	0.41	0.07	0.19
Iron (Fe)	2	^{ns} 0.19	^{ns} 0.22	** 6.39	** 9.74
S× Fe	4	^{ns} 0.28	^{ns} 0.3	** 0.96	** 0.44
Zn× Fe	4	^{ns} 0.12	^{ns} 0.24	^{ns} 0.29	^{ns} 0.01
S×Zn× Fe	8	^{ns} 0.13	^{ns} 0.22	^{ns} 0.22	^{ns} 0.05
Sub sub-Error	36	0.66	0.39	0.22	0.07
Coefficient of variation (%)		5.51	4.63	17.31	9.62

Leaf phenol content: محتوای فنول برگ؛ Chlorophyll a: کلروفیل a، ^{ns}، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد هستند.

جدول ٤. نتایج اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی بر برخی صفات ذرت SC704.

Irrigation levels	$ZnSO_4$	Stomatal conductance (mol/ m^2.s)	Phenol content (mg gallic acid g^{-1} FW)	Ear yield (kg/ ha)	Cob wood yield (kg/ ha)	Grain yield (kg/ ha)
Full irrigation	0	0.231b	7.74g	6790e	1462d	5328e
	5 g/L	0.294a	8.49f	8742b	2254b	6488b
	10 g/L	0.296a	8.64f	9554a	2492a	7062a
Cut-off irrigation at vegetative growth stage	0	0.082e	17.21e	4907g	946g	3961g
	5 g/L	0.095c	18.63d	7331d	1663c	5668d
	10 g/L	0.097c	19.66c	7732c	1752c	5980c
Cut-off irrigation at the early stage of seed growth	0	0.079e	22.31b	4193h	687h	3506h
	5 g/L	0.091d	23.7a	5890f	1158f	4732f
	10 g/L	0.091d	24.28a	6601e	1332e	5270e

Full irrigation: آبیاری کامل؛ Cut-off irrigation at vegetative growth stage: قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی؛ Cut-off irrigation at the early stage of seed growth قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین براساس آزمون‌ها چنددامنه‌ای دانکن تیمارها هستند.

جدول ۵. نتایج اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات آهن بر برخی صفات ذرت SC704.

Irrigation levels	$FeSO_4$	Leaf proline	Ear Yield (kg/ ha)	Cob wood yield (kg/ ha)	Grain yield (kg/ ha)
Full irrigation	0	4h	7302c	1686c	5616c
	3 g/ L	4.6g	8648b	2121b	6525b
	6 g/ L	5f	9135a	2400a	6735a
Cut-off irrigation at vegetative growth stage	0	5e	5827f	1203e	4623f
	3 g/ L	5.7e	6902d	1500d	5405d
	6 g/ L	6.5c	7237c	1657c	5580cd
Cut-off irrigation at the early stage of seed growth	0	6.1d	4958g	871g	4086g
	3 g/ L	6.9b	5604f	1056f	4547f
	6 g/ L	7.7a	6122e	1248e	4873e

Full irrigation: آبیاری کامل؛ Cut-off irrigation at vegetative growth stage: قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی؛ Cut-off irrigation at the early stage of seed growth: قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه. در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند.

۳-۴. کلروفیل a

براساس نتایج تجزیه واریانس، در هر دو سال آزمایش اثر تنش کمبود آب (S)، محلول‌پاشی سولفات روی (Zn) و محلول‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل (S×Fe) در سطح یک درصد بر کلروفیل a معنی‌دار شدند (جدول ۳).

در بررسی نتایج اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات آهن (S×Fe) در هر دو سال، آبیاری کامل منجر به افزایش معنی‌دار کلروفیل a شد و قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه منجر به کاهش محسوس‌تر کلروفیل a شد. محلول‌پاشی سولفات آهن در هر سه شرایط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش کلروفیل a شد. بیش‌ترین میزان این صفت در سال اول و دوم آزمایش در آبیاری کامل همراه با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار به‌ترتیب به‌میزان ۴/۲۸ و ۴/۵۵ میلی‌گرم بر گرم برگ تازه حاصل شد. کم‌ترین میزان کلروفیل a در هر دو سال در شرایط عدم آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون محلول‌پاشی سولفات آهن حاصل شد (شکل ۱).

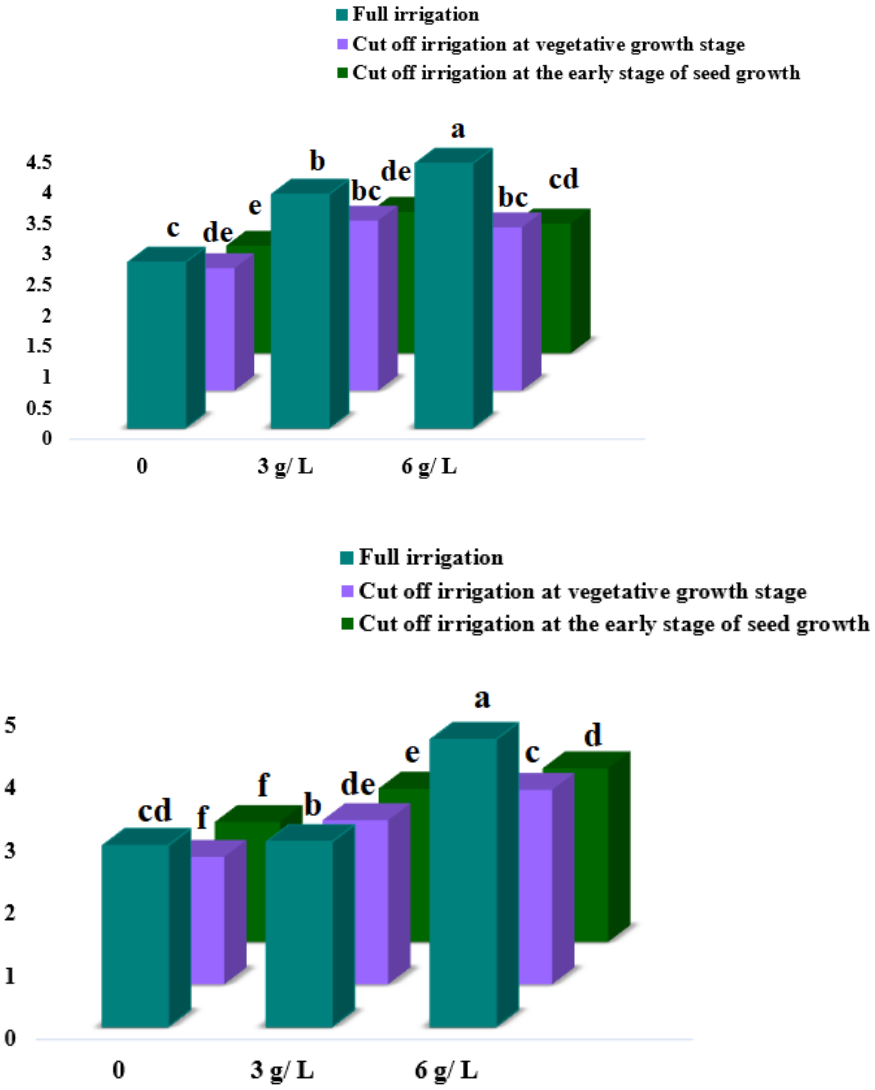
محتوای پایین کلروفیل تحت شرایط تنش کمبود آب از نشانه‌های وجود تنش اکسیداتیو است که ممکن است باعث اکسیداسیون نوری رنگدانه‌ها و تخریب کلروفیل شود. کاهش و یا عدم تغییر در سطح کلروفیل طی تنش کمبود آب در بیشتر گونه‌ها گزارش شده است که وابسته به مدت و شدت کمبود آب است (Giancalra *et al*., 2013). در این آزمایش کمبود آهن منجر به کاهش کلروفیل شد. در تفسیر می‌توان بیان کرد که آهن جزء متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن‌اکسیداز است. این آنزیم در بیوسنتز آلفا-آمینولیوولینیک‌اسید (ALA) که پیش‌ساز کلروفیل است، دخیل می باشد. بنابراین کاهش ذخیره کلروفیل در برگ‌ها به‌علت مهار مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل است و مهار بیوسنتز کلروفیل احتمالا به‌واسطه آلفا- آمینولیوولینیک‌اسید و مهار تشکیل پروتوکلروفیلدردوکتاز می‌باشد (Astolfi *et al*., 2012).

۳-۵. عملکرد بلال

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که عملکرد بلال تحت تاثیر اثر تنش کمبود آب (S)، محلول‌پاشی سولفات روی (Zn) و محلول‌پاشی سولفات آهن (Fe) و اثر متقابل آهن و تنش کمبود آب، روی و تنش کمبود آب، روی و سال و آهن و روی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و عنصر روی، محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بلال شد. کاربرد غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد بلال را نسبت به غلظت ۵ در هزار سولفات روی افزایش داد. بیش‌ترین مقادیر این صفت در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۹۵۵۴/۳۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین سطح آبیاری میزان عملکرد بلال ۴۰/۷ درصد افزایش یافت (جدول ۴). در بررسی اثر برهم‌کنش تنش کمبود آب و عنصر آهن (S×Fe)، محلول‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بلال شد. کاربرد غلظت ۶ در هزار سولفات آهن به‌طور معنی‌داری عملکرد بلال را نسبت به غلظت ۳ در هزار سولفات آهن افزایش داد. بیش‌ترین عملکرد بلال در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۹۱۳۵/۶۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین سطح آبیاری ۲۵/۱ درصد افزایش داشته است. همچنین کم‌ترین مقدار این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون محلول‌پاشی سولفات آهن حاصل شد (جدول ۵).

در صورت کمبود آهن، در سلول‌های برگ کلروفیل به مقدار کافی تولید نمی‌شود و برگ‌ها رنگ‌پریده به‌نظر می‌آیند. بنابراین مصرف سولفات آهن از طریق فرآیندهای ساختاری گیاه بر رشد گیاه اثر گذاشته و این اثر در عملکرد نمایان شد (Fathi Amirkhiz *et al*., 2015). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آهن و روی بیانگر آن بود که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌داری عملکرد بلال شد. بیش‌ترین میزان این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و ۶ در هزار سولفات آهن (۸۶۰۹/۲ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین مقادیر این صفت در شرایط عدم محلول‌پاشی روی و آهن (۴۸۰۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۶). کمبود ناشی از روی سبب اختلال در سوخت و ساز بافت سلولی می‌شود و مسئول خسارت به پروتئین‌های غشایی،کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، ایندول‌استیک‌اسید می‌باشد. بنابراین سبب ممانعت از رشد شده و

گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی رنج خواهند برد (Jorfi *et al.*, 2022a).



شکل ۱. محتوای کلروفیل برگ ذرت در دو سال مورد آزمایش تحت تاثیر تیمار قطع آبیاری و محلول‌پاشی سولفات آهن.

۳-۶. عملکرد چوب بلال

براساس نتایج تجزیه مرکب (جدول ۲)، اثر تنش کمبود آب، محلول‌پاشی سولفات روی و محلول‌پاشی سولفات آهن و اثر متقابل آهن و تنش کمبود آب، روی و تنش کمبود آب و آهن و روی در سطح احتمال یک درصد و روی و سال در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد چوب بلال معنی‌دار شدند. اثر برهم‌کنش تیمار آبیاری و عنصر روی نشان داد محلول‌پاشی سولفات روی در تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد چوب بلال شد. بیش‌ترین مقادیر این صفت در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۲۴۹۲/۲۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط آبیاری به‌میزان ۷۰/۵ درصد افزایش یافت. کم‌ترین میزان این صفت در شرایط قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون محلول‌پاشی سولفات روی حاصل شد (جدول ۴). روی با افزایش مقدار تنظیم‌کننده‌های رشد، به متابولیسم مواد کمک کرده و بااثرگذاشتن بر واکنش‌های انتقال الکترون در چرخه کربس و مشارکت در تقسیم سلولی بافت‌های

مریستمی، شرکت در تولید مـواد هیدروکربن‌دار و پروتئین و انتقال آن‌ها و همچنین بـا تاثیر بـر فرآیندهای زایشی، باعث افزایش عملکـرد می شود (Ghafari Malayeri *et al.*, 2012).

در بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی سولفات آهن و تنش کمبود آب، محلول‌پاشی سولفات آهن در شرایط عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد چوب بلال شدند. کاربرد غلظت ۶ در هزار سولفات آهن به‌طور معنی‌داری عملکرد چوب بلال را نسبت به غلظت ۳ در هزار افزایش داد. بیش‌ترین عملکرد چوب بلال در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۲۴۰۰/۵۹ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد و کم‌ترین مقادیر این صفت در شرایط عدم آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و بدون محلول‌پاشی سولفات آهن (۸۷۱/۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵). نتایج برهم‌کنش عناصر آهن و روی بیانگر آن بود که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد چوب بلال شد. بیش‌ترین میزان این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۲۱۶۰/۵۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و کم‌ترین مقادیر این صفت در شرایط عدم محلول‌پاشی روی و آهن (۹۰۲/۰۱ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۶). به نظر می‌رسد در غلظت غیر بهینه و در شرایط عدم کاربرد عناصر ریزمغذی، کاهش عملکرد چوب بلال متاثر از کاهش طول و قطر بلال، به‌دلیل رقابت بوته‌ها در جذب عناصر غذایی در شرایط موجود باشد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تحقیقات Ariannia *et al.* (2014) همخوانی داشت.

جدول ٦. نتایج اثر متقابل محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن بر برخی صفات ذرت SC704.

$ZnSO_4$	$FeSO_4$	Ear yield (kg/ha)	Cob wood yield (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)
0	0	4802g	902h	3900g
	3 g/L	5457f	1072g	4385f
	6 g/L	5631f	1121g	4510f
5 g/L	0	6176e	1323f	4853e
	3 g/L	7531c	1727d	5804c
	6 g/L	8255b	2025b	6230b
10 g/L	0	7109d	1536e	5573d
	3 g/L	8170b	1879c	6291ab
	6 g/L	8602a	2160a	6449a

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند.

۳-۷. عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب (جدول ۲) نشان داد که عملکرد دانه تحت تاثیر اثر تنش کمبود آب (S)، محلول‌پاشی سولفات روی و محلول-پاشی سولفات آهن و اثر متقابل تنش کمبود آب و روی و آهن و روی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آهن و تنش کمبود آب در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. محلول‌پاشی سولفات روی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به غلظت ۵ در هزار سولفات روی افزایش داد. بیش‌ترین مقادیر این صفت در آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۷۰۶۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد که نسبت به عدم محلول‌پاشی در همین شرایط آبیاری میزان عملکرد دانه ۳۲/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۴). قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد و محلول‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کمبود آهن منجر به افزایش خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو در اثر کمبود آب شده است. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۶۷۳۵/۰۷ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر آهن و روی بیانگر آن بود که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به افزایش معنی‌داری عملکرد دانه شد. بیش‌ترین میزان این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت ۶

در هزار (۶۴۴۸/۶۵ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۶). عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی و آهن برای رشد گیاهان ضروری بوده و در فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر فتوسنتز، تولید هورمون‌های گیاهی و تشکیل کلروفیل گیاهی دخالت دارند و کمبود آن‌ها می‌تواند موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و در نهایت کاهش کمیت و کیفیت محصول را به دنبال داشته باشند (Jorfi *et al.*, 2022b). به‌طور کلی میزان ماده خشک گیاه یک استاندارد بحرانی برای تعیین عملکرد دانه است و اساس و پایه افزایش عملکرد دانه در اختیار داشتن ماده خشک کافی در گیاه است (Song *et al.*, 2013). به نظر می رسد در این تحقیق برهم کنش کاربرد برگی عناصر غذایی کم‌مصرف نقش مهمی در افزایش میزان ماده خشک و در نتیجه عملکرد دانه دارد.

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن در شرایط کمبود آب منجر به افزایش محتوای فنول برگ و شاخص‌های عملکردی ذرت SC704 شد. تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی و ابتدای رشد دانه باعث افزایش مقادیر پرولین برگ شد که این افزایش در مرحله ابتدای رشد دانه و با کاربرد غلظت ۶ در هزار سولفات آهن محسوس‌تر بود. بیش‌ترین مقادیر عملکرد دانه با محلول‌پاشی غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی و ۶ در هزار سولفات آهن حاصل شد که مبین نقش مثبت و مطلوب عناصر ریزمغذی در جبران اثرات نامطلوب تنش کمبود آب در گیاه ذرت است.

۵. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری صمیمانه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و همچنین تلاش‌های سرکار خانم دکتر انیسه جرفی در ارائه این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

۶. منابع

Afshari, M., Naderi, A., Mojadam, M., Lack, S., & Alavifazel, M. (2020). Zinc and iron-mediated alleviation water deficiency of maize by modulating antioxidant metabolism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *48*(2), 989-1004.

Amiri Nejad, M., Akbari, G., Baghi Zadeh, A., Dahdi, A., Shahbazi., M., & Naimi, M. (2016). Effect of drought stress on agronomic and biochemical properties of three maize hybrids (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, *8*(32), 60-45. (In Persian).

Alinian, S., Razmjoo, J., & Zeinali, H. (2016). Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin (*Cuminum cyminum* L.) accessions under different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, *81*, 49-55.

Alizadeh, P., Mohammadi, H., Shahnoushi, N., Saghaian Nejad, S.H., & Pooya, A. (2019). Investigating factors affecting import demand of meat and livestock inputs in Iran. *Agricultural Economics*, *13*(3), 1-28. (In Persian).

Ariannia, N., Alami Saeid, K., Enayat Gholizade, M., & Sharafi Zade, M. (2013). Response of morphophysiological traits in seed production of S.C. 704 maize in response to plant density and planting pattern for meternal and peternal line. *Journal of Plant Production Sciences*, *3*(1), 28-32. (In Persian).

Astolfi, S., Zuchi, S., Hubberten, H.M., Pinton, R., & Hoefgen, R. (2010). Supply of sulphur to S-deficient young barley seedlings restores their capability to cope with iron shortage. *Journal of Experimental Botany*, *61*, 799–806.

Auge, R.M., Toler, H.D., & Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: A meta-analysis. *Mycorrhiza*, *25*(1), 13-24.

Bates, L.S., Waldren, R.P., & Teare, L.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, *89*(1), 1-16.

Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarnejad, G., Abadia, J., & Khorasani, R. (2016). Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. *Scientia Horticulturae*, *210*, 1-8.

Dear, J., & Aronoff, S. (1965). Kinetics of chlorogenic and caffeic acids during the onset of boron deficiency in sunflower. *Journal of Plant Physiology*, *40*, 458–459.

Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Hashmati, S. (2015). Investigation of the effect of iron chelate on chlorophyll content, quantum efficiency of photosystem II and some biochemical traits in safflower under low irrigation conditions. *Iran Crop Plants Science*, *46*(1), 137-145. (In Persian).

Faurobert, M., Pelpoir, E., & Chaib, J. (2007). Phenol extraction of proteins for proteomic studies of recalcitrant plant tissues. *Journal of Plant Proteomics*, 9-14. Humana Press.

Giancarla, V., Modosa, E., Ciulca, S., Coradini, R., Iuliana, C., Mihaela, M., & Lazar, A. (2013). Influence of water stress on the chlorophyll content in bareley. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, *17*, 233-228.

Ghaffari Malayeri, M., Akbari, G., & Mohammadzadeh, A. (2012). Response of yield and yield components of corn to soil application and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Agricultural Research*, *10*(2), 373-368. (In Persian).

Golbashy, M., Ebrahimi, M., Khavari Khorasani, S., & Choucan, R. (2010). Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research*, *5*(19), 2714-2719.

Ibrahim, M.H., & Jaafar, H.Z.E. (2012). Primary secondary metabolites, H_2O_2, malondialdehyde and phosynthetic responces of *Orthosiphon stimaneus* Benth. to different irradiance levels. *Molecules*, *17*, 1159–1176.

Jorfi, A., Alavifazel, M., Gilani, A., Ardakani, M.R., & Lak, S. (2022a). Yield and morpho-physiological performance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes as affected by phosphorus and zinc. *Journal of Plant Nutrition*, *46*(16), 2432- 2446.

Jorfi, A., Alavifazel, M., Gilani, A., Ardakani, M.R., & Lak, S. (2022b). Quinoa (*Chenopodium quinoa*) root system development as affected by phosphorus and zinc sulfate application in an alkaline soil. Gesunde Pflanzen. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00740-0.

Mahmoodi, J., & Yarnia, M. (2013). The effect of zinc sulfate different amount soil and foliar application on correlated grain characters in sweet corn. *Journal of Crop Ecophysiology*, *6*(24(4)), 429-442. (In Persian).

Moayeri, M. (2020). *Irrigation of summer corn fields in Khuzestan province.* Prepared at the agricultural engineering and technical research institute, knowledge network and promotional media office. Publication of agricultural education, 40 p. (In Persian).

Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayneband, A., & Lack, S. (2014). Interaction of deficit irrigation and water interruption on redistribution of storage materials, current photosynthesis and its relation with grain yield. *Crop Physiology Journal*, *6*(22), 68-53. (In Persian).

Nasrollahzadeh Asl, V., Shiri, M.R., Moharramnejad, S., Yousefi, M., & Baghbani, F. (2016). Effect of drought stress on agronomic and biochemical properties of three maize hybrids (*Zea mays* L.). *Crop Physiology Journal*, *8*(32), 60-45. (In Persian).

Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H., & Siyar, M.H. (2013). The effect of soil consumption of iron and manganese on quantitative and qualitative properties of single cross forage corn 704. *Journal of Agricultural Crop Production*, *15*(2), 86-75. (In Persian).

Neffati, M., Sriti, J., Hamdaoui, G., Kchouk, M.E., & Marzouk, B. (2010). Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts. *Food Chemistry*, *124*, 221–225.

Oh, M.M., Trick, H.N., & Rajashekar, C.B. (2009). Secondary metabolism andantioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology*, *166*, 180–191.

Parsa, S., Khazaei Tabar, H., Shahidi, A., & Mahmoudi, S. (2021). Effect of different low irrigation methods on the physiological traits of seed corn (*Zea mays* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *14*(2), 321-330. (In Persian).

Peykaristan, B., Yarynya, M., & Madani, H. (2017). Effect of Zn deficiency irrigation and spraying on growth and yield indices of sweet maize cultivars. *Crop Physiology Journal*, *9*(33), 97-85. (In Persian).

Raker, J., Bressan, R.A., Zhu, J.K., & Bohnert, H.J. (2013). Physiological bases for yield difference in selected maize cultivars. *Centeral America field Crop Research*, *42*, 69-80.

Rezaverdinejad, V., Sohrabi, T., & Liaghat, A.M. (2006). Study of deficit irrigation effect on corn forage yield at its growth stage. 1th national congress of irrigation and drainage nets. Ahvaz.

Salem, H.M., & El-Gizawy, N.K.B. (2012). Importance of micronutrients and its application methods for improving maize (*Zea mays* L.) yield grown in clayey soil. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environment Science*, *12*(7), 954-959.

Selmar, D., & Kleinwachter, M. (2013). Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. *Plant and Cell Physiology*, *54*(6), 817–826.

Seyedzwar, J., Nowrozi, M., & Ahrizad, S. (2014). Evaluation of water deficit stress tolerance indices in corn hybrids. *Ecophysiology of Crop Plants*, *9*(4(36)), 503-520. (In Persian).

Song, C.Z., Liu, M.Y., Meng, J.F., Chi, M., Xi, Z.M., & Zhang, Z.W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics inberries of *Vitis vinifera* cv. merlot growing on zinc deficient soil. *Journal of Molecular*, *20*, 2536–2554.

Song, G.Y., Xu, Z.J., & Yang, H.S. (2013). Effects of N rates on N uptake and yield in erect panicle rice. *Agricultural Science*, *4*, 499–508.

Stravinskiene, V., & Racaite, M. (2014). Impact of cadmium and zinc on the growth of winter clover (*Trifolium repens* L.) shoots and roots. *Polish Journal of Environmental Studies*, *23*, 1355-1359.

Zafari, M., Ebadi, A., & Jahanbakhsh Godehkahriz, S. (2017). Effect of seed inoculation on alfalfa tolerance to water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *45*(1), 82-88.

Zare, K., Vazin, F., & Hassanzadeh Delouei, M. (2013). Effects of potassium and iron on yield of corn (*Zea mays* L.) in drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, *8*, 45-57.