نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۴(۶۰)، زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۵۳۴-۵۱۵

**مقاله پژوهشی** DOI: 10.30495/jcep.2022.689804

# واکنش شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) به مصرف عناصر روی و آهن در شرایط قطع آبیاری

**مجتبی افشاری[۱و۲]، احمد نادری[۲و۳*]، مانی مجدم[۲]، شهرام لک[۲] و مجتبی علوی‌فاضل[۲]**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۸**

## چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی اثر عناصر ریزمغذی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکردی ذرت هیبرید SC704 در شرایط کمبود آب، در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و۱۳۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه آزمایشی در شمال غرب اهواز اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. کرت‌های اصلی شامل تنش کم‌آبی در سه سطح آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مراحل رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و ابتدای رشد دانه، کرت‌های فرعی شامل محلول‌پاشی سولفات روی در سه غلظت (صفر، ۵ و ۱۰ گرم در یک لیتر آب) و کرت‌های فرعی فرعی شامل محلول‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت (صفر، ۳ و ۶ گرم در یک لیتر آب) بودند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که افزایش غلظت سولفات روی از صفر به ده در هزار و در مقادیر ثابت کاربرد سولفات آهن (غلظت ۶ در هزار) منجر به افزایش شاخص سطح برگ در شرایط کمبود آب در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه گردید و همچنین کمترین میزان فتوسنتز جاری در شرایط عدم محلول‌پاشی روی و آهن حاصل گردید. کمترین محتوای دی اکسیدکربن بین سلولی در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه به‌دست آمد که کاربرد سولفات روی و آهن سبب افزایش مقادیر این صفت و رفع محدودیت‌های فتوسنتزی شد. 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.

**واژگان کلیدی**: ریز مغذی، شاخص سطح برگ، فتوسنتز، عملکرد دانه.

**۱- گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.**

**۲- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.**

**۳- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.**

*** نگارنده‌ی مسئول** naderi.ah1336@gmail.com

**مقدمه**

ذرت یکی از گیاهان زراعی قدیمی مورد استفاده انسان است که از نظر عملکرد و میزان تولید در دنیا رتبه اول و از نظر سطح زیرکشت مقام سوم را بعد از گندم و برنج دارد (Palash *et al.*, 2021).

شناخت مراحل حساس به کمبود آب در گیاهان و تأمین به موقع نیاز آنها می‌تواند ما را در جهت حصول حداکثر عملکرد یاری نماید. کمبود آب عبارت است از ناکافی بودن آب قابل دسترس شامل بارش نزولات، ظرفیت ذخیره رطوبت خاک، مقدار و پراکندگی آن در طی دوره رشد گیاهان زراعی است که باعث محدود شدن پتانسیل ژنتیکی عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Lack *et al.*, 2007). 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 به‌وسیله کمبود آب تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مطالعات نشان می‌دهد که کمبود آب سبب کوچک‌تر شدن سلول‌ها و کاهش تعداد سلول‌های تولیدی به‌وسیله مریستم‌ها می‌شود (Nabavi Moghadam *et al.*, 2013). نوری اظهر و احسان زاده (Nouri azhar and Ehsanzadeh, 2007) با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت در دو رژیم مختلف آبیاری گزارش کردند که کم‌آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. آنها همچنین گزارش کردند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک وجود دارد. در گیاه ذرت تولید ماده خشک با کاهش آب مصرفی، نقصان می‌یابد، ولی کاهش عملکرد دانه در اثر کمبود آب بیش از کاهش ماده خشک تولیدی است. تنش آبی به دلیل مواجه شدن ذرت با درجه حرارت‌های بالا در محیط‌های گرمسیری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد می‌شود (Campos *et al.*, 2004). رضاوردی‌نژاد و همکاران (Rezaverdinejad *et al.*, 2006) با اعمال تیمارهای کم آبیاری 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 گردید. چاکیر (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 می‌گردد. روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. این عنصر در فعالیت‌های آنزیم‌های گیاهی و بر ویژگی‌های مختلف رشد ذرت نقش اساسی دارد و بروز ضعف عمومی در رشد و ایجاد پاکوتاهی از علایم 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 با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور مضاعفی با کمبود این عنصر مواجه خواهد شد (Sheikh Begloo *et al.*, 2009). کمبود آهن از دیگر اختلالات تغذیه‌ای شایع در بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهکی و قلیایی رشد می‌کنند، است (Baybordi, 2006).

اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی از طریق محلول‌پاشی سولفات آهن یا محلول‌پاشی کلات آهن می‌تواند کارآمدتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد (Fageria *et al*., 2009). آهن به مقدار زیاد در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی مورد نیاز است و به‌عنوان کوفاکتور در چندین پروتئین در زنجیره انتقال الکترون نقش دارد (Astolfi *et al*., 2010). از آنجایی که عوامل ژنتیکی، شرایط محیطی و مدیریت گیاه در شرایط تنش، تعیین‌کننده عملکرد کمی گیاهان می‌باشد، این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات رشدی و عملکردی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در واکنش به مصرف عناصر روی و آهن در شرایط کمبود آب انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ و ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه آزمایشی واقع در شمال غرب اهواز به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل عامل تنش کمبود آب در سه سطح: آبیاری کامل (شاهد)، عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و عدم آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه، کرت‌های فرعی شامل: محلول‌پاشی سولفات روی در سه غلظت صفر، ۵ و ۱۰ گرم در یک لیتر آب بود و محلول‌پاشی سولفات آهن در سه غلظت صفر، ۳ و ۶ گرم در یک لیتر آب 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 و جهت بررسی‌های لازم به آزمایشگاه ارسال گردید (جدول ۱). هر کرت شامل ۶ خط کاشت به فواصل ۷۵ سانتی‌متر بود. کودهای شیمیایی کاربردی شامل اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده که نیمی از آن به‌صورت پایه و نیمی دیگر به‌صورت سرک استفاده شد. همچنین، به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل استفاده گردید. بذر مورد استفاده در این تحقیق، ذرت هیبرید ۷۰۴ که از جمله هیبریدهای دیررس می‌باشد، بود. کشت به صورت ردیفی در پنجم مرداد ماه صورت گرفت. بذرها به‌صورت کپه‌ای در عمق ۵-۳ سانتی‌متری کشت شدند. در مرحله ۴-۲ برگی عملیات تنک انجام گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام و سپس تا مرحله استقرار کامل گیاهچه‌ها (۴ تا ۵ برگی) آبیاری‌ها به‌صورت معمول و تامین صد در صد نیاز آبی گیاه انجام گرفت. پس از آن تیمارهای مربوط به تنش کمبود آب اعمال شد که شامل عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی (۱۴-۱۲ برگی) و عدم آبیاری در ابتدای رشد دانه بود. در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی و کنترل شیمیایی با علف کش نیکوسولفورون با غلظت ۲ لیتر در هکتار انجام شد. محلول‌پاشی هر یک از عناصر آهن و روی با غلظت‌های تعیین شده پس از کالیبره کردن سمپاش با فشار یک اتمسفر در دو زمان در مرحله شش و هشت برگی و در مرحله دوازده برگی انجام گردید. برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی و با رطوبت دانه حدود ۲۰ درصد انجام شد. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل: شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR)، میزان فتوسنتز جاری، هدایت روزنه ای، دی‌اکسیدکربن بین سلولی، محتوای پرولین آزاد برگ، وزن کل بلال و عملکرد دانه بود.

پس از حذف دو خط حاشیه هر کرت، از خطوط وسط جهت مقایسه عملکرد به‌صورت کف‌بر برداشت گردید. شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد هر ۲۰ روز یک بار تعیین گردید. اولین نمونه‌برداری در مرحله ۶ برگی بوته‌های ذرت آغاز گردید و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی ادامه یافت. برای تعیین شاخص سطح برگ از رابطه ۱ (Lack *et al.*, 2007) استفاده گردید.

معادله (۱) $S= 0.46(L.W) + 0.00046(L.W)^2$

در این رابطه S، L و W به‌ترتیب سطح برگ و حداکثر طول و عرض برگ سبز ذرت بود. در هر نمونه‌برداری تعداد مشخصی برگ به‌صورت تصادفی انتخاب و پس از اندازه‌گیری موارد مذکور شاخص سطح برگ در آن مرحله محاسبه گردید.

به‌منظور بررسی روند تغییرات سرعت رشد محصول (CGR) از رابطه ۲ (Sarmadnia and Kouchaki, 2013) استفاده گردید.

معادله (۲) $CGR =(W2-W1)/GA(T2-T1)$

در این رابطه $W_2$-$W_1$: وزن ماده خشک تولیدی در دو برداشت متوالی، $t_2$-$t_1$: فاصله زمانی بین دو برداشت متوالی و GA: سطح زمین اشغال شده توسط گیاه در زمان نمونه‌گیری بودند.

پارامتر تبادل گازی شامل دی‌اکسیدکربن بین سلولی و هدایت روزنه‌ای در زیر نور خورشید کامل در طول ظهر بین ساعت ۱۱ تا ۱۳، با استفاده از یک سیستم فتوسنتزی قابل حمل مدل (LI-6200, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) اندازه‌گیری شد. جوان‌ترین نمونه‌های برگ انتخاب و مشاهدات هنگامی ثبت شد که رطوبت نسبی و غلظت $CO_2$ اتمسفر به یک مقدار پایدار برسد. PAR، دمای هوا، رطوبت نسبی و غلظت $CO_2$ در داخل سنسور در زمان اندازه‌گیری فتوسنتز خالص به‌ترتیب ۱۰۰± ۱۳۰۰ میکرومول در مترمربع در ثانیه، ۲± ۲۸ درجه سلسیوس، ۶۰ درصد و ۳۳۵-۳۴۰ میکرومول بر مول تنظیم شد.

برای محاسبه مقدار پرولین از منحنی استاندارد پرولین به روش بیتس (Bates, 1973) استفاده گردید. جهت محاسبه عملکرد دانه، پس از کوبیدن بلال‌های هر کرت دانه‌ها را جدا نموده و دانه‌های برداشت شده هر کرت آزمایشی به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق توزین شده و عملکرد دانه محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری میزان ماده خشک حاصل از فتوسنتز جاری از هر کرت پس از حذف حواشی، پنج بوته برداشت و مقادیر این صفت با استفاده از رابطه ۳ (Alavi Fazel, 2015) محاسبه گردید.

معادله (۳):

میزان توزیع مجدد – عملکرد دانه= ماده خشک حاصل از فتوسنتز جاری

وزن کل بلال نیز از مجموع وزن خشک دانه و چوب بلال حاصل گردید. تجزیه مرکب داده‌های حاصل از این بررسی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.12 انجام و مقایسه میانگین تیمارها به روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید. در این آزمایش، سال به‌عنوان عامل تصادفی در نظر گرفته شد و آزمون F بر اساس امید ریاضی واریانس‌ها محاسبه گردید. کلیه شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 ترسیم گردید.

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب، تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن بین سلولی و در سطح

احتمال پنج درصد بر میزان فتوسنتز جاری، وزن کل بلال و عملکرد دانه ایجاد کرد. همچنین، اثر ساده تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن بر فتوسنتز جاری، وزن کل بلال و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد و بر صفات هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن بین سلولی و محتوای پرولین برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی و برهم‌کنش تنش کمبـود آب، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن در سطح احتمال ۱٪ بر پارامترهای هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسیدکربن بین سلولی معنی‌دار بود. در این بررسی برهم‌کنش سال، تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات روی بر صفات هدایت روزنه‌ای، دی‌اکسیدکربن بین سلولی و محتوای پرولین برگ و برهمکنش تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات آهن بر وزن کل بلال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. پارامتر دی‌اکسیدکربن بین سلولی تحت تاثیر برهم‌کنش سال، تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات آهن و نیز سال، محلول‌پاشی روی و آهن در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲).

## شاخص سطح برگ (LAI)

بر اساس نتایج، بیشترین شاخص سطح برگ در شرایط آبیاری کامل همراه با محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار و سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار حاصل گردید. عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای رشد دانه منجر کاهش شاخص سطح برگ گردید (شکل ۱). به نظر می‌رسد با شروع تنش آب، ممانعت از رشد سلولی منجر به کاهش توسعه برگ‌ها و سطح برگ شده است. این کاهش در قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی محسوس‌تر بود. افزایش غلظت سولفات روی از ۵ به ده هزار در مقادیر ثابت کاربرد سولفات آهن (غلظت ۶ در هزار) منجر به افزایش شاخص سطح برگ در شرایط کمبود آب در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه گردید (شکل ۱). کمبود آب ممکن است گسترش سایه‌انداز گیاه را از طریق اثر بر تعداد، اندازه و ریزش برگ محدود کند، محدودیت سطح برگ اولین خط دفاعی برای سازگاری با کمبود آب عنوان شده است (Fathi Saadabadi and Navabi, 2008). پیکرستان و همکاران (Peykaristan *et al.*, 2017) اظهار نمودند بالاترین شاخص سطح برگ در روش آبیاری کامل به‌دست آمد. دلیل کاهش شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد در روش‌های مختلف آبیاری تحت شرایط کم آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل را می‌توان به کاهش مـواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش کم آبیاری نسبت داد. برتری شاخص سطح برگ در شرایط تنش کمبود آب ناشی از اثر مثبت عناصر روی و آهن در متابولیسم و فرآیندهای گیاهی نسبت به عدم محلول‌پاشی در این شرایط رطوبتی است.

## سرعت رشد محصول (CGR)

بر اساس نتایج حاصل (شکل ۲) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه، سرعت رشد محصول در ابتدا روند افزایشی داشت، اما در مرحله ابتدا رشد دانه با قطع آبیاری، کاهش محسوسی یافت. در بین هر سه سطح آبیاری بیشترین مقادیر سرعت رشد محصول در تیمار آبیاری کامل حاصل گردید که ناشی از عدم وجود شرایط تنش در جذب آب و عناصر غذایی است (شکل ۲). در ابتدای فصل رشد افزایش سرعت رشد محصول به رشد و نمو سریع برگ‌ها و ساقه

نسبت داده می‌شود، که این امر مستلزم تأمین آب، عناصر غذایی کافی جهت رشد و توسعه گیاه به‌ویژه در مراحل بحرانی رشد می‌باشد. کاهش سرعت رشد محصول در شرایط کمبود آب را می‌توان به کاهش ماده خشک بر اثر ریزش برگ‌های پایینی ذرت و فتوسنتز خالص منفی نسبت داد. کاربرد سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و ۶ در هزار سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش سرعت رشد محصول گردید. قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی منجر به کاهش بیشتر سرعت رشد محصول نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه گردید. اما استفاده از محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی این کاهش را تا حدودی جبران کرد (شکل ۲). محلول‌پاشی عناصر غذایی هنگام بروز تنش‌ها می تواند مقاومت گیاه را تا حدی افزایش دهد. به‌نظر می‌رسد کاربرد عناصر ریزمغذی باعث بهبود رشد ریشه، اندام هوایی و در نتیجه جذب بیشتر عناصر مورد نیاز گیاه از خاک می‌گردد و در نتیجه گیاه با ذخایر فتوسنتزی، حجم و طول ریشه بیشتری وارد شرایط تنش شده است. بنابراین، گیاهان محلول‌پاشی شده، آب بیشتری از اعماق پایین‌تر خاک دریافت و تا حدودی خسارت ناشی از تنش کم‌آبی را کاهش داده اند.

**هدایت روزنه‌ای**

در بررسی اثر ساده تنش کمبود آب، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن، بیشترین هدایت روزنه‌ای با میانگین ۰/۲۷ مول بر مترمربع در ثانیه در شرایط آبیاری کامل به‌دست آمد و قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه سبب کاهش ۷۰/۳۸ درصدی این پارامتر شد. همچنین، کمترین مقادیر این پارامتر در شرایط عدم محلول‌پاشی سولفات روی و آهن حاصل گردید که با سطوح مختلف کاربرد سولفات روی و سولفات آهن تفاوت معنی‌دار داشت. بین دو غلظت ۵ و ۱۰ در هزار سولفات روی و ۳ و ۶ در هزار سولفات آهن، به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری از حیث این صفت نبود و بیشترین هدایت روزنه‌ای در غلظت‌های مذکور به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج برهم‌کنش تیمارها نشان داد بیشترین هدایت روزنه‌ای با میانگین ۰/۳۰ مول بر مترمربع در ثانیه در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی و ۶ در هزار سولفات آهن به‌دست آمد و کمترین مقادیر این صفت متعلق به تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه و نیز در شرایط عدم محلول‌پاشی سولفات روی و آهن بود. در شرایط قطع آبیاری، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن سبب افزایش هدایت روزنه‌ای گردید (جدول ۵). در همین راستا نتایج تحقیقات سرخی و فاتح (Sorkhi and Fateh, 2019) نشان داد که تنش کمبود آب منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای در ذرت گردید. کاهش هدایت روزنه‌ای سبب کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به درون برگ‌ها شده و در نتیجه سبب پایین آمدن میزان ساخت در اندام فتوسنتز کننده گیاه می‌گردد، از طرفی مصرف کاربرد عناصر با اثرگذاری مثبت بر کارکرد مطلوب روزنه‌ها، فعالیت روزنه‌ای، توسعه سلولی، ذخیره آسیمیلات‌ها، حفظ آماس سلولی، تقویت ریشه، طویل کردن ریشه، تنظیم اسمزی، تنظیم تنفس، انتقال مواد فتوسنتزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها، حرکات برگ و تروپیسم‌ها و در نهایت بهبود نرخ فتوسنتز سبب غلبه گیاه بر اثرات تنش کمبود آب می‌گردد (Bahme *et al.*, 2018; Zarifinia *et al.*, 2013).

**دی‌اکسیدکربن بین سلولی**

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین دی‌اکسیدکربن بین سلولی در شرایط آبیاری کامل به‌میزان ۰/۳۹ ($\mu mol\ (CO_2)\ mol^{-1}$) و کمترین آن در شرایط عدم آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه به‌میزان ۰/۱۶ ($\mu mol\ (CO_2)\ mol^{-1}$) حاصل شد. در کل قطع آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار دی‌اکسیدکربن بین سلولی گردید و این پارامتر در شرایط عدم آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه و در مرحله رشد رویشی نسبت به آبیاری کامل به ترتیب ۵۹ و ۴۳/۶ درصد کاهش یافت. محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش معنی‌دار دی‌اکسیدکربن بین سلولی گردید. میزان این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۵ در هزار و ۱۰ در هزار نسبت به عدم محلول‌پاشی به‌ترتیب ۳۶/۸ و ۶۳/۲ درصد افزایش یافت. محلول‌پاشی سولفات آهن نیز منجر به افزایش معنی‌دار دی‌اکسیدکربن بین سلولی گردید. بیشترین این صفت در محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار و به‌میزان ۰/۲۷ ($\mu mol\ (CO_2)\ mol^{-1}$) حاصل گردید. کمترین میانگین در شرایط عدم محلول‌پاشی حاصل شد (شکل ۳). براساس نتایج برهم‌کنش تیمارها، محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار و سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار در شرایط آبیاری کامل ($\mu mol\ (CO_2)\ mol^{-1}$ ۰/۴۶) بیشترین محتوای دی‌اکسیدکربن بین سلولی را ثبت نمود و کمترین مقادیر این پارامتر در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه و عدم محلول‌پاشی سولفات روی و آهن حاصل گردید. کاهش دی اکسیدکربن بین سلولی در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و در سطوح مختلف عناصر روی و آهن، کاملاً مشهود بود، اما در مقایسه با شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه و سطوح مختلف عناصر مذکور، با کاهش کمتری همراه بود. با این حال، در هردو تیمار قطع آبیاری، محتوای دی‌اکسیدکربن بین سلولی کاهش یافت و محلول‌پاشی سولفات روی و آهن با افزایش محتوای این پارامتر، تا حدودی از آثار نامطلوب تنش کمبود آب کاست (جدول ۵). عوامل محدودکننده فتوسنتز به دو دسته عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای تقسیم شده که عوامل روزنه‌ای، منجر به کاهش انتشار به فضای بین سلولی می‌شوند. بسته شدن روزنه در شرایط تنش، فراهمی دی‌اکسیدکربن را برای سیستم فتوسنتزی دچار مشکل می‌کند. همچنین، در شرایط تنش همراه با کاهش در ظرفیت بیوشیمیایی کربن‌گیری، محدودیت انتشار گازی نیز مشاهده می‌شود (Chaves *et al*., 2002).

**میزان فتوسنتز جاری**

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میزان فتوسنتز جاری در آبیاری کامل (۴۹۳/۱۷ گرم در مترمربع) حاصل گردید که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه به‌ترتیب ۱۲/۱۷ و ۳۹/۰۲ درصد افزایش داشت. کمترین مقادیر این صفت در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه و با میانگین ۳۰۰/۷۷ گرم بر مترمربع به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش فراهمی آب از طریق ایجاد تاخیر در پیری برگ‌ها موجب افزایش میزان و سهم فتوسنتز جاری و کاهش مشارکت مواد خشک ذخیره شده در تولید دانه می‌شود. تنش کمبود آب، فتوسنتز و مصرف مواد فتوسنتزی را در برگ‌های در حال توسعه کاهش می‌دهد و اثر غیرمستقیم آن کاهش میزان صدور مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به محل‌های رشدی

خواهد بود (Fanaei *et al.*, 2013). در این مطالعه محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن منجر به افزایش معنی‌دار میزان فتوسنتز جاری گردید. بیشترین مقادیر این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار (۴۸۴/۵۴ گرم بر مترمربع) و سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار (۴۴۷/۵۲ گرم بر مترمربع) حاصل شد. کمترین مقادیر این صفت نیز در شرایط عدم محلول‌پاشی سولفات روی و آهن به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی فعالیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و باعث توسعه پوشش گیاهی می‌شود (Pirzad *et al.*, 2013).

**پرولین برگ**

نتایج نشان داد عدم آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه، افزایش معنی‌دار پرولین آزاد برگ را به دنبال داشت. کمترین پرولین آزاد برگ در شرایط آبیاری کامل (۴/۵۳ Mm/g) به‌دست آمد و بیشترین مقادیر این صفت در شرایط قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه (۶/۸۹ Mm/g) حاصل شد که نسبت به شرایط آبیاری کامل ۳۴/۲۶ درصد افزایش داشت. محلول‌پاشی سولفات آهن منجر به افزایش پرولین آزاد برگ گردید. بیشترین مقادیر این صفت در شرایط محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار حاصل گردید که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی ۲۱/۱۳ درصد افزایش داشت. کمترین پرولین آزاد برگ در تیمار بدون محلول‌پاشی سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). زمانی‌که 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 تنش دیده به علت افزایش سنتز آن به‌وسیله پرولین-۵-کربوکسیلازسنتتاز و کاهش تجزیه آنزیم پرولین اکسیداز است. به نظر می‌رسد آهن به‌عنوان کوفاکتور اثر مهمی در فعالیت آنزیم‌های برگ به ویژه در شرایط تنش دارد، به‌طوری‌که بر فعالیت آنزیم‌های یاد شده به شدت اثر می‌گذارد. تجمع پرولین در شرایط تنش کمبود آب سبب حفظ وضعیت آبی گیاه شده و به‌عنوان یک محافظت کننده اسمزی باعث پایداری غشای سلولی نیز می‌گردد (Mir *et al.*, 2021). نتایج مطالعه نصراله‌زاده و همکاران (Nasrolahzade Asl *et al.*, 2016) نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین و میزان قندهای محلول در ذرت گردید. افزایش میزان پرولین در اثر تنش کمبود آب با نتایج تحقیقات ظفری و همکاران (Zafari *et al.*, 2017) مطابقت داشت.

**وزن کل بلال**

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین میانگین وزن بلال در آبیاری کامل (۸۳۶۲/۲۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه به‌ترتیب ۲۰/۴۰ و ۳۳/۵۰ درصد افزایش یافت. محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش معنی‌دار وزن کل بلال گردید. کاربرد غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری وزن بلال را نسبت به غلظت ۵ در هزار سولفات روی و تیمار عدم محلول‌پاشی، افزایش داد. کمبود ناشی از روی سبب اختلال در سوخت و ساز بافت سلولی می‌گردد و مسئول خسارت به پروتئین‌های غشایی،کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها، ایندول استیک اسید 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

(Ghanbari Malidere *et al.*, 2013). در این مطالعه، محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت ۶ در هزار منجر به افزایش وزن بلال (۷۴۹۸/۴۴ کیلوگرم در هکتار) شد که نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی ۱۹/۶۰ درصد افزایش داشت (جدول ۳). در بررسی اثر برهم‌کنش تنش کمبود آب و عنصر آهن، محلول‌پاشی سولفات آهن در شرایط قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و ابتدای مرحله رشد دانه منجر به افزایش معنی‌دار وزن کل بلال گردید. کاربرد غلظت ۶ در هزار سولفات آهن به‌طور معنی‌داری وزن بلال را نسبت به غلظت ۳ در هزار سولفات آهن افزایش داد. بیشترین وزن 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 گردید (جدول ۴). در صورت کمبود آهن، در سلول‌های برگ کلروفیل به مقدار کافی تولید نمی‌شود و برگ‌ها رنگ پریده به‌نظر می‌آید. بنابراین، مصرف سولفات آهن از طریق فرآیندهای ساختاری گیاه بر رشد گیاه اثر گذاشته و این اثر در عملکرد نمایان شد.

**عملکرد دانه**

نتایج اثر ساده تیمارها نشان داد بیشترین مقادیر عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل (۶۲۹۲/۸۲ کیلوگرم در هکتار) حاصل گردید که نسبت به قطع آبیاری در هر دو مرحله رشدی افزایش معنی‌دار داشت. کمترین عملکرد دانه در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه حاصل شد که نسبت به تیمار قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی و تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب ۱۳/۴۷ و ۲۸/۴۶ درصد کاهش داشت. محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید. غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به غلظت ۵ در هزار سولفات روی افزایش داد. غلظت ۱۰ در هزار سولفات روی با میانگین ۶۱۰۴/۰۶ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان برترین غلظت محلول‌پاشی این عنصر شناخته شد و کمترین عملکرد دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی سولفات روی به‌دست آمد (جدول ۳). روی با افزایش مقدار تنظیم کننده‌های رشد، کمک به متابولیسم مواد و با اثر گذاشتن بر واکنش‌های انتقال الکترون در چرخه کربس و مشارکت در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، شرکت در تولید مواد هیدروکربن‌دار و پروتئین و انتقال آنها و همچنین با اثرگذاری بر فرآیندهای زایشی، باعث افزایش عملکرد می‌شود (Ghafari malayeri *et al.*, 2012). افزایش عملکرد دانه ناشی از محلول‌پاشی سولفات آهن، در این بررسی به‌وضوح قابل مشاهده بود، به‌گونه‌ای که حداکثر میانگین عملکرد دانه (۵۷۲۹/۵۹ کیلوگرم بر هکتار) در غلظت ۶ در هزار سولفات آهن به‌دست آمد که نسبت به غلظت ۳ در هزار و تیمار عدم محلول‌پاشی سولفات آهن تفاوت معنی‌دار داشت. کمترین مقادیر این صفت نیز با میانگین ۴۷۷۵/۴۸ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار عدم محلول‌پاشی سولفات آهن بود (جدول ۳). عناصر غذایی کم مصرف 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 (Malakoti and Tehrani, 2005). به‌طورکلی، 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). در شرایط تنش کمبود آب، تورژسانس سلول و سطح تعرق کنندگی گیاه کاهش می‌یابد، در این شرایط جذب مواد غذایی کند و رشد و توسعه سلول‌ها در اندام هوایی برگ و ساقه کم شده و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Shafaroodi *et al.*, 2021). به‌نظر می‌رسد در این تحقیق برهمکنش کاربرد برگی عناصر غذایی کم مصرف نقش مهمی در افزایش میزان ماده خشک و در نتیجه عملکرد دانه دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن در شرایط کمبود آب منجر به افزایش روند تغییرات شاخص‌های رشدی، افزایش فتوسنتز جاری و نیز شاخص‌های عملکردی ذرت SC704 شد. تنش کمبود آب در مرحله رشد رویشی و ابتدای رشد دانه باعث افزایش مقادیر پرولین برگ گردید 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 گردید که مبین نقش مثبت و مطلوب عناصر ریزمغذی در توسعه سطح برگ، افزایش میزان فتوسنتز و نیز جبران اثرات نامطلوب تنش کمبود آب در گیاه ذرت است.

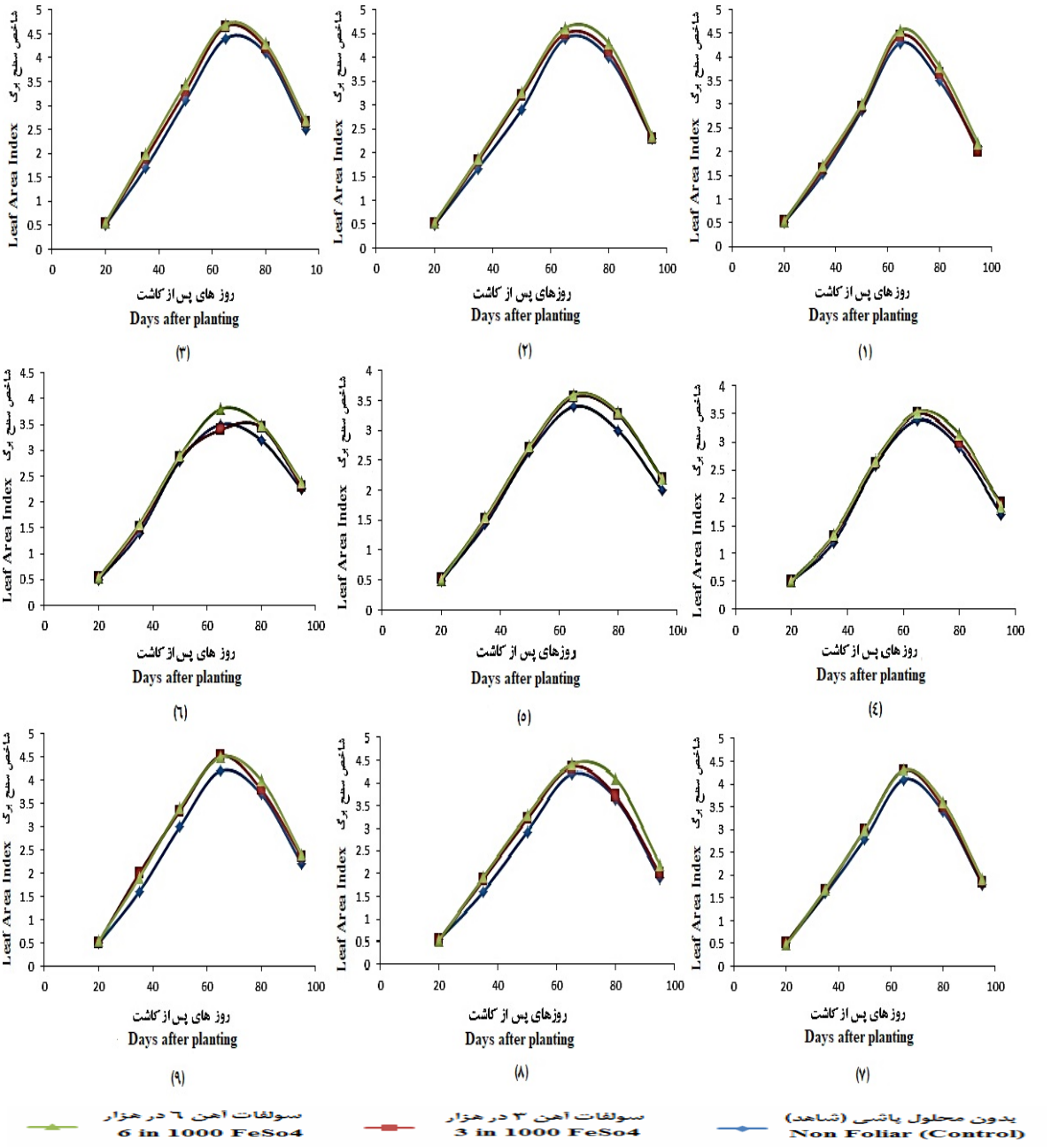
## قدردانی

بدینوسیله نگارندگان مراتب تشکر و قدردانی خویش را از کلیه فرهیختگان ارجمند دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به‌سبب همکاری در اجرا، تدوین و ارایه این پژوهش اعلام می‌دارند.

**جدول ۱-** مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه آزمایشی

**Table 1-** Physical and chemical characteristics the soil of the experimental plot

| عمق (Depth) | بافت خاک (soil texture) | پتاسیم Potassium ($mg.kg^{-1}$) | فسفر Phosphorus ($mg.kg^{-1}$) | روی Zinc ($mg.kg^{-1}$) | آهن Iron ($mg.kg^{-1}$) | نیتروژن Nitrogen (٪) | هدایت الکتریکی EC ($ds.m^{-1}$) | pH | کربن آلی Organic carbon (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-30 | لومی رسی | 264 | 7.2 | 0.44 | 10.1 | 0.05 | 2.5 | 7.4 | 0.76 |
| 30-60 | | 217 | 6.4 | 0.3 | 9.8 | 0.04 | 2.1 | 7.7 | 0.52 |



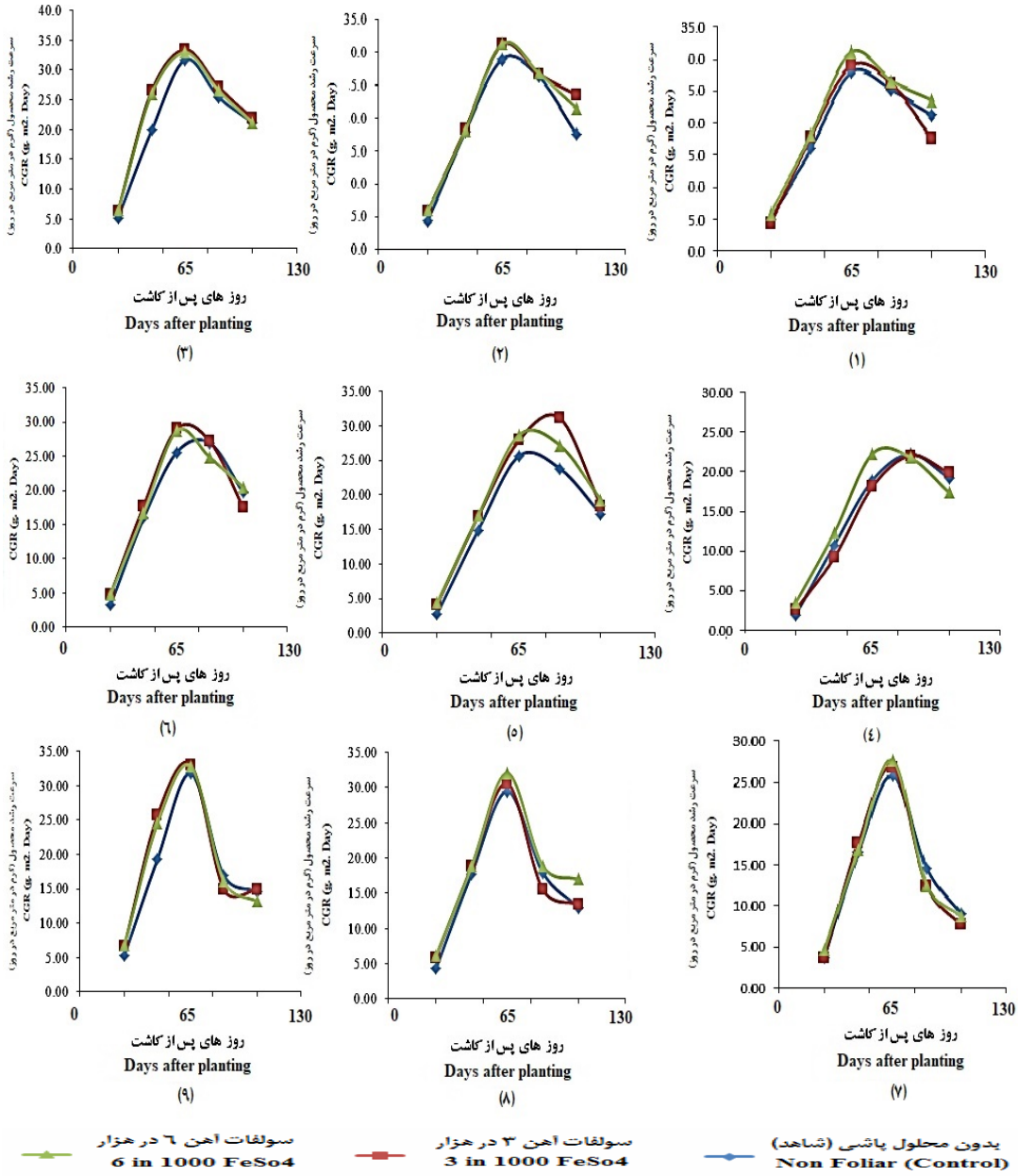

**شکل ۱**- روند تغییرات شاخص سطح برگ در سطوح محلول پاشی روی و آهن و تنش کمبود آب

**Figure 1-** Trends of leaf area index changes in foliar application of zinc and iron and water deficit stress

۱، ۲ و ۳) آبیاری کامل، ۴، ۵ و۶ ) قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، ۷، ۸ و ۹) قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه.

۱، ۴ و ۷) بدون محلول پاشی سولفات روی، ۲، ۵ و ۸) محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۵ در هزار، ۳، ۶ و ۹) محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار.

1, 2 & 3) Complete irrigation; 4, 5 & 6) Cut off irrigation at the vegetative growth stage; 7, 8 & 9) Cut off irrigation at the beginning of seed growth stage; 1, 4& 7) Without zinc sulfate spray; 2, 5 & 8) Zinc sulfate spray with concentration of 5 per thousand; 3, 6 & 9) Zinc sulfate spray with concentration of 10 per thousand.




**شکل ۲**- روند تغییرات سرعت رشد محصول در سطوح محلول پاشی روی و آهن و تنش کمبود آب

**Figure 2-** Trends of crop growth rate changes in foliar application of zinc and iron and water deficit stress

۱، ۲ و ۳) آبیاری کامل، ۴، ۵ و۶ ) قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، ۷، ۸ و ۹) قطع آبیاری در ابتدای مرحله رشد دانه.

۱، ۴ و ۷) بدون محلول پاشی سولفات روی، ۲، ۵ و ۸) محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۵ در هزار، ۳، ۶ و ۹) محلول پاشی سولفات روی با غلظت ۱۰ در هزار.

1, 2 & 3) Complete irrigation, 4, 5 & 6) Cut off irrigation at the vegetative growth stage; 7, 8 & 9) Cut off irrigation at the beginning of seed growth stage. 1, 4 & 7) Without zinc sulfate spray; 2, 5 & 8) Zinc sulfate spray with concentration of 5 per thousand; 3, 6 & 9) Zinc sulfate spray with concentration of 10 per thousand.

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

**Table 2-** Combined analysis of variance effects of zinc sulfate and iron sulfate under water deficit stress conditions on some traits of $SC70_4$

| منابع تغییرات S.O. V. | درجه آزادی df | میزان فتوسنتز جاری Current Photosynthesis rate | هدایت روزنه ای Stomatal conductance | دی اکسید کربن بین سلولی Intercellular $CO_2$ | پرولین برگ Leaf proline | وزن کل بلال Total ear weight | عملکرد دانه Grain yield |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال Year | 1 | 683.16$^{ns}$ | 0.0009 $^{ns}$ | 0.0010 $^{ns}$ | 1.74 $^{ns}$ | 213431.4$^{ns}$ | 10975.66$^{ns}$ |
| تکرار (سال) (Y) R | 4 | 1264.62 | 0.00021 | 0.0002 | 0.42 | 418347.1 | 180700.48 |
| تنش کمبود آب Water stress (S) | 2 | 523318.78$^{*}$ | 0.61121 $^{**}$ | 0.627 $^{**}$ | 75.2 $^{*}$ | 107572063.7$^{*}$ | 43950560.62$^{*}$ |
| S×Y | 2 | 8071.42$^{ns}$ | 0.00013 $^{ns}$ | 0.00016 $^{ns}$ | 2.02 $^{ns}$ | 1774027.2$^{ns}$ | 930658.12$^{ns}$ |
| خطای اصلی Main Error | 8 | 1230.32 | 0.00006 | 0.00043 | 0.18 | 227602.4 | 108453.09 |
| عنصر روی (Zn) | 2 | 470094.35$^{*}$ | 0.0161 $^{**}$ | 0.202 $^{**}$ | 0.59 $^{ns}$ | 104559712$^{*}$ | 49224391.36$^{*}$ |
| روی× تنش کمبود آب (S×Zn) | 4 | 3806.17$^{ns}$ | 0.00511 $^{**}$ | 0.0024 $^{**}$ | 0.44 $^{ns}$ | 699436.7$^{ns}$ | 402153.4$^{ns}$ |
| سال× روی (Zn×Y) | 2 | 7122.78$^{ns}$ | 0.000002 $^{ns}$ | 0.00067 $^{ns}$ | 0.30 $^{ns}$ | 1321805.8$^{ns}$ | 723875.29$^{ns}$ |
| سال× روی× تنش کمبود آب (S×Zn×Y) | 4 | 1554.88$^{ns}$ | 0.00003 $^{*}$ | 0.00014 $^{*}$ | 0.2 $^{*}$ | 249663.1$^{ns}$ | 168473.78$^{ns}$ |
| خطای فرعی (Sub Error) | 24 | 844 | 0.00003 | 0.00055 | 0.11 | 122155 | 84170 |
| عنصر آهن (Fe) | 2 | 124679.82$^{**}$ | 0.00078 $^{*}$ | 0.011 $^{*}$ | 24.6 $^{*}$ | 30638184$^{**}$ | 13334343.79$^{**}$ |
| آهن× تنش کمبود آب (S×Fe) | 4 | 2552.24$^{ns}$ | 0.00003 $^{ns}$ | 0.00087 $^{ns}$ | 0.52 $^{ns}$ | 747958.5$^{*}$ | 263050.2$^{ns}$ |
| آهن × روی (Zn×Fe) | 4 | 6663.72$^{ns}$ | 0.00002 $^{*}$ | 0.002 $^{**}$ | 0.1 $^{ns}$ | 1769459.8$^{ns}$ | 699378.72$^{ns}$ |
| آهن× روی× تنش کمبود آب (S×Zn×Fe) | 8 | 699.25$^{ns}$ | 0.00004 $^{**}$ | 0.00036$^{**}$ | 0.08 $^{ns}$ | 95400.3$^{ns}$ | 68408.99$^{ns}$ |
| سال× آهن (Fe×Y) | 2 | 835.76$^{ns}$ | 0.000008 $^{ns}$ | 0.000059 $^{ns}$ | 0.24 $^{ns}$ | 146599.1$^{ns}$ | 110055.91$^{ns}$ |
| سال× آهن× تنش کمبود آب (S×Fe×Y) | 4 | 455.19$^{ns}$ | 0.00001 $^{ns}$ | 0.0001 $^{*}$ | 0.22 $^{ns}$ | 65036.3$^{ns}$ | 47227.96$^{ns}$ |
| سال× آهن× روی (Zn×Fe×Y) | 4 | 1581.7$^{ns}$ | 0.000002 $^{ns}$ | 0.0001 $^{*}$ | 0.02 $^{ns}$ | 345269.7$^{ns}$ | 180403.94$^{ns}$ |
| سال× آهن× روی× کمبود آب (S×Zn×Fe×Y) | 8 | 905.66 $^{ns}$ | 0.000007 $^{ns}$ | 0.00002 $^{ns}$ | 0.03 $^{ns}$ | 123683.9$^{ns}$ | 92621$^{ns}$ |
| خطای فرعی فرعی (Sub Sub Error) | 72 | 971 | 0.00003 | 0.00028 | 0.24 | 169521 | 89267 |
| ضریب تغییرات C.V. (%) | - | 7.27 | 4 | 19 | 8.00 | 5.80 | 5.50 |

ns: معنی دار نیست. * و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱درصد.

ns: Not significant. ** and **: Significant at 5 % and 1 % levels, respectively

**جدول ۳**- اثر ساده تنش کمبود آب، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن بر برخی صفات ذرت SC704
**Table 3-** Simple effect of water deficit stress, foliar application of zinc sulfate and Iron sulfate on some traits of $SC70_4$

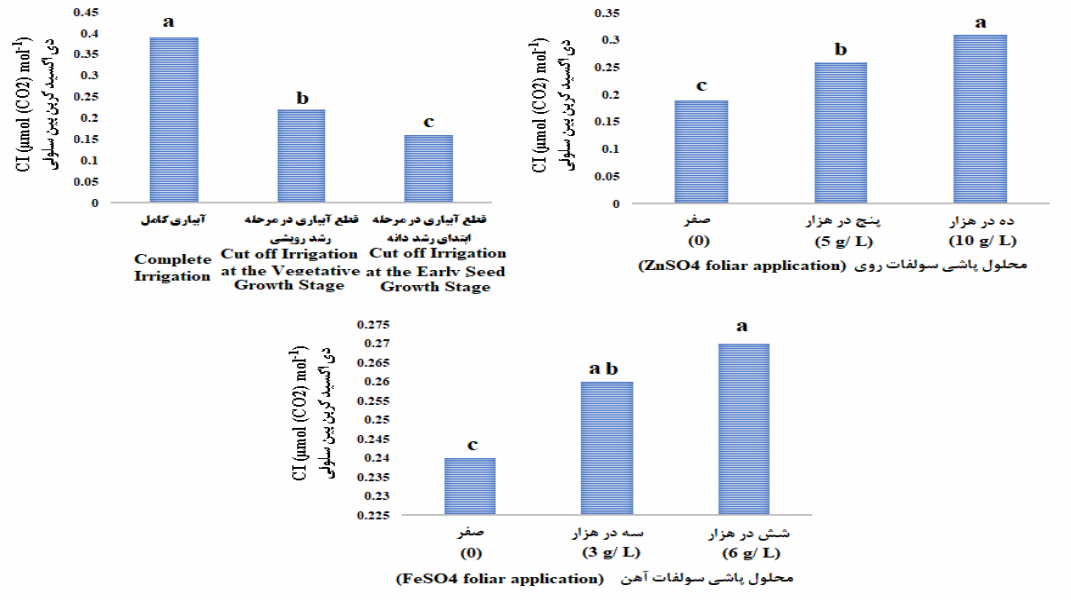
| تیمارها | میزان فتوسنتز جاری Current photosynthesis rate ($g.m^{-2}$) | هدایت روزنه ای Stomatal conductance ($mol.m^{-2}.S^{-1}$) | پرولین برگ Leaf proline ($Mm.g^{-1}$) | وزن کل بلال Total ear weight ($kg.ha^{-1}$) | عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **سطوح آبیاری** (Irrigation levels) | | | | | |
| **آبیاری کامل** Full irrigation | 493.17 a | 0.27 a | 4.53 c | 8362.22 a | 6292.82 a |
| **قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی** Cut off irrigation at vegetative growth stage | 433.17 b | 0.09 b | 5.74 b | 6657.05 b | 5203.24 b |
| **قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه** Cut off irrigation at the early stage of seed growth | 300.77 c | 0.08 bc | 6.89 a | 5561.42 c | 4502.51 c |
| **سولفات روی** ($ZnSO_4$) | | | | | |
| 0 | 304.73 c | 0.13 b | 5.61 a | 5296.73 c | 4264.98 c |
| **۵ در هزار** ($5\ g.L^{-1}$) | 437.85 b | 0.16 a | 5.73 a | 7321.19 b | 5629.52 b |
| **۱۰ در هزار** ($10\ g.L^{-1}$) | 484.54 a | 0.16 a | 5.82 a | 7962.76 a | 6104.06 a |
| **سولفات آهن** ($FeSO_4$) | | | | | |
| 0 | 355.18 c | 0.14 b | 5.04 c | 6029.37 c | 4775.48 c |
| **۳ در هزار** ($3\ g.L^{-1}$) | 424.41 b | 0.15 a | 5.73 b | 7052.87 b | 5493.50 b |
| **۶ در هزار** ($6\ g.L^{-1}$) | 447.52 a | 0.15 a | 6.39 a | 7498.44 a | 5729. 59 a |

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند.
The similar letters in each column indicate no significant difference between the means based on Duncan's multiple range tests.

**جدول ۴**- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب و محلول‌پاشی سولفات آهن بر برخی صفات ذرت SC704
**Table 4-** Mean Comparison effect of water deficit stress and foliar application of iron sulfate on some traits of $SC70_4$

| **تیمارهای آزمایشی** (Treatments) | | **وزن کل بلال** Total Ear Weight ($kg.ha^{-1}$) |
|---|---|---|
| | **سولفات آهن** ($FeSO_4$) | |
| **آبیاری کامل** Full irrigation | 0 | 7302 c |
| | **۳ در هزار** ($3\ g.L^{-1}$) | 8648 b |
| | **۶ در هزار** ($6\ g.L^{-1}$) | 9135 a |
| **قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی** Cut off irrigation at vegetative growth stage | 0 | 5827 f |
| | **۳ در هزار** ($3\ g.L^{-1}$) | 6902 d |
| | **۶ در هزار** ($6\ g.L^{-1}$) | 7237 c |
| **قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه** Cut off irrigation at the early stage of seed growth | 0 | 4958 g |
| | **۳ در هزار** ($3\ g.L^{-1}$) | 5604 f |
| | **۶ در هزار** ($6\ g.L^{-1}$) | 6122 e |

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تیمارها می‌باشند.
The similar letters in each column indicate no significant difference between the means based on Duncan's multiple range tests.




**شکل ۳**- اثر ساده تنش کمبود آب، محلول پاشی سولفات روی و سولفات آهن بر میزان دی اکسیدکربن بین سلولی

**Figure 3**- Simple effect of water stress, foliar application of zinc sulfate and iron sulfate on the amount of intercellular carbon dioxide

**جدول ۵**- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کمبود آب، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن بر برخی صفات ذرت SC704

**Table 5**- Mean comparison effect of water deficit stress, zinc sulfate and iron sulfate on some traits of SC704 maize

| تیمارهای آزمایشی (Treatments) | | آبیاری کامل Full irrigation | | قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی Cut off irrigation at vegetative growth stage | | قطع آبیاری در مرحله ابتدای رشد دانه Cut off irrigation at the early stage of seed growth | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | دی اکسید کربن بین سلولی Intercellular $CO_2$ (µmol ($CO_2$) $mol^{-1}$) | هدایت روزنه ای Stomatal conductance ($mol.m^{-2}$. S) | دی اکسید کربن بین سلولی Intercellular $CO_2$ (µmol ($CO_2$) $mol^{-1}$) | هدایت روزنه ای Stomatal conductance | دی اکسید کربن بین سلولی Intercellular $CO_2$ (µmol ($CO_2$) $mol^{-1}$) | هدایت روزنه ای Stomatal conductance ($mol.m^{-2}$. S) |
| سولفات روی $ZnSO_4$ | سولفات آهن $FeSO_4$ | | | | | | |
| صفر 0 | صفر 0 | 0.29 e | 0.228 f | 0.14 ij | 0.073 j | 0.05 l | 0.074 j |
| | ۳ گرم بر لیتر 3 $g.L^{-1}$ | 0.31 e | 0.232 e | 0.17 hi | 0.086 i | 0.10 k | 0.082 ij |
| | ۶ گرم بر لیتر 6 $g.L^{-1}$ | 0.34 d | 0.233 e | 0.18 h | 0.085 i | 0.13 j | 0.082 ij |
| ۵ گرم بر لیتر 5 $g.L^{-1}$ | صفر 0 | 0.36 cd | 0.285 d | 0.22 gh | 0.092 hi | 0.16 hi | 0.089 hi |
| | ۳ گرم بر لیتر 3 $g.L^{-1}$ | 0.36 cd | 0.294 c | 0.23 g | 0.096 gh | 0.19 h | 0.091 hi |
| | ۶ گرم بر لیتر 6 $g.L^{-1}$ | 0.37 c | 0.299 a | 0.23 g | 0.098 g | 0.18 h | 0.092 hi |
| ۱۰ گرم بر لیتر 10 $g.L^{-1}$ | صفر 0 | 0.43 b | 0.289 cd | 0.27 f | 0.094 h | 0.22 gh | 0.089 hi |
| | ۳ گرم بر لیتر 3 $g.L^{-1}$ | 0.43 b | 0.297 b | 0.27 f | 0.097 g | 0.24 g | 0.091 hi |
| | ۶ گرم بر لیتر 6 $g.L^{-1}$ | 0.46 a | 0.300 a | 0.27 f | 0.098 g | 0.23 g | 0.092 hi |

در هر ستون حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در بین میانگین براساس آزمون چند دامنه ای دانکن تیمارها می‌باشند.

The similar letters in each column indicate no significant difference between the means based on Duncan's multiple range tests

## References منابع مورد استفاده


- Alavi Fazel, M. 2015. Evaluation of remobilization rate of bread and durum wheat genotypes in response to nitrogen levels. *Crop Physiology Journal.* 7 (28): 18-5. (In Persian).
- Amiri Nejad, M., Gh. Akbari, A. Baghi Zadeh, A. Dahdi, M. Shahbazi, and M. Naimi. 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).
- Astolfi, S., S. Zuchi, H.M. Hubberten, R. Pinton, and R., Hoefgen. 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.
- Bahmeh, F., A. Danesh-Shahraki, Z. Lorigooini, and M. Ghobadinia. 2018. Effect of water deficit stress and seed biopriming on the physiological indices and antioxidant activity of tansey (*Tanacetum persicum* (Boiss.) Mozaff). *Journal of Crop Ecophysiology*. 12(3): 411-426. (In Persian).
- Baybordi, A. 2006. Zhic in soils and crop nutrition. Parivar Press. First Edition. P 179.
- 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.
- Campos, H., M. Cooper, J. E. Habben, G.O. Edmeades, and J. R. Schussler. 2004. Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*. 90: 19-34.
- Chaves, M.M., J.S. Pereira, J.P. Maroco, M.L. Rodrigues, C.P.P. Riccardo, M.L. Osorio, T. Carvalho, T. Faria, and C. Pincheiro. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annuals of Botany*. 89: 907-916.
- Fageria, N.K., F.M.P. Barbosa, A. Moreira, and C.M. Guimaraes. 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. 32: 1044-1064.
- Fanaei, H.R., A. Piri, and M.R. Naruie Rad. 2013. Investigation of the effect of different amounts of phosphorus fertilizer on grain yield, oil and some agronomic traits of mustard under drought stress. *Journal of Environmental Stress in Agricultural Sciences*. 6 (2): 157-147. (In Persian).
- Fathi SaadAbadi, M., and F. Navabi. 2008. Effect of drought stress on yield and its components on four cotton genotypes in Darab region. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 10 (2): 124-110. (In Persian).
- Ghaffari Malayeri, M., Gh. Akbari, and A. Mohammadzadeh. 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., M. Ebrahimi, S. Khavari Khorasani, and R. Choucan. 2010. Evaluation of drought tolerance of some corn (*Zea mays* L.) hybrids in Iran. *African Journal of Agricultural Research.* 5(19):2714-2719.
- Lack, Sh., A. Naderi, A. Siadat, A. Ayneband, and Gh. Nour Mohammadi. 2007. Effect of different levels of nitrogen and plant density on grain yield and its

components and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) cv. SC. 704 under different moisture conditions in Khuzestan. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 8 (2): 153-170. (In Persian).

- Malakouti, M.J., and M.M. Tehrani. 2005. The role of zinc in increasing quantitative and qualitative products and improving community health. Agricultural Education Publication. 194 pages. (In Persian).
- Mir, Y., M. Daneshvar, A. Esmaeili, and H. Khosravi. 2021. Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on some biochemical and agronomic. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(3): 363-376. (In Persian).
- Nabavi Moghadam, R., M.H. Saberi, and M.H. Siyar. 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).
- Nasrollahzadeh Asl, V., M.R. Shiri, S. Moharramnejad, Yousefi, M., and F. Baghbani. 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).
- Nouri azhar, J., and P. Ehsanzedeh. 2007. Study of relationship of some gtowth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regim in Esfahan region. *Journal of Science and Technology*. 41: 261-272.
- Palash, M., A. Bafkar, B. Farhadi Bansouleh, and M. Ghobadi. 2021. Effects of deficit irrigation on, quantity, quality characteristics and water productivity in grain maize (KSC 706) in Kermanshah. *Advanced Technologies in Water Efficiency*. 1(1): 68-88. (In Persian).
- Peykaristan, B., M. Yarnia, and H. Madani. 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).
- Pirzad, A.R., A.P. Tusi, and R. Darwish. 2013. Effect of foliar application of iron and zinc on plant traits and anisone essential oil content. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 15(1): 23-12. (In Persian).
- Raker, J., R.A. Bressan, J.K. Zhu, and H.J. Bohnert. 2013. Physiological bases for yield difference in selected maize cultivars. *Centeral America field Crop Research*. 42: 69-80.
- Rezaverdinejad, V., T. Sohrabi, and A.M. Liaghat. 2006. Study of deficit irrigation effect on corn forage yield at its growth stage. 1th National Congress of Irrigation and Drainage Nets. Ahvaz.
- Sarmadnia, Gh., and A. Kouchaki. 2013. Plant physiological. Publications University of Mashhad. 467 pages. (In Persian).
- Shafaroodi, A., M. Sharifi, A. Gholipouri, B. Salahi, and M.B Alizadeh. 2021. Effect of deficit irrigation conditions on potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in ardabil climatic. *Journal of Crop Ecophysiology*. 1(57): 131-152. (In Persian).
- Sheikh Begloo, N., A. Hassanzadeh Ghurt Tapeh, M.A. Baghestani Meybodi, and B. Zand. 2009. Investigation of the effect of zinc foliar application on the quantitative

and qualitative yield of maize under water stress conditions. *Electronic Journal of Crop Production*. 2 (2): 73-57. (In Persian).

- Song, G.Y., Z.J. Xu, and H.S. Yang. 2013. Effects of N rates on N uptake and yield in erect panicle rice. *Agricultural Science*. 4: 499–508.
- Sorkhi, F., and M. Fateh. 2019. Effect of drought stress on leaf area index, photosynthesis, stomatal conductance and proline content in two cultivars of lubiachiti (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 12 (2): 389-399.
- Zafari, M., A. Ebadi, and S. Jahanbakhsh Godehkahriz, 2017. Effect of seed inoculation on alfalfa tolerance to water deficit stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* 45 (1):82-88.
- Zarifinia, N., A. Ayneband, Sh. Lack, and A. Modhej. 2013. Evaluation of the effect of dehydration and potassium consumption on stomatal conductance of mung bean genotypes in the North. Fifth International Conference on Iranian Beans. 597-600.

**Research Article** DOI: 10.30495/jcep.2022.689804

# Response of Physiological and Biochemical Parameters of Maize (*Zea mays* L.) to the Application of Zinc and Iron at Irrigation Cutoff Conditions

**Mojtaba Afshari[1,2], Ahmad Naderi[2,3]*, Mani Mojadam[2], Shahram Lak[2], and Mojtaba Alavifazel[2]**

*Received: October 2020 , Revised: 28 November 2020, Accepted: 28 January 2021*

## Abstract

This experiment was conducted to evaluate the effect of micronutrients on physiological, biochemical and functional characteristics of the of SC704 hybrid maize at water deficit condition during two cropping years of 2016-2017 and 2017-2018 at Experimental Farm in northwest of Ahvaz. The experiment was conducted as split-split plots based on a randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of water deficit stresses at three levels, complete irrigation, cutoff irrigation both at the vegetative growth stage (12-14 leaf) and early seed growth stage, sub-plots were zinc sulfate foliar application at three concentrations (0, 5 and 10 $g.L^{-1}$) and sub sub-plots foliar solution of iron sulfate at three concentrations (0, 3 and 6 $g.L^{-1}$). The results of this study showed that increasing $ZnSO_4$ concentration from zero to ten per thousand at constant levels of $FeSO_4$ application (6 per thousand concentrations) resulted in increase in leaf area index under water deficit condition at the vegetative growth stage and beginning of seed growth stage. The lowest current photosynthesis was obtained in the absence of foliar application of zinc and iron. The lowest content of intercellular carbon dioxide was obtained at the beginning of seed growth stage when irrigation was stopped. The use of zinc and iron sulfate increased the values of this trait and removed the photosynthetic limitations. The highest yield of ear was obtained in complete irrigation with 6 per thousand concentration $FeSO_4$ spray (9135.66 $kg.ha^{-1}$), which increased by 25.1% compared to non-spray at this irrigation level.

**Key words**: Grain yield, Leaf area index, Micronutrient, Photosynthesis.

1- Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Research Organization, Agricultural Extension and Education, Khuzestan Research Center of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz, Iran.
**Corresponding Author: naderi.ah1336@gmail.com*