نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد شانزدهم، شماره ۱(۶۱)، بهار ۱۴۰۱، صفحه ۱۴۶-۱۳۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2022.1909162.1712

اثر برگ‌پاشی آهن و روی از منابع کلاتی و سولفاتی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد ذرت در شهرستان دزفول

علی خلفی[۱]، کامران محسنی‌فر[۲*]، علی غلامی[۲] و محمد برزگری[۲،۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۱۰

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر برگ‌پاشی آهن و روی از دو منبع سولفاتی و کلات شده با عامل کلات کننده EDTA بر عملکرد کمّی و کیفی دانه ذرت و مقایسه آنها با یکدیگر بود. بدین منظور آزمایشی در دزفول روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه به صورت یک ساله و در کرت‌های آزمایشی با هفت تیمار شاهد، برگ‌پاشی با کلات یا سولفات آهن با غلظت ۳میلی‌گرم بر لیتر، برگ‌پاشی کلات یا سولفات روی با غلظت یک میلی‌گرم بر لیتر، برگ‌پاشی توام سولفات یا کلات روی و آهن هرکدام با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر صورت گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده، تاثیر تیمارهای مختلف برگ‌پاشی بر کلیه صفات مورد بررسی، بجز وزن چوب بلال و غلظت منگنز دانه معنی‌دار شدند. تعداد ردیف در بلال، شاخص اقتصادی و درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد و سایر فاکتورها در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشترین عملکرد دانه (۹۵۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۳۷/۷۳ تن در هکتار) در تیمار برگ‌پاشی توام آهن و روی با ۱۳ درصد افزایش نسبت به شاهد به دست آمد. بیشترین غلظت آهن و روی دانه به‌ترتیب در تیمار برگ‌پاشی با سولفات آهن و روی با غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. بیشترین درصد پروتئین نیز در تیمار برگ‌پاشی توام آهن و روی به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که برگ‌پاشی ذرت با آهن و روی سبب افزایش عملکرد دانه و بهبود کیفیت آن می‌شود و بین دو منبع سولفاتی و کلاتی اختلاف قابل توجهی وجود نداشت و در برخی موارد منبع سولفاتی بهتر بود.

واژگان کلیدی: برگ‌پاشی، درصد پروتئین، کلات آهن، عملکرد دانه.

۱- دانشجوی دکتری گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- عضو هیات علمی گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳- مرکز تحقیقات کشاورزی، بخش آموزش و تحقیقات، شوشتر، ایران.

*** نگارنده‌ی مسئول** k.mohsenifar@iauahvaz.ac.ir

مقدمه

گیاهان نقش حیاتی و حساس در زندگی موجودات زنده دارند. انسان نیز به‌دلیل نیازهای حیاتی خود، وابستگی بسیار زیادی به گیاهان داشته، از این‌رو به‌منظور تغذیه و رفع نیاز جمعیت رو به رشد جهان، افزایش کیفیت و عملکرد تولیدات زراعی از اهداف اولیه توسعه کشاورزی به‌شمار می‌آیند. در بین گیاهان زراعی، ذرت نقش بسیار مؤثری در تامین غـذای انسان و دام ایفا می‌کند. ذرت یکی از گیاهان پرنیاز و سریع رشد بوده و به دلیل عملکرد بالا از گیاهان مهم خانواده غلات است. همچنین، این گیاه یکی از محصولات راهبردی کشور به حساب می‌آید و در تامین حدود ۲۵ درصد غذای انسان و دام نقش مهمی ایفا می‌کند. استفاده از انواع مختلف ترکیبات آلی و معدنی در مزارع برای افزایش رشد و همچنین بهبود کیفیت ذرت امری رایج می‌باشد. برای افزایش عملکرد ذرت در واحد سطح، توجه به تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و تعیین یک رژیم غذایی صحیح اهمیت زیادی دارد (Nessabian *et al*., 2011). این نوع تغذیه بهینه به‌نحوی که حداکثر افزایش عملکرد ایجاد شود و هم‌زمان کیفیت محصول و حفظ منابع آبی و خاکی در نظر باشد، در رسیدن به کشاورزی پایدار کمک شایانی خواهد نمود. یکی از مشکلات اصلی در تغذیه گیاهان در خاک‌های آهکی بالا بودن مقدار pH در محلول خاک‌های کشور ایران به دلیل حضور آهک در پروفیل خاک می‌باشد (Chen and Barak, 1982). این موضوع سبب کاهش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی ضروری مورد نیاز گیاهان مانند آهن، روی، مس و منگنز می‌شود. کمبود آهن و روی در خاک‌های آهکی به دلیل غلظت پایین این عناصر در مواد مادری خاک و کاهش قابلیت جذب آنها به‌دلیل بالا بودن مقدار pH محلول خاک در نهایت سبب کاهش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی مانند ذرت می‌شـود (Fageria, 2016). کاربـــرد خـاکی، رایج‌ترین روش برای تامین عناصر غذایی ضروری گیاهان است. در این حالت عناصر غذایی توسط ریشه‌های گیاه جذب می‌شوند. با این حال، گیاهان عالی می‌توانند این عناصر غذایی را از طریق برگ و به‌واسطه برگ‌پاشی در غلظت‌های مناسب نیز جذب کنند. اگرچه در کشاورزی مدرن و پرتراکم تامین تمام نیـاز غـذایی گیاهان با برگ‌پاشی امکان پذیر نیست و برگ‌پاشی عناصر کم مصرف با برخی مشکلات از قبیل عدم وجود سطح برگ کافی در تمام طول دوره رشد، خطر شسته شدن در اثر بارندگی، برگ‌سوزی ناشی از غلظت زیاد و هزینه اضافی ناشی از انجام عملیات برگ‌پاشی روبرو می‌باشد (Al Heidary *et al*., 2014). ولی با وجود این مشکلات، تحت برخی شرایط خاص استفاده از برگ‌پاشی بهترین روش برای اصلاح اختلالات تغذیه‌ای گیاهان است. به عنوان مثال، رفع علایم کمبود آهن و روی در خاک‌های آهکی در گیـــاهان با برگ‌پاشی محلول‌های محتوی آهن و روی بهتر از مصرف خاکی آنها اثرگذار است. امتیاز دیگر برگ‌پاشی، کاهش هزینه‌های مصرف کود به‌دلیل کاربرد کود کمتر در برگ‌پاشی نسبت به مصرف خاکی است و این زمانی است که با سم‌پاشی نیز هم‌زمان گردد که در این حالت به شکل مضاعف اقتصادی‌تر خواهد بود (Girma *et al*., 2007). عمل برگ‌پاشی افزون بر مزایای ذکر شده به‌دلیل آسیب کمتری که به منابع آب و خاکی وارد می‌کند، در کشاورزی پایدار بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Sori, 2016). به‌طورکلی، برگ‌پاشی منابع کلاتی آهن و روی بر گیاهان و اثر آنها توسط سایر

پژوهش‌گران در سطح وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است (Afshari *et al*., 2020; Knijnenburg *et al*., 2018; Mohamed *et al*., 2016; Sori *et al*., 2017; Vaghar *et al*., 2020). گزارش شده است که عوامل کلات کننده به‌طور مؤثری قادر به بهبود کارایی مصرف کودهای شیمیایی در سیستم‌های کشاورزی هستند (Afshari *et al*., 2020). برای این منظور، طی سال‌های گذشته، بسیاری از ترکیبات و عوامل کلات کننده مختلف برای بهبود جذب عناصر کم مصرف، به‌ویژه آهن در مقادیر قابل توجهی تولید و معرفی شدند (Hassanpouraghdam *et al*., 2020; Sori, 2016). عوامل کلات کننده به طورکلی، مولکول‌های آلی هستند که عناصر فلزی را در درون خود نگاه داشته و منجر به جذب بهتر (با استفاده از ریشه یا شاخ و برگ) عنصر و جابجایی سریع‌تر آن درون گیاه می‌شوند (Wang *et al*., 2019). بنابراین، روش‌های جذب و انتقال کودهای کلاتی ممکن است کاملاً متفاوت با مواد معدنی ساده مانند اکسیدها یا سولفات‌ها باشد (Sori, 2016). از آن‌جایی که کودهای کلاتی بار خنثی دارند ممکن است به جذب بهتر این کودها نسبت به حالت سولفاتی آنها که بار مثبت دارند کمک کند اما از طرف دیگر بزرگ بودن مولکول‌های کلات کننده ممکن است جذب آنها را با اختلال مواجه کند. در یک پژوهش با غوطه‌ور کردن برگ پرتقال در محلول‌های محتوی سولفات و یا کلات آهن و روی گزارش دادند که جذب آهن و روی از منبع سولفاتی بیشتر بود (Stacey and Oosterhuis, 2007). آنان این موضوع را به بزرگ بودن مولکول EDTA[1] نسبت دادند. یون‌های جذب شده ناشی از منبع سولفاتی نیز به‌دلیل بار الکتریکی خود در انتقال از برگ به سایر نقاط رشدی گیاهان با مشکل مواجه می‌باشند. در یک پژوهش که در آن از منابع کلات آهن و سولفات آهن در یک خاک با کمبود آهن برای برگ‌پاشی ذرت استفاده شده بود، گزارش داده شد که جذب آهن از منبع سولفاتی بیشتر بود اما انتقال آهن کلات شده با EDTA به ریشه گیاهان بیشتر از آهن سولفاتی بود. با وجود مطالعه‌های انجام شده در این زمینه به نظر می‌رسد اثر برگ‌پاشی آهن و روی بر رشد و عملکرد ذرت و مقایسه آنها با یکدیگر نیـاز به بررسی بیشتری دارد. در ذرت دانه‌ای هدف نهایی مقدار عملکرد دانه و کیفیت آن می‌باشد و اثر برگ‌پاشی این دو عنصر از دو منبع مختلف بر کمیت و کیفیت دانه هنوز به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی اثر برگ‌پاشی آهن و روی از دو منبع سولفاتی و کلات شده با EDTA بر عملکرد کمّی و کیفی دانه ذرت و مقایسه آنها با یکدیگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول اجرا گردید. این مرکز با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا در فاصله ۱۲۰ کیلومتری از مرکز استان و در بخش شمال غرب خوزستان واقع شده است. میانگین درجه حرارت در فصل زمستان ۱۴/۹ درجه سلسیوس و حداقل آن گاهی تا چنـد درجه زیر صفر کاهش پیـدا می‌کند. میزان بارندگی استان ۲۶۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. برای مشخص شدن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از اجرای آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تعداد پنج نمونه از نقاط مختلف زمین برداشت و در آزمایشگاه

۱-Ethylenediamine Tetra Acetic Acid

خاک‌شناسی مرکز تحقیقات مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج آنالیز خاک در جدول ۱ دیده می‌شود.

برای بررسی اثر برگ‌پاشی بر رشد و عملکرد دانه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۱، یک طرح آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه با ۷ تیمار و ۴ تکرار در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارها شامل: ۱- شاهد بدون برگ‌پاشی، ۲- برگ‌پاشی کلات آهن با غلظت سه میلی‌گرم در لیتر، ۳- برگ‌پاشی سولفات آهن با غلظت سه میلی‌گرم در لیتر، ۴- برگ‌پاشی کلات روی با غلظت سه میلی‌گرم در لیتر، ۵- برگ‌پاشی سولفات روی با غلظت سه میلی‌گرم در لیتر، ۷- برگ‌پاشی توام کلات آهن و روی هرکدام با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و ۷- برگ‌پاشی توام سولفات آهن و روی هرکدام با غلظت ۱/۵ میلی گرم در لیتر.

جامعه آماری شامل ۲۸ کرت آزمایشی بود. علت انتخاب این غلظت‌ها، اقتصادی بودن آنها از نظر اجرا در مزرعه، قابلیت مقایسه آنها با یکدیگر و اطمینان از عدم برگ‌سوزی در گیاهان بود. عامل کلات کننده در این ترکیبات EDTA بود. این عامل کلات کننده یکی از ترکیبات رایج در زمینه می‌باشد. غلظت آهن و روی در نمونه کود کلاتی مایع اولیه مورد استفاده ۱۰ درصد جرمی- حجمی بود. برای آهن و روی سولفاتی نیز از کود سولفات روی محتوی ۳۰ درصد جرمی- جرمی روی و سولفات آهن محتوی ۲۰ درصد جرمی- جرمی آهن استفاده شد. کودهای مورد نظر از شرکت دانش بنیان زیست نهاده پویا معتبر خریداری و جهت صحت مقادیر ذکر شده در برچسب، غلظت آهن و روی در کودهای کلاتی و سولفاتی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مورد آنالیز قرار گرفته و صحت برچسب آن مورد تایید قرار گرفت. طول هر کرت آزمایشی ۱۰ متر و عرض آن سه متر بود. هر کرت شامل چهار ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

ابتدا جهت سهولت عملیات تهیه زمین، آبیاری صورت گرفت و پس از رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی، شخم در عمق ۳۰ سانتی‌متری انجام گردید. به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها و نرم کردن زمین، عمل دیسک‌زنی در سه مرحله صورت گرفت و جهت از بین بردن پستی و بلندی زمین نیز عمل ماله‌زنی انجام شد. برای یکنواختی زمین از نظر غذایی، کودهای مورد نیاز به‌جز آهن و روی، بر اساس آزمون خاک و تجربیات محلی کارشناسان مرکز تحقیقات، تعیین شده و همراه با شخم به خاک اضافه شدند. بدین ترتیب معادل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد و ۲۰ تن در هکتار کود حیوانی تازه مورد استفاده قرار گرفت. سپس کرت‌بندی انجام شده و عملیات کاشت بذر به روش دستی انجام شد. فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد تا تیمارهای مختلف روی یکدیگر اثری نداشته باشند. برای اطمینان از سبز شدن بذور، تعداد دو عدد بذر در هر کپه کاشته شد و پس از سبز شدن، در مرحله چهار تا پنج برگی فقط یک بوته در هر کپه نگهداری شد. تایخ کاشت بذرها بر اساس توصیه کارشناسان مرکز تحقیقات در اول مرداد ماه انجام شد. اولین آبیاری در تاریخ دوم مرداد ماه انجام شد. کلیه آبیاری‌ها به روش سیفونی صورت گرفت و در روش کاشت کف جوی، چون آبیاری به‌صورت شیاری انجام می‌شد یک ساعت بعد از زه‌آب، سیفون کرت قطع می‌گردید. طبق عرف منطقه آبیاری هر هشت روز یک بار انجام شد. مقدار هدایت الکتریکی آب مورد

استفاده ۶۲۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود. چند روز پس از سبز شدن، در محل بذور سبز نشده عملیات واکاری انجام گرفت تا تراکم مورد نظر (۷۰۰۰۰ بوته در هکتار) با فواصل منظم به‌دست آید. کوددهی سایر کودها در زمان تعیین شده با توجه به تیمارها همراه با آبیاری به‌روش بشکه به همه کرت‌ها داده شد. در این مورد معادل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره همراه با ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولوپتاس در دو مرحله همراه با آب آبیاری به همه کرت‌ها داده شد. برگ‌پاشی با آهن و روی در تیمارهای مورد نظر دو بار در طول فصل رشد انجام شد. بار اول در مرحله هشت برگی و بار دوم در مرحله ظهور کامل اندام‌های گیاه انجام شد. این دو مرحله بر اساس نیاز گیاه به این دو عنصر انتخاب شدند.

عملیات برداشت نهایی پس از رسیدگی فیزیولوژیکی یعنی هویدا شدن لایه سیاه در قاعده دانه (Rezvani Khorshidi *et al.*, 2017). در تاریخ سی‌ام آبان ماه انجام شد و گیاهان ذرت از ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک قطع گردیدند. شاخص‌هایی چون عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد، طول بلال، وزن بلال، وزن چوب بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف و وزن هزار دانه مورد بررسی قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری این صفات تعداد ۱۰ نمونه گیاه به‌طور تصادفی از هر کرت با رعایت حاشیه از سطح خاک برداشت شد. قبل از برداشت ارتفاع کل بوته از سطح زمین نیز اندازه‌گیری شد و برای محاسبه شاخص برداشت از معادله ۱ استفاده گردید:

$$HI = GY/BY \times 100$$ معادله ۱

که در آن GY عملکرد اقتصادی محصول (عملکرد دانه) و BY کل ماده خشک تولیدی (عملکرد بیولوژیکی) می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری مقدار کلروفیل نیز از دستگاه کلروفیل‌متر دستی Optiscience مدل CM-200 استفاده گردید. قرائت با کلروفیل‌متر سه روز پس از هر بار محلول‌پاشی برگ‌ها انجام و میانگین دو مرحله در نظر گرفته شد. در هرکرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و غلظت کلروفیل در آنها اندازه‌گیری شد.

یک نمونه تصادفی از دانه‌های بلال تهیه شده و جهت تعیین برخی فاکتورهای کیفی مانند درصد پروتئین دانه، غلظت آهن، روی، مس و منگنز مورد استفاده قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری آنالیز عنصری، نمونه‌های خشک شده در آون با آسیاب پودر شدند. برای اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه، غلظت نیتروژن به روش کجلدال در نمونه‌ها آنالیز شد (Kalra, 1997). برای اندازه‌گیری غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز، نمونه‌های پودر شده به روش خشک سوزانی هضم و غلظت عناصر آهن و روی در عصاره هضم شده با دستگاه جذب اتمی شعله‌ای اندازه‌گیری گردید (Paech and Tracey, 2013). تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس تیمارهای برگ‌پاشی آهن و روی که به‌منظور بررسی اثر آنها بر عملکرد کمّی و کیفی دانه ذرت اعمال گردیدند در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج این جدول، اثر تیمارهای مختلف برگ‌پاشی بر همه صفات به‌جز وزن چوب بلال و غلظت منگنز دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. میزان اثر هر تیمار بر صفات کمی رشد ذرت (عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی،

ارتفاع بوته و شاخص برداشت) در جدول ۳ دیده می‌شود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار برگ‌پاشی توام کلات آهن و روی دیده شد که نسبت به شاهد ۱۳ درصد افزایش عملکرد وجود داشت. این افزایش عملکرد در تیمارهای کاربرد توام آهن و روی هرکدام با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد و بین دو تیمار منبع کلاتی و سولفاتی تفاوت معنی‌دار آماری دیده نشد. پس از آن نیز بیشترین عملکرد در تیمارهای چهار و پنج دیده شد که در آنها برگپاشی با سولفات و کلات روی انجام شده بود.

عملکرد دانه: نتایج عملکرد دانه نشان داد که برگ‌پاشی با آهن کلاتی و یا سولفاتی سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شده است اما به نظر می‌رسد اثر برگ‌پاشی با روی مؤثرتر بوده است. نتایج این پژوهش با برخی پژوهش‌های پیشین مبتنی بر برگ‌پاشی با روی و آهن مطابقت دارد. غفاری ملایری و همکاران (Ghaffari Malayeri *et al*., 2012) گزارش نمودند که برگ‌پاشی با آهن و روی سبب افزایش عملکرد دانه ذرت می‌شود و اثر برگ‌پاشی با روی بیشتر بوده است. ما و همکاران (Ma *et al*., 2019) نیز گزارش کردند که برگ‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز باعث افزایش ۳۴/۳ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد شد و در آن پژوهش نیز اثر برگ‌پاشی روی بر عملکرد بیشتر از آهن بود اگرچه در آزمایش آنان نیز در تطابق با پژوهش حاضر، عملکرد تیمار برگ‌پاشی توام آهن و روی بیشتر از هرکدام به تنهایی بود. با این وجود در آزمایشی که توسط گودرزی و همکاران (Goudarz *et al*., 2014) انجام شد اثر برگ‌پاشی آهن و روی هرکدام به تنهایی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند اما اثر کاربرد توام آهن و روی بیشتر از هرکدام به تنهایی بود. یکی از دلایل احتمالی اثربخشی بیشتر روی نسبت به آهن، پایین بودن مقدار قابل جذب روی در خاک مورد آزمایش نسبت به آهن می‌باشد. اگر حد بحرانی آهن برای ذرت برابر با ۱۰ و برای روی برابر با ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شود (Fageria *et al*., 2002)، با توجه به جدول ۱ دیده می‌شود که غلظت روی قابل جذب خاک نسبت به آهن در نقطه دورتری قرار دارد و لذا روی در این خاک عامل محدود کننده‌تری نسبت به آهن می‌باشد و لذا کاربرد روی اثر بیشتری در عملکرد دانه داشته است. به گزارش برخی محققان، عنصر روی محدود کننده‌ترین عنصر کم مصرف در بین عناصر کم مصرف در دنیا می‌باشد (Duffy, 2007; Fageria *et al*., 2002).

عملکرد بیولوژیک: در عملکرد بیولوژیک بیشترین مقدار در تیمارهای برگ‌پاشی توام کلات آهن و روی و همچنین برگ‌پاشی توام سولفات آهن و روی به‌ترتیب با مقدار ۳۷/۷۳ و ۳۷/۶۱ تن در هکتار دیده شد. کاربرد توام آهن و روی سبب افزایش ۵ درصدی در عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار شاهد شد. اگرچه برگ‌پاشی کلات آهن به تنهایی با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر نیز با این تیمارها تفاوت معنی‌دار نداشت. کاربرد روی به شکل کلات و یا سولفات با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار داشت. به نظر می‌رسد در مورد عملکرد بیولوژیک که با کل بوته مرتبط است، اثر آهن اندکی بیشتر از روی بوده است. این موضوع ممکن است به ماهیت کارکرد این دو عنصر مرتبط باشد. روی در تولید پروتئین، ساخته شدن هورمون اکسین و آنزیم‌های مسئول تولید نشاسته مؤثر است که به بهبود کیفیت دانه و افزایش لقاح کمک می‌کند اما آهن بیشتر در سنتز کلروفیل و افزایش فتوسنتز دخیل است (Ramzan *et al*., 2020) و لذا برگ‌پاشی با آهن بیشتر به رشد

رویشی و کاربرد روی به‌رشد زایشی کمک نموده است. کاربرد هم‌زمان این دو عنصر با یکدیگر اثر سینرژیستی داشته و به رشد کلی گیاهان چه زایشی و چه رویشی کمک بیشتری نموده است (Ziaei *et al*., 2020).

یکی دیگر از نتایج قابل توجه در این قسمت از پژوهش عدم تفاوت معنی‌دار در عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بین منبع سولفاتی و کلاتی بود. این نتیجه با برخی نتایج پژوهش‌گران پیشین در تطابق و با برخی دیگر در تضاد است. حسن-پوراقدم و همکاران (Hassanpouraghdam *et al*., 2020) گزارش نمودند که در برگ‌پاشی ذرت با سولفات آهن و آهن کلات شده با اسید آمینه، مقدار جذب آهن کلات شده با اسید آمینه در برگ‌های ذرت بیشتر بود. علی‌حسین‌پور و همکاران (Alihosinpour *et al*., 2011) نیز گزارش نمودند که جذب آهن از طریق سولفات آهن در برگ‌های سویا کاشته شده در خاک دچار کمبود آهن، بیشتر از آهن کلات شده با EDTA بود و در حالت مخلوط با نیترات آمونیوم مقدار جذب سولفات آهن باز هم بیشتر شد. آنان همچنین گزارش دادند که انتقال آهن از برگ به ریشه از منبع کلات آهن بیشتر از سولفات آهن بود. به‌طورکلی، به نظر می‌رسد مقدار جذب آهن و روی از منابع مختلف کلات و روی به نوع رقم و سایر موارد همچون میزان نیاز گیاه به این عناصر، قطر لایه کوتیکول روی برگ و زمان برگ‌پاشی بستگی دارد. به‌طورکلی، در این آزمایش اثر نوع منبع آهن و روی بر عملکرد دانه و بیولوژیک تفاوت معنی‌دار نداشت.

ارتفاع بوته: اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. ارتفاع بوته ذرت در تیمارهای مختلف نشان داد که تیمار برگ‌پاشی توام آهن و روی بیشترین اثر را بر ارتفاع گیاه داشته و بین دو تیمار سولفاتی و کلاتی اختلاف معنی‌دار دیده نشد. در این تیمارها ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد ۱۳ درصد افزایش نشان داد. کاربرد کلات آهن نسبت به سولفات آهن اثر بیشتری بر ارتفاع گیاه داشت. اثر برگ‌پاشی سولفات روی و کلات روی بر ارتفاع بوته ذرت از تیمار شاهد بیشتر بود. به نظر می‌رسد در این مورد توزیع مجدد کلات آهن (Knijnenburg *et al*., 2018) که در مبحث قبلی به آن اشاره شد، مؤثر بوده و منجر به افزایش رشد ساقه شده است.

شاخص برداشت: بر اساس یافته‌های جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر برگ‌پاشی آهن و روی بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. اثر برگ‌پاشی کلات آهن بر درصد شاخص برداشت در این گیاه معنی‌دار نبود، هر چند در این شرایط بیشترین میانگین درصد شاخص برداشت با میانگین ۲۵/۳ درصد به تیمار محلول‌پاشی کلات روی سه در هزار اختصاص داشت که با تیمارهای پنج، شش و هفت اختلاف معنی‌دار نداشت و هر چهار تیمار در گروه آماری برتر قرار داشتند. اثر برگ‌پاشی سولفات آهن نیز بر شاخص برداشت با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت اما سایر تیمارها با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند. مصرف خاکی و برگی عناصر ریزمغذی آهن و روی در امر تغذیه ذرت باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه می‌شود که در این بین نقش مثبت روی در افزایش دانه مؤثرتر بوده و شاخص برداشت را بیشتر افزایش داده است. جدول ۴ میزان اثر هر تیمار بر برخی صفات کمّی مرتبط با عملکرد دانه (تعداد ریف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن بلال، طول بلال و وزن هزاردانه) را نشان می‌دهد.

وزن هزار دانه: اثر تیمارهای مختلف بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد مثبت بود. بیشترین وزن هزار دانه در تیمارهای شش و هفت با برگ‌پاشی توام آهن و روی در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر با ۳۶۷ گرم و با ۷ درصد افزایش نسبت به شاهد دیده شد. پس از آن وزن هزار دانه در تیمارهای چهار و پنج با برگ‌پاشی سولفات و کلات روی با غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر با ۳۵۸ گرم و ۴/۶ درصد افزایش نسبت به شاهد دیده شد. برگ‌پاشی با آهن نیز وزن هزار دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. محتوای کل کربوهیدرات، نشاسته، ایندول استیک اسید، کلروفیل و پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری با مصرف روی و آهن افزایش می‌یابد که این عوامل در افزایش وزن دانه بلال مؤثر است (Kumar *et al.*, 2020).

تعداد دانه در ردیف: بر اساس جدول ۴ بیشترین تعداد دانه در ردیف در تیمار ۶ با ۴۳ دانه و کمترین تعداد نیز در تیمار شاهد با ۳۰ دانه دیده شد. بین تیمار شش با تیمار هفت اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. تیمارهای دو، چهار و پنج نیز با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. به نظر می‌رسد اثر برگ‌پاشی روی در مقایسه با آهن به تنهایی مؤثرتر است. گودرز و همکاران (Goudarz *et al.*, 2014) گزارش نمودند که برگ‌پاشی با آهن و روی در غلظت‌های ۲ و ۴ هزار سبب افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف شد و بین این دو عنصر اختلاف معنی‌دار گزارش نکردند. غفاری ملایری و همکاران (Ghaffari Malayeri *et al.*, 2012) نیز گزارش نمودند که برگ‌پاشی ذرت با آهن و روی سبب افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف شد. بر اساس داده‌های به‌دست آمده اثر تیمارهای مختلف بر تعداد ردیف در بلال در سطح پنج درصد مثبت بود. بیشترین تعداد دانه در ردیف در تیمارهای شش و هفت با برگ‌پاشی توام آهن و روی در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر با ۱۳/۳۳ ردیف دیده شد. در مورد تعداد ردیف در بلال بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۴).

وزن بلال و چوب بلال: اثر تیمارهای مختلف بر وزن بلال نیز در سطح احتمال یک درصد مثبت بود (جدول ۲). بیشترین بلال در تیمارهای شش و هفت با برگ‌پاشی توام آهن و روی در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر با ۴۳۷ گرم دیده شد. پس از آن وزن بلال در تیمارهای چهار و پنج با برگ‌پاشی سولفات و کلات روی با غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر با ۴۱۷ گرم دیده شد. برگ‌پاشی با آهن نیز وزن بلال را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. اثر سولفات در وزن بلال از کلات آهن بیشتر بود. کمترین وزن بلال نیز در تیمار شاهد با ۴۳۷ گرم دیده شد. بر اساس یافته‌های جدول تجزیه واریانس، اثرات برگ‌پاشی آهن و روی در تیمارهای مختلف بر وزن چوب بلال معنی‌دار نشد.

شاخص محتوای کلروفیل: بیشترین مقدار شاخص محتوای کلروفیل در تیمار برگ‌پاشی کلات آهن دیده شد. نتایج شاخص محتوای کلروفیل در این تیمار با تیمارهای شش و هفت که در آنها برگ‌پاشی توام آهن و روی انجام شده بود و با تیمار سه که برگ‌پاشی با سولفات آهن سه میلی‌گرم در لیتر انجام گردیده بود تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۵). در تطابق با این پژوهش گزارش شده است که کاربرد کود آهن سبب افزایش شاخص محتوای کلروفیل در مراحل شروع غلاف‌دهی تا شروع تشکیل دانه در سویا شده است (Heitholt *et al.*, 2003).

شاخص محتوای کلروفیل در تیمارهای برگ‌پاشی با روی نیز به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. افزایش شاخص محتوای کلروفیل می‌تواند دلالت بر افزایش غلظت کلروفیل برگ در نتیجه استفاده از کود آهن باشد. وجود آهن در سنتز پروتئین لازم است و از آنجا که نقش عمده آهن در ساخت پروتئین‌های همراه کلروفیل است، با افزایش آن در برگ میزان کلروفیل برگ زیاد می‌شود (Imsande, 1998).

پروتئین دانه: براساس نتایج به‌دست آمده اثر تیمارها بر درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار شش دیده شد که نسبت به شاهد ۷/۹ درصد افزایش وجود داشت. این افزایش درصد پروتئین در تیمارهای هفت، دو و سه نیز دیده شد که با تیمار شش اختلاف معنی‌دار نداشتند و هر چهار تیمار در یک گروه آماری قرار داشتند. پس از آن نیز تیمارهای چهار و پنج که در آنها برگ‌پاشی با سولفات و یا کلات روی انجام شده بود نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند. تحقیقات نشان می‌دهد که مصرف برخی از عناصر ریزمغذی باعث افزایش پروتئین خام در اندام‌های هوایی و دانه ذرت می‌شود (Raesee *et al.*, 2015). بابائیان و همکاران (Babaian *et al.*, 2011) گزارش نمودند که برگ‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز سبب افزایش معنی‌دار پروتئین خام در ذرت سیلویی شد. به نظر می‌رسد نقش آهن و روی در فعال‌سازی آنزیم‌های تشکیل دهنده پروتئین‌ها سبب افزایش پروتئین دانه شده است.

غلظت آهن، منگنز و روی در دانه: طبق جدول تجزیه واریانس، اثر برگپاشی آهن بر غلظت آهن در دانه ذرت معنی‌دار بود. بیشترین غلظت آهن دانه در تیمار دو با برگپاشی سولفات آهن دیده شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت. پس از آن، تیمارهای سه (برگ‌پاشی کلات آهن)، شش و هفت (برگ‌پاشی توام آهن و روی) در یک گروه آماری قرار داشتند. نتایج غلظت آهن دانه نشان داد که تیمارهای چهار و پنج که در آنها برگ‌پاشی روی انجام شده بود با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند. با توجه به بالا رفتن غلظت عنصر آهن در دانه به نظر می‌رسد جذب و انتقال آهن از طریق منبع سولفاتی در این پژوهش مؤثرتر از منبع کلاتی بوده و این موضوع که کلات آهن نسبت به سولفات آهن با سهولت بیشتری منتقل می‌شود (Hassanpouraghdam *et al.*, 2020) با نتایج این پژوهش در تطابق نیست. در جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) دیده می‌شود که اثر تیمارهای مختلف برگ‌پاشی بر غلظت منگنز دانه اثر معنی‌دار نداشتند. اثر تیمارهای مختلف بر غلظت روی در دانه نیز در سطح یک درصد مثبت بود. بیشترین غلظت روی در تیمارهای چهار و پنج با برگ‌پاشی سولفات روی و کلات روی در غلظت ۳ میلی‌گرم بر لیتر و پس از آن غلظت روی در تیمارهای شش و هفت با برگ‌پاشی مخلوط آهن و روی هرکدام با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. برگ‌پاشی با آهن غلظت روی در دانه را نسبت به تیمار شاهد افزایش نداد. اثر سولفات روی و یا کلات در افزایش غلظت روی دانه یکسان بود. همانند آهن، به نظر می‌رسد جذب و انتقال روی نیز از طریق منبع سولفاتی در این پژوهش مؤثرتر از منبع کلاتی بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش مشخص شد که برگ‌پاشی روی و آهن بر عملکرد دانه ذرت اثر مثبت داشته و سبب افزایش عملکرد دانه ذرت شد. در این

مورد اثر مخلوط آهن و روی بیشتر از اثر هرکدام به تنهایی و همچنین اثر برگ‌پاشی روی بیشتر از آهن بود. بین دو منبع سولفاتی و کلاتی اختلاف معنی‌دار دیده نشد. البته منبع سولفاتی در افزایش غلظت این دو عنصر در دانه ذرت اثر بیشتری داشت. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش می‌توان برگ‌پاشی ذرت از منبع سولفات آهن و روی را به دلیل اثر تقریباً یکسان آن با منبع کلات مد نظر قرار داد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیک خاک مورد استفاده در این پژوهش

Table 1- Some chemical and physical properties of soil used in this research

ویژگی Property	روش اندازه‌گیری method	واحد Unit	مقدار Amount
هدایت الکتریکی (EC)	عصاره گل اشباع	$dS\ m^{-1}$	0.86
واکنش خاک (pH)	گل اشباع	-	7.49
کربنات کلسیم معادل (CCE)	تیتراسیون	$g\ kg^{-1}$	153.5
بافت (texture)	هیدرومتری	-	CL
کربن آلی (OC)	والکلی بلک	$g\ kg^{-1}$	8.3
فسفر قابل جذب (P ava)	اولسن	$mg\ kg^{-1}$	12.2
پتاسیم قابل جذب (K ava)	استات آمونیوم	$mg\ kg^{-1}$	187
نیتروژن کل (total N)	کجلدال	$mg\ kg^{-1}$	725
آهن قابل جذب (Fe ava)	DTPA	$mg\ kg^{-1}$	6.28
روی قابل جذب (Zn ava)	DTPA	$mg\ kg^{-1}$	0.53
منگنز قابل جذب (Mn ava)	DTPA	$mg\ kg^{-1}$	9.45
مس قابل جذب (Cu ava)	DTPA	$mg\ kg^{-1}$	1.37
بور قابل جذب (B ava)	آب داغ	$mg\ kg^{-1}$	1.23

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس اثر برگپاشی آهن و روی در تیمارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت

Table 2- Analysis table of variance of foliar application of iron and zinc in different treatments on some quantitative and qualitative characteristics of corn

منابع تغییرات S.O.V.	تیمار Treatment	بلوک Block	خطا Error	ضریب تغییرات C.V. (%)
درجه آزادی (df)	6	3	18	-
عملکرد بیولوژیک (fresh weight)	1485762**	8.34^{ns}	45620	1.82
عملکرد دانه (dry weight)	119.54**	6.17^{ns}	5.12	24.79
ارتفاع بوته (plant height)	2753**	37.56^{ns}	21.6	1.87
شاخص برداشت (harvest index)	45.50**	0.02^{ns}	0.13	1.45
وزن بلال (Ear weight)	5821**	22.10^{ns}	33.4	1.45
وزن چوب بلال (cob weight)	1. 47^{ns}	0.10^{ns}	1.21	1.05
تعداد ردیف در بلال (Row ear^{-1})	5.18**	0.36^{ns}	0.41	5.07
تعداد دانه در ردیف (Grain row^{-1})	2536**	12.37^{ns}	1. 17	2.87
وزن هزار دانه (1000-seed weight)	3783**	5.18^{ns}	11.44	0.95
درصد پروتئین (Grain protein)	27.90**	1. 14^{ns}	1.43	12.05
آهن دانه (Fe in grain)	6321**	0.08^{ns}	0.18	0.68
روی دانه (Zn in grain)	3312**	1.13^{ns}	1.78	4.07
منگنز دانه (Mn in grain)	1.16^{ns}	0.45^{ns}	0.88	2.74
شاخص محتوای کلروفیل (Chlorophyll content index)	1345**	0.12^{ns}	16.10	13.37

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively.

جدول ۳- اثر کاربرد برگ‌پاشی روی و آهن بر فاکتورهای کمی رشد ذرت

Table 3- The effect of zinc and iron foliar application on quantitative growth factors of maize

تیمار Treatment	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (ton.ha^{-1})
1 (control)	232 ^{d}	23.4 ^{cd}	8375 ^{d}	35.79 ^{cd}
2 (Fe Chelate)	253 ^{b}	23.8 ^{cd}	8936 ^{c}	37.52 ^{ab}
3 (Fe sulfate)	244 ^{c}	24.3 ^{bc}	9023 ^{bc}	37.07 ^{b}
4 (Zn chelate)	241 ^{c}	25.6 ^{a}	9248 ^{b}	36.21 ^{bcd}
5 (Zn sulfate)	243 ^{c}	25.3 ^{ab}	9275 ^{b}	36.68 ^{bc}
6 (Fe and Zn chelate)	261 ^{a}	25.2 ^{ab}	9520 ^{a}	37.73 ^{a}
7 (Fe and Zn sulfate)	263 ^{a}	25.3 ^{ab}	9498 ^{a}	37.61 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters based on Duncan Multiple Rang test at the 5% level no significant.

جدول ۵- اثر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر صفات کمی مرتبط با عملکرد دانه ذرت

Table 4- Effect of application of organic and inorganic acids on quantitative factors related to corn grain yield

تیمار Treatment	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	وزن چوب بلال cob weight	وزن بلال Ear weight (g)	تعداد دانه در ردیف Grain row^{-1}	تعداد ردیف در بلال Row ear^{-1}
1(control)	342 ^{d}	102 ^{a}	360 ^{e}	30 ^{d}	12.13 ^{bcd}
2 (Fe Chelate)	351 ^{c}	104 ^{a}	385 ^{c}	38 ^{b}	12.24 ^{bcd}
3 (Fe sulfate)	349 ^{cd}	104 ^{a}	373 ^{d}	34 ^{c}	12.29 ^{bc}
4 (Zn chelate)	355 ^{bc}	104 ^{a}	407 ^{b}	38 ^{b}	12.65 ^{b}
5 (Zn sulfate)	358 ^{b}	105 ^{a}	408 ^{b}	39 ^{b}	12.38 ^{bc}
6 (Fe and Zn chelate)	367 ^{a}	107 ^{a}	421 ^{a}	43 ^{a}	13.33 ^{a}
7 (Fe and Zn sulfate)	362 ^{ab}	106 ^{a}	427 ^{a}	41 ^{ab}	13.28 ^{a}

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters based on Duncan Multiple Rang test at the 5% level no significant.

جدول ۵- اثر کاربرد اسیدهای آلی و معدنی بر فاکتورهای کمی مرتبط با عملکرد دانه ذرت

Table 5- Effect of application of organic and inorganic acids on quantitative factors related to corn grain yield

تیمار Treatment	شاخص محتوای کلروفیل Chlorophyll content index	غلظت منگنز در دانه Mg in grain (mg.kg^{-1})	غلظت روی در دانه Zn in grain (mg.kg^{-1})	غلظت آهن در دانه Fe in grain (mg.kg^{-1})	درصد پروتئین دانه Grain protein (%)
1(control)	21^{cd}	33 ^{a}	21 ^{c}	45 ^{cd}	9.57 ^{c}
2 (Fe Chelate)	36 ^{a}	35 ^{a}	23 ^{c}	82 ^{a}	10.31 ^{a}
3 (Fe sulfate)	33 ^{ab}	36 ^{a}	24 ^{c}	71 ^{b}	10.11 ^{ab}
4 (Zn chelate)	25 ^{dc}	34 ^{a}	44 ^{a}	46 ^{cd}	9.42 ^{c}
5 (Zn sulfate)	25 ^{dc}	34 ^{a}	45 ^{a}	50 ^{c}	9.51 ^{c}
6 (Fe and Zn chelate)	35 ^{a}	32 ^{a}	35 ^{b}	72 ^{b}	10.33 ^{a}
7 (Fe and Zn sulfate)	35 ^{ab}	35 ^{a}	37 ^{b}	65 ^{b}	10.20 ^{ab}

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letters based on Duncan Multiple Rang test at the 5% level no significant.

References منابع مورد استفاده

- Afshari, M., A. Naderi, M. Mojadam, Sh. Lak., and M. Alavifazel. 2020. Zinc and iron-mediated alleviation water deficiency of maize by modulating antioxidant metabolism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.* 48: 989-1004.
- Al Heidary, M., J.P. Douzals, C. Sinfort, and A. Vallet. 2014. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop Protection.* 63: 120-130.
- Alihosinpour, F., M. Rafiee, and A. Farnya. 2011. Investigation the effect boron foliar application on quality and quantitative characteristics of soybean genotypes. *Crop Physiology Journal.* 3: 33-46. (In Persian).
- Babaian, M., M. Hidari, and A. Ghanbari. 2011. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological cahracteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences.* 12: 377-391. (In Persian).
- Chen, Y., and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advances* in Agronomy. Elsevier, pp. 217-240.
- Duffy, B. 2007. Zinc and plant disease. Mineral nutrition and plant disease. 155-175.
- Fageria, N., V. Baligar, and R. Clark. 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy. Elsevier, pp. 185-268.
- Fageria, N.K., 2016. The use of nutrients in crop plants. CRC press.
- Ghaffari Malayeri, M., G.A. Akbari, and A. Mohammadzadeh. 2012. Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian Journal of Field Crops Research.* 10: 368-373. (In Persian).
- Girma, K., K. Martin, K. Freeman, J. Mosali, R. Teal, W.R. Raun, S. Moges, and D. Arnall. 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 38: 1137-1154.
- Goudarz, H., P. Kasraei, and B. Zand. 2014. Effect of different iron and zinc concentrations on yield and yield components of maize. *Journal of Crop Production Research.* 6: 49-61. (In Persian).
- Hassanpouraghdam, M.B., L.V. Mehrabani, and N. Tzortzakis. 2020. Foliar application of nano-zinc and iron affects physiological attributes of rosmarinus officinalis and quietens NaCl salinity depression. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 20: 335-345.
- Heitholt, J., J. Sloan, C. MacKown, and R. Cabrera. 2003. Soybean growth on calcareous soil as affected by three iron sources. *Journal of Plant Nutrition.* 26: 935-948.
- Imsande, J. 1998. Iron, sulfur, and chlorophyll deficiencies: a need for an integrative approach in plant physiology. *Physiologia Plantarum.* 103: 139-144.
- Kalra, Y. 1997. Handbook of reference methods for plant analysis. CRC press, London.
- Knijnenburg, J.T.N., F.M. Hilty, J. Oelofse, R. Buitendag, M.B. Zimmermann, I. Cakmak, and A.F. Grobler. 2018. Nano- and pheroid technologies for development

of foliar iron fertilizers and iron biofortification of soybean grown in South Africa. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 5: 26-32.

- Kumar, D., K. Patel, V. Ramani, A. Shukla, and R.S. Meena. 2020. Management of micronutrients in soil for the nutritional security. Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Springer, pp. 103-134.
- Ma, J., M. Zhang, Z. Liu, H. Chen, Y.C. Li, Y. Sun, Q. Ma, and C. Zhao. 2019. Effects of foliar application of the mixture of copper and chelated iron on the yield, quality, photosynthesis, and microelement concentration of table grape (*Vitis vinifera L.*). *Scientia Horticulturae.* 254: 106-115.
- Mohamed, H.I., E.A. Elsherbiny, and M.T. Abdelhamid. 2016. Physiological and biochemical responses of *Vicia faba* plants to foliar application of zinc and iron. *Gesunde Pflanzen.* 68: 201-212.
- Nessabian, S., S.J. Ghoreyshi abhari, F. Farahavar, and M. Damankeshideh. 2011. The study of maize production comparative advantage in Iran. *Economic Modelling.* 5: 109-124.
- Paech, K., and M.V. Tracey. 2013. Modern methods of plant analysis. Springer Science and Business Media.
- Raesee, N., S.M.A. Vakili, G. Sarhady, and F. Torkynegad. 2015. Effects of manure, iron and zinc fertilizers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants.* 31: 138-149. (In Persian).
- Ramzan, Y., M.B. Hafeez, S. Khan, M. Nadeem, S. Batool, and J. Ahmad. 2020. Biofortification with zinc and iron improves the grain quality and yield of wheat crop. *International Journal of Plant Production*. 49: 1-10.
- Rezvani Khorshidi, E., F. Ghaderifar, A. Hamidi, and E. Soltani. 2017. Evaluation of various indicators related to physiological maturity, harvest time and highest seed quality determination in hybrid maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Research.* 4: 83-95. (In Persian).
- Sori, M.K. 2016. Chelates and amino chelates and their nutritional role in plants. *Agricultural Education and Promotion.* 35:181-188.
- Sori, M.K., F.Y. Sooraki, and M. Moghadamyar. 2017. Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology.* 58: 530-536.
- Stacey, S.P., and D.M. Oosterhuis. 2007. Effect of EDTA on the foliar absorption of trace element fertilizers. *Soil Fertility Studies*.67: 80-81.
- Vaghar, M.S., S. Sayfzadeh, H.R. Zakerin, S. Kobraee, and S.A. Valadabadi. 2020. Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*. 198: 1-17.
- Wang, Z., W. Qiu, S. Pang, and J. Jiang. 2019. Effect of chelators on the production and nature of the reactive intermediates formed in Fe(II) activated peroxydisulfate and hydrogen peroxide processes. *Water Research.* 164: 114957.
- Ziaei, S.M.M., K. Salimi, and S.R. Amiri. 2020. Investigation of quinoa cultivation (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation intervals and foliar application in saravan region. *Crop Physiology Journal*. 12: 113-125. (In Persian).

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2022.1909162.1712

Effect of Foliar Application of Iron and Zinc from Chelate and Sulfate Sources on Growth and Yield of Maize, at Dezful Province of Khuzestan

Ali Khalafi[1], Kamran Mohsenifar[2]*, Ali Gholami[2] and Mohammad Barzegari[2, 3]

Received: September 2021 , Revised: 13 October 2021, Accepted: 1 November 2021

Abstract

To investigate the effect of foliar application of iron and zinc from sulfate and EDTA-chelated sources on quantitaty and qualitaty of corn seed yields were compared. Thus, field experiment was carried at Dezful, using maize single cross 701 cultivar, in a randomized complete block design for one years. The experiment consisted of seven treatments: control, foliar spraying with chelate or sulfate of iron with a concentration of three $mg.L^{-1}$, foliar application of sulfate or chelate of zinc with a concentration of $mg.L^{-1}$, foliar application of combined sulfate or chelate of zinc and iron with a concentration of 1.5 $mg.L^{-1}$ for each element. Results at the experiment showed that the effect of different foliar treatments on all factors, except cob weight and grain manganese concentration, were significant. The highest grain yield was 9520 $kg.ha^{-1}$ and biological yield (37.73 $ton.ha^{-1}$), in the combined foliar application of iron and zinc, was 13% increase, as compared to the control. There was no significant difference in grain yield between the two sources of iron chelate and iron sulfate. The highest concentration of iron grain was observed by using foliar application with ferrous sulfate at a concentration of 3 $mg.L^{-1}$ and the highest concentration of zinc foliar application observed with zinc sulfate at a concentration of 3 $mg.L^{-1}$. The highest percentage of protein content was observed by using foliar application of iron and zinc. The results of this study showed that foliar application of corn with iron and zinc increased seed yield and improves its quality. There were no significant difference between the two sources of sulfate and chelate applications, while in some cases the use of sulfate source showed better results.

Key words: Foliar spray, Iron chelate, Grain yield, Protein percentage.

1- Ph.D. Student, Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shooshtar, Iran.
**Corresponding Author: Mohsenifar@live.com*