



Effect of Foliar Application of Iron and Zinc Sulfate at Different Growth Stages on Vegetative Growth and Yield Components of Forage Corn (*Zea mays* L.)

K. Asadi¹, M. Barani Motlagh^{*ID}, S.A. Movahedi Naeini and T. Nazari

(Received: 1 November 2023; Accepted: 6 March 2024)

Abstract

In order to evaluate the effect of foliar application of iron and zinc sulfate on yield and yield components of forage corn (Hybrid 704 Single Cross), an experiment in a randomized complete block design with 3 replications was carried out. The treatments included the control (spraying solution with distilled water), spraying of micronutrients including iron sulfate [$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20% Fe)], zinc sulfate [$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (22% Zn)] and iron sulfate + zinc sulfate with a concentration of 5 in 1000 at the 4-leaves stage, 8-leaves stage and both stages. The results showed that the greatest height (with an average of 190 cm), shoot dry weight (with an average of 1774 g m^{-2}), the number of seeds in a row (with an average of 50), the number of rows (with an average of 17.3) and the number of seeds in a cob (with an average of 867) and the weight of a thousand seeds (average of 312 grams) were resulted from iron and zinc foliar spraying at both stages of 4 and 8 leaves, which increased by 15.3, 31.4, 11.3, 17.3, 28.3 and 20.3% compared to their lowest value (control), respectively. The results of this research indicated that the simultaneous foliar application of iron and zinc had a greater effect on the studied traits compared to the foliar application of each nutrient of iron and zinc alone. Therefore, in order to have forage with rather good characteristics, it is recommended to spray iron and zinc solution simultaneously at both 4 and 8-leaves stages.

Keywords: Foliar spraying, Growth parameters, Yield components, Forage corn, Iron, Zinc.

Background and Objective: Forage corn is one of Iran's strategic and important crops, which plays a major role in supplying the required proteins. (Nabavi Moghadam et al., 2013; Goudarzi et al., 2013). Many soils in Iran are calcareous, which reduces the plant uptake of iron and zinc from the soil solution and reduces crop yields. Nutrient spraying is considered to be economically viable for the plant (Rasai et al., 2019). Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effects of foliar spraying of iron and zinc sulfate on forage corn (*Zea mays* L.) growth parameters and yield components.

Methods: The experiment was carried out in a field near the village of Takhshi Mahalle, located 5 km northwest of Gorgan city with geographical coordinates ($54^\circ 17' 56'' \text{ N}$) ($36^\circ 51' 52'' \text{ E}$) in 2022. The experiment was conducted in a randomized complete block design with 3 replications. The treatments included control (no foliar spraying), foliar spraying of iron sulfate micronutrient elements [$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20% Fe)],

1- Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

* Corresponding author, Email: mbarani2002@yahoo.com

zinc sulfate [$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (22% Zn)], and iron sulfate + zinc sulfate with a concentration of 5 per thousand in the 4-leaves stage, the 8-leaves stage and both stages. Foliar spraying was done in the early hours of the morning and drip irrigation was used. Plants were harvested at 120 days after planting, washed with distilled water and dried with tissue paper. Vegetative growth parameters and yield components including shoot fresh and dry weights, plant height, stem diameter, cob length, cob diameter, number of seeds per row, number of grains per cob, and 1000-grains weight were measured.

Results: The analysis of variance results for vegetative growth parameters, yield, and yield components showed that the effect of treatments on all the investigated traits was significant except for the number of leaves per plant, leaf area, and cob diameter. The greatest plant height (average of 190 cm), shoot dry weight (average of 1774 g m^{-2}), the number of seeds in a row (average of 50), the number of seed rows (average of 17.3) and the number of seeds in cobs (average of 867) were resulted from iron and zinc foliar spraying at both 4 and 8-leaf stages and the lowest amount was related to the control. The results also showed that the highest value for 1000-grains weight with an average of 312 g was obtained from iron and zinc foliar spraying at both 4 and 8-leaves stages, which had an increase equal to 12.7 and 9.5 percent compared to iron and zinc foliar spraying in the 8 and 4-leaves stage alone, respectively.

Conclusion: The results of this research indicated that simultaneous foliar spraying of iron and zinc had a greater effect on the studied traits compared to foliar spraying of each element of iron and zinc alone. Due to the limitations of iron and zinc elements in the soils of arid and semi-arid regions, foliar spraying is a practical method to increase vegetative growth parameters and yield components of forage corn. Therefore, it is recommended to apply simultaneous foliar spraying of iron and zinc at both the 4 and 8-leaves stages.

References:

1. Goudarzi, H., Kasraei, P., Zand, B., 2013. The effect of different concentrations of iron and zinc micronutrients on yield and yield components of Single Cross 260 corn. *Environ. Stresses Plant Sci.* 6(1), 49–61.
2. Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H., Sayyari, M.H., 2013. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize Hybrid Single Cross 704. *J. Crop Improv.* 15(2), 75–86.
3. Rasai Far, M., Moradi Aghdam, A., Haji Hosni Asl, N., Hosseini, N., 2019. The effect of iron, zinc, manganese and copper foliar application on grain sorghum yield and yield components. *Environ. Stresses Plant Sci.* 2(4), 341–353.



اثر محلول پاشی توأم سولفات آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر رشد رویشی و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)

کوثر اسدی^۱، مجتبی بارانی مطلق^{*}، سید علیرضا موحدی نائینی و طالب نظری

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶)

چکیده

به منظور ارزیابی اثر محلول پاشی سولفات آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای (هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس) آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارها شامل شاهد (محلول پاشی با آب مقطر)، محلول پاشی عناصر غذایی کم مصرف سولفات آهن $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20% Fe)، سولفات روی $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (22% Zn) و سولفات آهن + سولفات روی با غلظت ۵ در هزار در مرحله ۴ برگی، مرحله ۸ برگی و هر دو مرحله (۴ برگی و ۸ برگی) بود. نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع (با میانگین ۱۹۰ سانتی متر)، وزن خشک شاخساره (با میانگین ۱۷۷۴ گرم در مترمربع)، تعداد دانه در ردیف (با میانگین ۵۰)، تعداد ردیف دانه (با میانگین ۱۷/۳) و تعداد دانه در بلال (با میانگین ۸۶۷) و وزن هزار دانه (میانگین ۳۱۲ گرم) در تیمار محلول پاشی توأم آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به دست آمد که نسبت به کمترین مقدار آن‌ها (شاهد) به ترتیب افزایشی برابر با ۱۵/۳، ۳۱/۴، ۱۱/۳، ۱۷/۳، ۲۸/۳ و ۲۰/۳ درصد داشت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که محلول پاشی توأم آهن و روی اثر بیش تری بر صفات مورد بررسی در مقایسه با محلول پاشی هر یک از عناصر آهن و روی به تنهایی داشت. بنابراین برای داشتن علوفه‌ای با ویژگی‌های کمی خوب، محلول پاشی توأم آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، روی، اجزای عملکرد، ذرت علوفه‌ای، محلول پاشی، ویژگی‌های رویشی.

مقدمه

گیاهان زراعی ایران است که با هدف تولید دانه و علوفه کشت می‌شود. بیشترین مصرف این گیاه در تغذیه دام و طیور به صورت دانه، علوفه تازه و سیلوشده است (Ghaffari, 2012). به این ترتیب ذرت بیش تر به طور غیرمستقیم از راه تولید فرآورده‌های دام و طیور (گوشت، تخم

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از گیاهان زراعی قدیمی مورد استفاده انسان است که از نظر عملکرد و مقدار تولید در دنیا رتبه اول و از نظر سطح زیر کشت پس از گندم و برنج در رده سوم دارد (Payero et al., 2009). ذرت یکی از مهم ترین

۱- گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mbarani@gau.ac.ir

عناصر کم مصرف را برای گیاه افزایش دهد. با توجه به حلالیت کم عناصر روی و آهن در خاک، محلول پاشی آن‌ها می‌تواند تمامی نیاز گیاه را به این عناصر در طول دوره رشد و نمو برآورده سازد (Havlin et al., 2005; Mortvert et al., 1972). در همین راستا Yousefpour et al. (2018) با بررسی تأثیر محلول پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت گزارش کردند محلول پاشی آهن و روی در یک مرحله، نتوانست کارایی مصرف خاکی آهن و روی را بر تعدادی از صفات اندازگیری شده در ذرت داشته باشد. اما برای بهبود این ویژگی‌ها، مشابه با کاربرد خاکی کودهای آهن و روی لازم است حداقل در دو مرحله رشد رویشی و آغاز گلدهی، محلول پاشی آهن و روی انجام شود. آن‌ها هم چنین گزارش کردند بیشترین تعداد دانه در بلال با میانگین ۲۹۰/۴ در تیمار کاربرد توأم آهن و روی با غلظت ۵ در هزار و بیشترین وزن صد دانه با میانگین ۲۴/۹۲ در اثر کاربرد جداگانه آهن و روی با غلظت ۲/۵ در هزار به دست آمد (Yousefpour et al., 2018). پژوهشگران دیگر نیز گزارش نموده‌اند که محلول پاشی کودها تنها در یک مرحله کارایی چندانی در بهبود رشد گیاهان ندارد (Eivand et al., 2014). این نتایج نشان می‌دهد که مرحله رشد رویشی مهم‌ترین مرحله از نظر پاسخ گیاه (رشد بوته و بلال) به کاربرد کودهای عناصر غذایی کم مصرف آهن و روی است، اما برای تکمیل اثر محلول پاشی مرحله رشد رویشی، محلول پاشی در آغاز مرحله رشد زایشی نیز ضروری است (Zare et al., 2013; Palash et al., 2021). Zare et al. (2013) مشاهده نمودند که کاربرد کود آهن منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد. Potarzycki and Grzebisz (2009) تأثیر محلول پاشی بوته‌های ذرت با غلظت‌های مختلف کود روی را مورد بررسی قرار داده و مشاهده نمودند که کاربرد کود روی طول بلال‌های ذرت را ۹/۴ درصد افزایش داد. Bagheri Dehabadi et al. (2017) با بررسی تأثیر میکوریزا و محلول پاشی آهن و روی بر صفات کمی و کیفی سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.)

مرغ و لبنیات) در تغذیه انسان نقش دارد (Ehsanullah et al., 2015). این گیاه به دلیل دارا بودن ویژگی‌های هم‌چون تولید زیاد علوفه در واحد سطح، کیفیت خوب علوفه سیلوشده، میزان انرژی زیاد (قابلیت هضم و جذب زیاد) و فیبر کم به عنوان یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای به‌شمار می‌رود (Ehsanullah et al., 2015). عملکرد ذرت علوفه‌ای در ایران حدود ۴۵ تن در هکتار است که سالانه از حدود ۴۸۰۰ هکتار از زمین‌های زیر کشت این محصول ۲۱۶ هزار تن علوفه تولید می‌شود (Ghaffari, 2012; Malayeri et al., 2012).

روی یکی از عناصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است. این عنصر بر فعالیت‌های آنزیم‌های گیاهی مؤثر بوده و در ویژگی‌های مختلف رشد ذرت نقش اساسی دارد. کاهش رشد و پاکوتاه شدن از جمله علائم کمبود روی در گیاهان است (Potarzycki and Grzebisz, 2009).

آهن یکی دیگر از عناصر غذایی ضروری کم مصرف برای گیاهان است که به مقدار نسبتاً زیاد در کلروپلاست و میتوکندری سلول‌های گیاهی مورد نیاز است و به عنوان کوفاکتور در چندین پروتئین در زنجیره انتقال الکترون نقش دارد (Bagheri, 2018; Dehabadi et al., 2017; Nazari et al., 2018).

کمبود آهن و روی از جمله آشفته‌گی تغذیه‌ای رایج در گیاهان در خاک‌های آهکی و قلیایی است. محلول پاشی کودهای آهن و روی برای رفع علائم کمبود عناصر غذایی در خاک‌های آهکی، در مقایسه با کاربرد خاکی آن‌ها، مؤثرتر است (Kumar et al., 2020). مزیت دیگر محلول پاشی، کاهش هزینه‌های مصرف کود به دلیل کاربرد کم‌تر در محلول پاشی نسبت به مصرف خاکی است (Goudarzi et al., 2013). تغذیه از طریق برگ (به صورت محلول پاشی) یکی از روش‌های رایج برای تامین عناصر غذایی برای گیاهان است. گیاهان در شرایط حضور یون‌های بی‌کربنات و شرایط قلیایی خاک، تنش‌های دمایی، رطوبت زیاد یا کم خاک، بیماری‌های ریشه، نبود توازن تغذیه‌ای، نمی‌توانند مواد غذایی کافی را از راه ریشه‌ها جذب کنند. در چنین شرایطی، استفاده از محلول پاشی می‌تواند جذب

کلرید، کلسیم، منیزیم و سدیم، و نسبت جذب سدیم (جدول ۲) با استفاده از روش‌های مرسوم نمونه‌برداری و آزمایش آب اندازه‌گیری شدند (APHA, 1992).

پیش از کاشت در تاریخ ۱۴۰۰/۰۴/۱۰ زمین زراعی شخم زده شد. سپس برای تسطیح و خردنمودن کلوخه‌ها از دیسک استفاده شد. در هر کرت ۴ ردیف کشت (با فاصله ۷۵ سانتی-متر) به طول ۴ متر در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت ۱۲ مترمربع، فاصله بین بلوک‌ها از هم ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها در یک بلوک برابر ۵/۰ متر در نظر گرفته شد. دو ردیف کناری و ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. سپس بذره‌های ذرت علوفه‌ای رقم هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس که به‌عنوان رایج‌ترین رقم مورد استفاده کشاورزان منطقه است با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۵-۳ سانتی‌متری با ردیف‌کار کشت شدند. این آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل شاهد (محلول پاشی با آب مقطر)، محلول پاشی عناصر کم-مصرف [سولفات آهن ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (20%Fe)، سولفات روی با غلظت ۵ در هزار] در مرحله ۴ برگی، در مرحله ۸ برگی و هر دو مرحله (۴ و ۸ برگی) بود. بدین ترتیب ۱۰ تیمار در هر بلوک آزمایشی قرار گرفت. همچنین برای کوددهی کل زمین برای تقویت و تأمین عناصر مورد نیاز، براساس توصیه کودی، مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل پیش از کشت به خاک افزوده شد. همچنین کود نیتروژن از منبع اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله دو برگی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شش برگی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به کمک سیستم آبیاری قطره‌ای به‌کار برده شد. محلول پاشی اوایل صبح انجام گرفت تا آثار نامطلوب نور خورشید به حداقل برسد. از مویان (صابون محلول پاشی) برای کاهش کشش سطحی، افزایش خیس‌شوندگی و جذب بیش‌تر محلول‌ها استفاده شد. محلول پاشی ترکیبی به‌صورت جداگانه انجام شد بدین‌گونه که یک محلول در صبح زود و

گزارش کردند که در بین تیمارها، تیمارهای تلفیقی کاربرد توأم میکوریزا و محلول پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی منجر به بیش‌ترین ارتفاع بوته (با میانگین ۲/۳۶ متر) شد. در پژوهش دیگری، محلول پاشی روی و آهن با افزایش محتوای کلروفیل برگ، تعداد دانه در کاپیتول و تعداد دانه در بوته موجب بهبود معنی‌دار محصول دانه گلرنگ (رقم سینا) در فواصل مختلف آبیاری شدند (Ghassemi Golezani et al., 2022).

پژوهش‌های اندکی در ارتباط با اثر کاربرد همزمان محلول-پاشی عناصر کم‌مصرف آهن و روی بر رشد ذرت علوفه‌ای در مزرعه انجام شده است بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سولفات آهن و روی و اثر توأم آن‌ها در مراحل مختلف رشد بر ویژگی‌های رشد رویشی و عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای (هیبرید ۷۰۴ سینگل کراس) در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای در نزدیکی روستای تخی محله واقع در ۵ کیلومتری شمال غربی شهر گرگان با مختصات جغرافیایی ($52^{\circ} 51' E$) ($36^{\circ} 51' N$) در تابستان ۱۴۰۰ اجرا شد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از اجرای آزمایش از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک و از نقاط مختلف زمین نمونه‌برداری به‌صورت مرکب انجام شد. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتری، واکنش، و رسانایی الکتریکی در عصاره اشباع خاک، کربن آلی به روش والکی-بلک، کربنات کلسیم معادل با تیتراسیون، نیتروژن کل با روش کج‌لدال، فسفر قابل دسترس با روش اولسن، پتاسیم قابل دسترس با روش استات آمونیوم و آهن و روی قابل دسترس با DTPA اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). همچنین ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده از جمله واکنش آب (pH)، رسانایی الکتریکی، غلظت کل مواد محلول، غلظت کل ذرات معلق، سختی کل، غلظت بی‌کربنات، سولفات،

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش پیش از کاشت
Table 1. Some physical and chemical properties of the studied soil before planting

واکنش pH	رسانایی الکتریکی عصاره اشباع Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus (mg kg ⁻¹)	روی قابل دسترس Available zinc (mg kg ⁻¹)	آهن قابل دسترس Available iron (mg kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	معادل کربنات کلسیم Calcium carbonate equivalent (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
7.7	4.01	554	12.5	1.84	7.96	0.1	11.6	1.3	26	58	16	لوم سیلت Silt loam

جدول ۲. ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده
Table 2. Chemical properties of the used irrigation water

سختی کل Total hardness (meq L ⁻¹)	نسبت جذب سدیم Sodium adsorption ratio (mmol L ⁻¹) ^{0.5}	مواد محلول کل Total dissolved solids (mg L ⁻¹)	ذرات معلق Total suspended solids (mg L ⁻¹)	کلسیم + مگنیزیم Calcium + Magnesium (meq L ⁻¹)	کلسیم Calcium (meq L ⁻¹)	مگنیزیم Magnesium (meq L ⁻¹)	سدیم Sodium (meq L ⁻¹)	بی‌کربنات Bicarbonate (meq L ⁻¹)	کلرید Chloride (meq L ⁻¹)	سولفات Sulfate (meq L ⁻¹)	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	واکنش pH
1060	4.18	2272	26	21.2	14.1	7.1	13.6	17	6.1	10.2	3.5	7.66

شاخص نه تنها بر رشد گیاه مؤثرند، بلکه درجه تناسب آب را از نظر آبیاری و تأثیر بر نفوذپذیری خاک مشخص می‌سازند. رسانایی الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) در این پژوهش به ترتیب برابر با $3/5 \text{ dS/m}$ و $4/18 \text{ (mmol/L)}^{0.5}$ بود.

وزن تازه و خشک شاخساره

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول پاشی آهن و روی در سطح احتمال پنج درصد بر وزن تازه و در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک شاخساره گیاه معنی‌دار شدند (جدول ۳). بیش‌ترین وزن تازه (با میانگین 6892 گرم در مترمربع) در اثر محلول پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به دست آمد هرچند با محلول پاشی آهن در مرحله ۴ و ۸ برگی، محلول پاشی آهن و روی در مرحله ۸ برگی و محلول پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی تفاوت چندانی نداشت. کم‌ترین مقدار وزن تازه با میانگین 4872 گرم در مترمربع در تیمار شاهد (بدون محلول پاشی) مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بیش‌ترین وزن خشک (با میانگین $1774/40 \text{ گرم}$ در مترمربع) از محلول پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به دست آمد. کم‌ترین وزن تازه (با میانگین 1218 گرم در مترمربع) در تیمار شاهد (بدون محلول پاشی) به دست آمد (جدول ۴). Whitty and Chambliss (2005) مشکل اساسی تغذیه‌ای ذرت، سورگوم، غلات دانه ریز و بادام زمینی در نواحی مرکزی و شمال فلوریدا در ایالات متحده را کمبود عناصر کم‌مصرف آهن، روی، منگنز و مس دانسته که ناشی از وجود خاک‌های شنی با pH زیاد و کمبود ماده آلی در شرایط بدون مصرف کودهای کم‌مصرف در گذشته است. آن‌ها عنوان کردند محلول پاشی این عناصر به میزان سه کیلوگرم در هکتار در دفعات متعدد می‌تواند به رفع کمبود عناصر مزبور کمک کند. کاربرد عناصر ریزمغذی به صورت محلول پاشی برگی به دلیل جذب سریع‌تر عناصر در اثر تماس مستقیم با سطح برگ و نبود واکنش و تثبیت عناصر در خاک نسبت به روش کاربرد خاکی از تأثیرگذاری بیش‌تری بر عملکرد گیاهان زراعی

دیگری در عصر روی گیاهان پاشیده شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و بر اساس نیاز آبی گیاه، به صورت یکسان و تقریباً هر ۱۵ روز یکبار انجام گرفت. مبارزه و کنترل علف‌های هرز مزرعه به منظور جلوگیری از تداخل علف‌کش‌ها به صورت وجین دستی در مراحل مختلف رشد و نمو انجام گرفت.

برای تعیین زمان برداشت علوفه از مکان قرار گرفتن خط شیری دانه به عنوان شاخص استفاده شد و برداشت زمانی انجام گرفت که خط شیری بین یک دوم و دو سوم دانه بود (Bergland and Denisa, 1999; Mortvert et al., 1972). سه ماه پس از کاشت، برای اندازه‌گیری صفات، از ۴ ردیف موجود در هر کرت دو ردیف کناری و هم‌چنین ۵/۰ متر از ابتدا و انتهای دو ردیف وسط به عنوان حاشیه حذف شدند و فضای باقی‌مانده جامعه آماری را تشکیل داد. به منظور اندازه‌گیری صفات مورد بررسی، ۵ بوته در دو ردیف وسط به طور تصادفی علامت‌گذاری شد و صفات مختلف بر روی این ۵ بوته بررسی و ثبت شد. سپس ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد شامل وزن تازه و وزن خشک شاخساره، ارتفاع بوته، طول بلال، قطر بلال، قطر ساقه با کولیس، تعداد برگ در مترمربع، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه تعیین شد. تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD (در سطح احتمال ۵ درصد) انجام شد.

نتایج و بحث

با توجه به داده‌های جدول (۱)، کلاس بافت خاک لوم سیلت بود. غلظت قابل دسترس عناصر کم‌مصرف آهن و روی به ترتیب برابر با $7/96$ (حد بحرانی 10) و $1/84$ (حد بحرانی 2) میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که بر اساس این نتایج در حد کمبود قرار داشت (Javadi, 2020).

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۲)، واکنش آب آبیاری قلیایی ($7/66$) بود. مهم‌ترین معیارهای کمی در طبقه‌بندی آب برای کشاورزی، شوری و مقدار سدیم در آن است. زیرا این دو

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های رشد رویشی ذرت علوفه‌ای

Table 3. Analysis of variance of the effect of Fe and Zn foliar spray treatment on vegetative growth parameters of forage corn

(Mean squares) مربعات میانگین								منبع تغییرات Source of variation
قطر بلال Cob diameter	طول بلال Cob length	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ Number of leaves	ارتفاع گیاه Plant height	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	وزن تازه شاخساره Shoot fresh weight	درجه آزادی df	
0.900 ^{ns}	0.933 ^{ns}	0.0030 ^{ns}	4.4 ^{ns}	20.6 ^{ns}	4817 ^{ns}	258380 ^{ns}	2	بلوک Block
5.61 ^{ns}	4.30 ^{**}	0.0089 [*]	15.7 ^{ns}	231.7 ^{**}	72724 ^{**}	787998 [*]	9	تیمار Treatment
4.93	0.48	0.0033	6.21	5.70	7019	226505	18	خطا Error
9.49	3.07	2.62	3.36	1.37	5.59	7.91		ضریب تغییرات CV (%)

ns, * and ** indicate non-significant, and significant effect at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

ns, * and ** indicate non-significant, and significant effect at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

واکنش برخی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد ذرت دانه‌ای به کاربرد خاک مصرف و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف آهن، روی و کود کامل میکرو نتیجه‌گیری کردند که محلول‌پاشی کود کامل میکرو در مرحله ساقه رفتن + مرحله ظهور بلال به‌طور معنی‌داری موجب افزایش وزن خشک کل می‌شود. Soleimani et al. (2010) مشاهده نمودند که محلول‌پاشی عناصر روی و آهن اثر معنی‌داری بر وزن خشک کل در مترمربع ذرت علوفه‌ای داشت.

ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر ارتفاع بوته معنی‌دار ($p < 0.01$) شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار ارتفاع (میانگین ۱۹۰ سانتی‌متر) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به دست آمد. کم‌ترین مقدار ارتفاع (میانگین ۱۶۱ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) به‌دست آمد که با محلول‌پاشی روی در مرحله ۸ برگی (با ارتفاع ۱۶۳/۶۷ سانتی‌متر) تفاوت

برخوردار است. بنابراین محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در شرایط خاک‌های ایران در مقایسه با کاربرد آن‌ها در خاک به‌دلیل تأمین سریع نیاز گیاه، آسان‌تر بودن اجرای آن، کاهش سمیت ناشی از تجمع این عناصر در خاک و جلوگیری از تثبیت، مناسب‌تر خواهد بود (Mirzavand et al., 2020). در همین رابطه Soleimani et al. (2010) اثر جذب برگ‌ی عناصر میکرو بر رشد و عملکرد ذرت علوفه‌ای گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف به ویژه محلول‌پاشی آهن و روی نقش بسزایی بر افزایش عملکرد ذرت علوفه‌ای دارد. در مورد محلول‌پاشی عناصر غذایی آهن و روی، گیاهانی که این عناصر را همزمان دریافت نموده‌اند، بیش‌ترین وزن خشک را داشتند که به دلیل اثر مثبت عنصر روی در بیوسنتز اکسین و اثرگذاری عنصر آهن در افزایش فتوسنتز و رشد مورد انتظار بود (Fayazi et al., 2022). افزایش وزن خشک کل می‌تواند به‌علت افزایش فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت کلروفیل و فعالیت فسفوانول پیرووات کربوکسیلاز و ریبولوز دی‌فسفات کربوکسیلاز در فتوسیستم‌های ۱ و ۲ در صورت فراهم شدن آهن باشد (Karimi et al., 2021). (Ghaffari Malaveri et al. (2012 با ارزیابی

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای محلول پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های رشد رویشی ذرت علوفه‌ای

Table 4. Mean comparison of the effect of Fe and Zn foliar spray treatment on vegetative growth parameters of forage corn

تیمارها	وزن تازه	وزن خشک	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	طول بلال
	شاخساره	شاخساره	(cm)	(cm)	(cm)
	Shoot fresh weight (g m ⁻²)	Shoot dry weight (g m ⁻²)	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Cob length (cm)
بدون محلول پاشی (شاهد) Blank	4872 ^c	1218 ^e	161 ^d	2.13 ^d	21.3 ^d
محلول پاشی روی Zinc foliar spraying	5824 ^b	1318 ^e	170 ^c	2.23 ^{abc}	22.7 ^{bc}
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	5784 ^b	1440 ^d	172 ^c	2.26 ^{ab}	23.7 ^{ab}
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6156 ^{ab}	1500 ^{bc}	172 ^c	2.20 ^{bcd}	24.7 ^a
محلول پاشی روی Zinc foliar spraying	5912 ^b	1450 ^d	164 ^d	2.16 ^{cd}	22.3 ^{cd}
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	6040 ^b	1544 ^{bc}	171 ^c	2.13 ^d	21.7 ^{cd}
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6208 ^{ab}	1592 ^{bc}	169 ^c	2.23 ^{ab}	22.7 ^{bc}
محلول پاشی روی Iron foliar spraying	6068 ^b	1505 ^b	183 ^b	2.23 ^{abc}	22.3 ^{cd}
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	6372 ^{ab}	1620 ^b	180 ^b	2.20 ^{bcd}	21.7 ^{cd}
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	6892 ^a	1774.40 ^a	190 ^a	2.30 ^a	24.7 ^a

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significant (LSD, $p < 0.05$).

در ساخت ماده اولیه کلروفیل و روی در افزایش ارتفاع (Varnaseri et al., 2017) می‌توان انتظار داشت که با محلول-پاشی آهن و روی، ارتفاع گیاه افزایش یابد. افزایش ارتفاع به واسطه محلول پاشی عناصر ریز مغذی توسط پژوهشگران دیگر نیز تایید شده است (Ghazvineh and Yousefi, 2012). Bagheri Dehabadi et al. (2017) با بررسی تأثیر میکوریزا و محلول پاشی آهن و روی بر صفات کمی و کیفی سورگوم

معنی‌دار نداشت (جدول ۴). افزایش ارتفاع در اثر کاربرد این دو نوع کود مربوط به نقش این عناصر در فتوسنتز است که باعث افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم کننده‌های رشد می‌شوند. در اثر افزایش کلروفیل، فتوسنتز افزایش یافته، مواد فتوسنتزی بیش‌تری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها وارد شده و در نهایت، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Malakoti and Sepehr, 2004). هم‌چنین، باتوجه به نقش آهن

پریدگی و ساخته نشدن کلروفیل در برگ‌های جوان و کاهش تنظیم‌کننده‌های رشد می‌شود. استفاده از کود آهن موجب افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها و افزایش قطر ساقه می‌شود (Nabavi Moghadam et al., 2013). بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت آهن می‌تواند در فتوسنتز و عملکرد فتوسیستم‌های نوری در افزایش شاخص‌های رشد مانند قطر ساقه مؤثر باشد (Malakoti and Sepehr, 2004). قطر ساقه معیاری از رشد رویشی گیاه ذرت است و در استحکام و مقاومت گیاه در برابر عوامل نامساعد محیطی و همچنین انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه نقش مهمی دارد (Yassen et al., 2010). (Nabavi Moghadam et al., 2013) با بررسی تأثیر کاربرد مقادیر مختلف آهن و منگنز بر صفات کمی و کیفی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ دریافتند که اثر کودهای آهن بر قطر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که با افزایش کود آهن، قطر ساقه نسبت به شاهد افزایش یافته است، هرچند که از لحاظ آماری تفاوتی بین سطوح ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم دیده نشد. در همین راستا (Yari and Shams, 2018) با بررسی اثر کودهای زیستی و عناصر کم‌مصرف بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار قطر ساقه (با میانگین ۳/۵ سانتی‌متر) مربوط به مصرف ازتوبارور همراه با روی و کم‌ترین مقدار آن (با میانگین ۲/۵ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود.

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد برگ معنی‌دار نشد (جدول ۳). تعداد کل برگ‌های هر بوته ذرت در پایان فصل رشد به وسیله تعداد آغازه‌های برگ موجود در جنین و تعداد آغازه‌های تشکیل‌شده تا مرحله آغازش گل تاجی تعیین می‌شود. تعداد برگ تحت تأثیر ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرد. تعداد برگ‌ها در زمان تشکیل سلول‌های مولد سنبله مشخص شده و تحت تأثیر دما و طول مدت روشنایی قرار می‌گیرد. در مورد تأثیر عناصر ریزمغذی بر تعداد

علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) گزارش کردند که در بین تیمارهای مورد بررسی، تیمار تلفیقی کاربرد توأم میکوریزا و محلول‌پاشی با غلظت ۸ در هزار آهن و ۶ در هزار روی سبب بیش‌ترین ارتفاع بوته (۲/۳۶ متر) شد. (Khalafi et al., 2022) با بررسی اثر برگ‌پاشی آهن و روی از منابع سولفاتی و کلاتی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد ذرت (سینگل کراس ۷۰۱) در شهرستان دزفول گزارش کردند بیش‌ترین ارتفاع ذرت (۲۶۳ سانتی‌متر) در تیمار توأم آهن و روی سولفاتی به‌دست آمد هر چند با تیمار توأم آهن و روی کلاته (۲۶۱ سانتی‌متر) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشت و نسبت به تیمار شاهد افزایش ۱۳ درصدی را نشان داد. (Yousefi et al., 2023) با بررسی محلول‌پاشی آهن (۰ و ۰/۴ درصد) و روی (۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) در مراحل گل‌دهی و تشکیل غلاف بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گزارش کردند بیش‌ترین ارتفاع بوته (۲۹ سانتی‌متر) در تیمار ۰/۴ درصد روی بدون مصرف آهن به‌دست آمد. این درحالی است که در اثر محلول‌پاشی آهن، ارتفاع بوته تا تیمار ۰/۳ درصد روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر قطر ساقه معنی‌دار ($p < 0.05$) شدند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار قطر ساقه (با میانگین ۲/۳ سانتی‌متر) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگی به‌دست آمد. هر چند این تیمار با محلول‌پاشی روی در مرحله ۴ و ۸ برگی، محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی، محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار قطر ساقه (با میانگین ۲/۱۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) به‌دست آمد (جدول ۴). با توجه به نیاز گیاهان به افزودن کودهای آهن و روی، اگر میزان این عناصر به‌ویژه آهن کم‌تر از حد بهینه باشد، موجب رنگ-

پاشی آهن، روی، منگنز و مس بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای گزارش کردند که تیمارهای کودی مورد استفاده تأثیر معنی‌داری بر طول بلال داشت به‌طوری‌که بیش‌ترین طول بلال در تیمار روی + آهن + مس + منگنز (۳۷/۰۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین آن (۲۸/۸۵ سانتی‌متر) در تیمار بدون محلول‌پاشی به دست آمد. در همین راستا Yari and Shams (2018) با بررسی اثر کودهای زیستی و عناصر کم‌مصرف بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش کردند که بیش‌ترین طول بلال (۲۰/۹۵ سانتی‌متر) مربوط به محلول‌پاشی عنصر روی و کم‌ترین مقدار آن (۱۸/۱۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود.

قطر بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر قطر بلال معنی‌دار نشد (جدول ۳).

تعداد ردیف دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد ردیف دانه معنی‌دار ($p < 0/05$) شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین تعداد ردیف دانه (با میانگین ۱۷/۳۳) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگی به‌دست آمد هرچند با تیمارهای محلول‌پاشی آهن و محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی و محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۸ برگی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کم‌ترین تعداد ردیف دانه (با میانگین ۱۴/۳۳) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) مشاهده شد (جدول ۶). تعداد ردیف دانه در بلال به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد ذرت محسوب می‌شود و معمولاً تعداد ردیف‌ها زوج است (Bozorgmehr and Nastari Nasrabadi, 2014). به‌طور کلی این جزء از عملکرد کم‌تر تحت شرایط محیطی قرار می‌گیرد و به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌گردد (Soleimani et al., 2010). ولی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد

برگ، نتایج متفاوتی وجود دارد، چرا که برخی دانشمندان بر این باورند که این عناصر بر تعداد برگ تأثیری ندارند و تعداد برگ، بیش‌تر تحت تأثیر تراکم گیاه قرار می‌گیرد اما در برخی دیگر معتقدند که این عناصر در تعداد برگ نقش مثبتی ایفا می‌کنند (Mirzavand et al., 2020). Karimi et al. (2012) با بررسی تأثیر کود زیستی فسفات بارور-۲ و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای ۷۰۴ گزارش کردند اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار نبود. هم‌چنین Javadi (2020) با بررسی تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان گزارش کردند اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر تعداد برگ در شروع غنچه‌دهی معنی‌دار نبود که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

طول بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر طول بلال معنی‌دار ($p < 0/01$) شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار طول بلال (با میانگین ۲۴/۷ سانتی‌متر) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگی به‌دست آمد که با محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی (۲۴/۷ سانتی‌متر) تفاوت معناداری آماری نداشت. هم‌چنین کم‌ترین مقدار طول بلال (با میانگین ۲۱/۳ سانتی‌متر) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) مشاهده شد (جدول ۴). طول بلال یکی از فاکتورهای مهم تأثیرگذار بر عملکرد ذرت است. Potarzycki and Grzebisz (2009) تأثیر محلول‌پاشی بوته‌های ذرت با غلظت‌های مختلف کود روی را مورد بررسی قرار داده و مشاهده نمودند که کاربرد کود روی طول بلال‌های ذرت را به میزان ۹/۴ درصد افزایش داد. هم‌چنین Ghazvineh and Yousefi (2012) افزایش طول بلال‌های ذرت را با کاربرد کود آهن گزارش نمودند. این پژوهش‌گران مشاهده نمودند که کاربرد کود آهن میزان ۱۳ درصد بر طول بلال‌های ذرت افزود. Rasai Far et al. (2019) در پژوهشی تحت عنوان اثر محلول-

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای محلول‌پاشی آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای
 Table 5. Analysis of variance of the effect of Fe and Zn foliar spray treatment on the yield and yield components of forage corn

میانگین مربعات (Mean squares)						منبع تغییرات Source of variation
جذب روی ساخساره Shoot zinc uptake	جذب آهن شاخساره Shoot ironuptake	جذب آهن ۱۰۰۰ دانه 1000 grains weight	تعداد دانه در بلال Number of seeds per cob	تعداد دانه در ردیف Number of seeds per row	تعداد ردیف دانه در بلال Number of seed rows per cob	
df	درجه آزادی	df	درجه آزادی	df	درجه آزادی	df
1.68 ^{ns}	0.840 ^{ns}	104 ^{ns}	2467 ^{ns}	0.70 ^{ns}	0.833 ^{ns}	2 بلوک Block
27.5 ^{**}	158.7 ^{**}	1085 ^{**}	16773 [*]	12.50 [*]	2.725 [*]	9 تیمار Treatment
0.25	2.63	181	5266	4.848	1.092	18 خطا Error
10.20	8.85	5.03	10.08	4.82	6.64	ضریب تغییرات CV (%)

ns, * and ** indicate non-significant, and significant effect at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.
 ns, * and ** indicate non-significant, and significant effect at $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

Table 6. Mean comparison of the effect of Fe and Zn foliar spray treatment on the yield and yield components of forage com

تیمارها	تعداد ردیف دانه در بالال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در بالال	وزن ۱۰۰۰ دانه	جذب آهن شاخساره	جذب روی شاخساره
	Number of seed rows per cob	Number of seeds per row	Number of seeds per cob	1000 grains weight (g)	Shoots iron uptake (g m ⁻²)	Shoots zinc uptake (g m ⁻²)
بدون محلول پاشی (شاهد) Blank	14.3 ^d	44.3 ^c	621 ^c	248 ^d	7.96 ^e	0.91 ^h
محلول پاشی روی Zinc foliar spraying	15.3 ^{bcd}	45.0 ^{bc}	691 ^c	262 ^{bcd}	9.53 ^{de}	4.19 ^{de}
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	15.3 ^{bcd}	44.3 ^c	681 ^c	250 ^{cd}	16.51 ^c	2.12 ^g
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	17.0 ^{ab}	48.3 ^{ab}	822 ^{ab}	282 ^b	20.61 ^b	6.50 ^c
محلول پاشی روی Zinc foliar spraying	15.3 ^{bcd}	46.0 ^{bc}	683 ^c	261 ^{bcd}	12.20 ^d	3.96 ^{def}
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	14.7 ^{cd}	44.7 ^{bc}	655 ^c	250 ^{cd}	20.62 ^b	3.28 ^f
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	16.3 ^{abc}	45.3 ^{bc}	741 ^{bc}	272 ^{bc}	20.50 ^b	4.76 ^d
محلول پاشی روی Iron foliar spraying	15.7 ^{bcd}	44.3 ^c	721 ^{bc}	271 ^{bcd}	17.02 ^c	10.66 ^a
محلول پاشی آهن Iron foliar spraying	16.0 ^{bcd}	44.7 ^{bc}	717 ^{bc}	263 ^{bcd}	28.37 ^a	3.58 ^{ef}
محلول پاشی آهن و روی Iron and zinc foliar spraying	17.3 ^a	50.0 ^a	867 ^a	312 ^a	29.84 ^a	9.04 ^b

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی داری بر اساس روش LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significant (LSD, $p < 0.05$).

محلول‌پاشی، ۰/۴ درصد) و ۴ سطح کلات روی (بدون محلول-پاشی، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان دادند که بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف (با میانگین ۳/۸۷) مربوط به تیمار ۰/۴ درصد محلول‌پاشی آهن و ۰/۳ درصد روی بود. Khalafi et al. (2022) گزارش کردند که بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف ذرت (با میانگین ۴۳ دانه) در اثر محلول‌پاشی توام آهن و روی کلاته با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌دست آمد هرچند نسبت به محلول‌پاشی توام آهن و روی سولفاته با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر (با میانگین ۴۱ دانه) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار آن (با میانگین ۳۰ دانه) مربوط به تیمار شاهد بود. یافته‌های آن‌ها نیز نشان داد بین محلول‌پاشی کلات آهن با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر و محلول‌پاشی کلات و سولفات روی با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در واقع آنان این‌گونه بیان کردند بین دو منبع سولفاتی و کلاتی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت و محلول‌پاشی روی به‌تنهایی مؤثرتر از محلول‌پاشی آهن به‌تنهایی بود.

تعداد دانه در بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد دانه در بلال معنی‌دار ($p < 0/05$) شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در بلال (با میانگین ۸۶۷) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل ۴ و ۸ برگ به‌دست آمد هرچند با محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگ (با میانگین ۸۲۲) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد دانه در بلال (با میانگین ۶۲۱) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) مشاهده شد (جدول ۶). تعداد دانه در بلال فاکتوری است که وابسته به فاکتورهای تعداد دانه در ردیف، تعداد ردیف دانه و درصد پوکی در بلال است به‌طوری‌که از حاصل‌ضرب تعداد ردیف دانه در تعداد دانه در هر ردیف، تعداد دانه در بلال به‌دست می‌آید (Thalooth et al., 2006). عناصر کم‌مصرف آهن و روی نقش مهمی در رشد و

ردیف در دانه مؤثر است. در همین راستا Goudarzi et al. (2013) به‌منظور بررسی آثار غلظت‌های مختلف کم‌مصرف آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays L*) سینگل کراس ۲۶۰، با کاربرد محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی در دو مرحله هشت برگی و ظهور گل تاجی نشان دادند که بیش‌ترین تعداد ردیف در بلال (۲۴ عدد) در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن ۴ در هزار و محلول‌پاشی سولفات روی ۸ در هزار به‌دست آمد.

تعداد دانه در ردیف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر تعداد دانه در ردیف معنی‌دار ($p < 0/05$) شدند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف (با میانگین ۵۰) در اثر محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ و ۸ برگ به‌دست آمد هر چند با محلول‌پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگ (با میانگین ۴۸/۳۳) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد دانه در ردیف (با میانگین ۴۴/۳) در تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) به‌دست آمد (جدول ۶). این جزء از عملکرد به شرایط محیطی بسیار حساس بوده و به شدت تحت تأثیر رقابت و عوامل محیطی قرار می‌گیرد. (Taher et al. (2008) با بررسی اثر روش‌های مختلف مصرف عناصر کم‌مصرف بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مشابه را گزارش نکردند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد. Goudarzi et al. (2013) با بررسی آثار غلظت‌های مختلف عناصر کم‌مصرف آهن و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays L.*) سینگل کراس ۲۶۰ گزارش کردند که بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف بلال (۴۶/۷ عدد) در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن ۴ در هزار و سولفات روی ۴ در هزار به‌دست آمد که نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی (۳۴/۲ عدد) بیش از ۹۱ درصد برتری داشت. Yousefi et al. (2023) با ارزیابی اثر کاربرد دو سطح کلات آهن (بدون

دلیل طول بلال بیش تر، مکان بیش تری برای افزایش تعداد دانه فراهم می شود (Yosefi et al., 2023).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که اثر تیمارهای محلول پاشی بر وزن هزار دانه معنی دار ($p < 0.01$) شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش ترین وزن هزار دانه (با میانگین ۳۱۲ گرم) در اثر محلول پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به دست آمد (جدول ۶). هم چنین محلول پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به ترتیب نسبت به محلول پاشی آهن و روی در مرحله ۸ برگی و محلول پاشی آهن و روی در مرحله ۴ برگی افزایشی برابر با ۱۲/۷ و ۹/۵ درصد را نشان داد (جدول ۶). نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که محلول پاشی توأم آهن و روی اثر بیش تری بر وزن هزار دانه در مقایسه با محلول پاشی هر یک از عناصر آهن و روی به تنهایی دارد (جدول ۶). هم چنین کم ترین وزن هزار دانه (با میانگین ۲۴۸ گرم) در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۶). دوره پرشدن دانه یکی از مراحل حساس به کمبود عناصر غذایی است که اگر کمبودی از لحاظ عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف وجود داشته باشد، دانه های تشکیل شده کوچک می ماند و وزن هزار دانه کاهش پیدا می کند (Begland and Denisa, 1999). محلول پاشی روشی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و خطرهای زیست محیطی آن ها است. با این روش تغذیه می توان عناصر را در سریع ترین زمان در اختیار گیاه قرار داد تا عناصر غذایی به طور مستقیم در اختیار شاخه، برگ یا میوه قرار گیرند. بهره گیری از عناصر غذایی همچون آهن و روی با توجه به اثرگذاری بر ساخت کلروفیل و افزایش مقدار هورمون های تنظیم کننده های رشد، موجب افزایش فتوسنتز برگ های جوان شده و انتقال مواد غذایی به مکان های ذخیره ای مانند پانیکول ها را افزایش داده و در نهایت موجب افزایش وزن دانه در بوته می گردد (Fayazi et al., 2022). در همین رابطه (Abdolslam et al., 1994) گزارش

عملکرد گیاهان بر عهده دارند. مصرف برگی این عناصر به دلیل نبود تثبیت در خاک، بیش از مصرف خاکی یا تیمار بذرها با عناصر فوق باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد محصول زراعی می شود (Afshani et al., 2015). هم چنین، مرور منابع متعدد نشان می دهد که محلول پاشی عناصر کم مصرف در دو مرحله شش برگی و ظهور گل تاجی بیش از محلول پاشی در هر یک از این دو مرحله بر بهبود صفات کمی و کیفی گیاه علوفه ای مؤثر است (Bergland and Denisa, 1999). در همین راستا (Yousefpour et al., 2018) با بررسی تأثیر محلول پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت گزارش کردند محلول پاشی آهن و روی در یک مرحله از نظر تأثیر بر تعدادی از صفات نتوانست کارایی مصرف خاکی را داشته باشد ولی برای افزایش صفات، مشابه با مصرف خاکی کودهای آهن و روی لازم است در سه مرحله و حداقل در دو مرحله رشد رویشی و آغاز گلدهی، محلول پاشی آهن و روی انجام شود. آن ها هم چنین گزارش کردند بیش ترین تعداد دانه در بلال (با میانگین ۲۹۰) از تیمار کاربرد توأم آهن و روی با غلظت ۵ در هزار به دست آمد. پژوهشگران دیگری نیز گزارش نموده اند که محلول پاشی کودها تنها در یک مرحله نمی تواند از کارایی کافی در افزایش رشد گیاهان برخوردار باشد (Eivand et al., 2014). این نتایج نشان می دهد که مرحله رشد رویشی ضروری ترین زمان برای پاسخ به کودهای کم مصرف آهن و روی از نظر رشد بوته و بلال به شمار می رود، اما برای تکمیل اثر محلول پاشی مرحله رشد رویشی، نیاز به محلول پاشی در آغاز مرحله رشد زایشی نیز است (Zare et al., 2013). (Zare et al., 2013) مشاهده نمودند که کاربرد کود آهن منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت شد. بهبود صفات رشدی گیاه در نتیجه کاربرد عناصر کم مصرف (از جمله آهن و روی) ممکن است به دلیل افزایش شدت فتوسنتز و فعالیت هایی باشد که منجر به افزایش تقسیم سلولی و طول شدن آن ها می شود. این طول شدن سلول ها احتمالاً می تواند منجر به افزایش طول غلاف و در نهایت به

اجزای مهم عملکرد دانه ذرت) می‌شود.

جذب آهن و روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای محلول‌پاشی بر جذب آهن و روی شاخساره معنی‌دار ($p < 0/01$) شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار جذب آهن شاخساره (با میانگین ۲۹/۸۴ گرم بر مترمربع) در اثر محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌دست آمد هر چند با تیمار محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی (با میانگین ۲۸/۳۷ گرم بر مترمربع) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). هم‌چنین محلول‌پاشی آهن در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌ترتیب نسبت به محلول‌پاشی آهن در مراحل ۸ برگی و ۴ برگی افزایشی برابر ۲۷/۳ و ۴۱/۸ درصد را نشان داد (جدول ۶). کم‌ترین مقدار جذب آهن شاخساره (با میانگین ۷/۹۶ گرم بر مترمربع) از تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی) به‌دست آمد (جدول ۶). هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار جذب روی شاخساره (با میانگین ۱۰/۶۶ گرم بر مترمربع) در اثر محلول‌پاشی روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی به‌دست آمد و نسبت به محلول‌پاشی روی در مراحل ۸ برگی و ۴ برگی به‌ترتیب با مقادیر ۳/۹۶ و ۴/۱۹ گرم بر مترمربع افزایشی برابر ۶۲/۹ و ۶۰/۷ درصد داشت (جدول ۶). محلول‌پاشی برگی عناصر کم‌مصرف بهتر از استفاده آن‌ها به‌صورت خاکی است، زیرا باعث واکنش سریع، اثربخشی و کاهش نشانه‌های کمبود عناصر کم‌مصرف می‌شود. استفاده از عناصر کم‌مصرف از راه شاخ و برگ می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ برابر کارآمدتر از کاربرد خاکی باشد (Zaman and Schumann, 2014). Yousefpour et al. (2018) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت شیرین نمودند که بیش‌ترین غلظت عنصر روی در دانه مربوط به تیمار کاربرد روی با غلظت ۵ هزار بود. در این تیمار غلظت روی ۲۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و کم‌ترین غلظت‌های روی (۱۴/۸ و ۱۴/۶ میلی‌گرم

کردند مصرف برگی عناصر آهن و روی بهتر از مصرف خاکی و تیمار بذور می‌تواند در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه مؤثر واقع شود. محتوای کل کربوهیدرات، نشاسته، ایندول استیک اسید (IAA)، کلروفیل و پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری با مصرف روی و آهن افزایش می‌یابد که این عوامل در افزایش وزن دانه بلال مؤثرند (Rajaie and Ziaeyan, 2009). در همین راستا Yousefpour et al. (2018) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ذرت گزارش کردند که بیش‌ترین وزن صد دانه (با میانگین ۲۴/۹۲ گرم) در اثر کاربرد جداگانه آهن و روی با غلظت ۲/۵ در هزار به‌دست آمد. (Khalafi et al. (2022) با بررسی اثر برگ‌پاشی آهن و روی از منابع سولفاتی و کلاتی بر ویژگی‌های کیفی و عملکرد ذرت (سینگل کراس ۷۰۱) در شهرستان دزفول گزارش کردند بیش‌ترین وزن هزار دانه (با میانگین ۳۶۷ گرم) در تیمار توأم آهن و روی کلاتی به‌دست آمد هر چند با محلول‌پاشی آهن و روی سولفاتی (با میانگین ۳۶۲ گرم) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و نسبت به تیمار شاهد افزایش ۷ درصدی را نشان داد. محتوای کل کربوهیدرات، نشاسته، ایندول استیک اسید، کلروفیل و پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری با مصرف آهن و روی افزایش می‌یابد که این عوامل در افزایش وزن دانه بلال مؤثر است (Mahalleh and Roshdi, 2008). Yousefi et al. (2023) با بررسی اثر محلول‌پاشی دو غلظت کلات آهن (۰ و ۰/۴ درصد) و پنج غلظت کلات روی (۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گزارش کردند، بیش‌ترین وزن هزار دانه با میانگین ۴۴/۵ گرم در تیمار ۰/۴ درصد و بدون محلول‌پاشی آهن به‌دست آمد. تغذیه بهینه با عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی از راه تأثیر بر ساخت اکسین باعث رشد دانه‌ها در بلال شده و با بهبود فراهمی این عناصر، جذب عناصر پر مصرف نیز به‌صورت بهینه انجام می‌گیرد. در نتیجه مواد آلی زیادی در بذر تجمع یافته و باعث سنگینی و بزرگی دانه‌های ذرت و افزایش وزن هزار دانه (از

داد که اثر تیمارهای مورد بررسی بر تمامی صفات رشد رویشی و اجزای عملکرد (به جز قطر بلال، تعداد برگ) معنی دار شدند. بیشترین ارتفاع، وزن خشک و وزن هزار دانه مربوط به تیمار محلول پاشی آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی بود. نتایج نشان داد که محلول پاشی توأم آهن و روی اثر بیشتری بر صفات مورد بررسی در مقایسه با محلول پاشی هر یک از عناصر آهن و روی به تنهایی داشت. با توجه به کمبود عناصر آهن و روی در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک، محلول-پاشی یک روش کاربردی به منظور افزایش سطح عناصر کم مصرف در گیاهان است. بنابراین برای داشتن ذرت علوفه ای با ویژگی های کمی و کیفی خوب، محلول پاشی توأم آهن و روی در هر دو مرحله ۴ و ۸ برگی پیشنهاد می شود.

تشکر و سپاسگزاری

دیدن وسیله از معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان برای حمایت مالی این پایان-نامه تشکر و قدردانی می گردد.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ گونه تضاد منافی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

در کیلوگرم) به ترتیب در تیمارهای کاربرد آهن با غلظت ۲/۵ در هزار و غلظت ۵ در هزار به دست آمد. این پژوهشگران هم چنین گزارش کردند محلول پاشی در سه مرحله رشد رویشی، ظهور گل آذین نر و پرشدن دانه، غلظت روی در دانه های ذرت را ۴۶ درصد افزایش داد. (Yousefi et al. (2023 با بررسی اثر کاربرد دو سطح کلات آهن (بدون محلول پاشی، ۰/۴ درصد) و ۴ سطح کلات روی (بدون محلول پاشی، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) نشان دادند محلول پاشی روی و آهن و آثار برهمکنش این دو عامل بر میزان روی شاخساره در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود. در شرایط بدون محلول پاشی آهن، بیشترین مقدار روی (۹۹/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در اثر تیمار ۰/۴ درصد محلول پاشی روی به دست آمد این در حالی است که در شرایط محلول پاشی آهن بیشترین مقدار روی (۹۳/۷ میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمار ۰/۳ درصد محلول پاشی روی مشاهده شد.

نتیجه گیری

در این پژوهش عناصر کم مصرف آهن و روی در مراحل ۴ برگی، ۸ برگی و ۴ و ۸ برگی روی گیاه ذرت علوفه ای به صورت محلول پاشی به کار برده شد. نتایج به دست آمده نشان

منابع مورد استفاده

1. Abdolsalam, A., Ibrahim, A.A.H., ElGarhi, A.H., 1994. Comparative of application or foliar spray or seed coating to maize on a sand soil. Ann. Agr. Sci. Moshtohor. 32, 660–673.
2. Afshani, S., Amirnia, R., Hadi, H., 2015. Investigating the effect of iron and zinc foliar application on the yield and yield components of fall rapeseed (*Brassica napus* L.) under low irrigation conditions. Iranian J. Field Crop Res. 13(1), 43–52. (In Persian with English abstract)
3. APHA, 1992. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. 18th Edition, APHA, AWWA.
4. 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. J. Exp. Bot. 61, 799–806.
5. Bagheri Dehabadi, M., Moghadam, H., Chaichi, M., Ziloui, N., 2017. Investigation of mycorrhiza and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative traits of fodder sorghum. J. Crop Improv. 19(3), 799–815. (In Persian with English abstract).
6. Bergland, R., Denisa, M.C.W., 1999. Corn production for grain and silage. NDSU Extension Service, North Dakota State University, USA.
7. Bozorgmehr, J., Nastari Nasrabadi, H., 2014. Effect of planting dates and cultivars on corn forage yield and quality. Appl. Field Crops Res. 27(104), 160–164. (In Persian with English abstract)

8. Densley, R.J., Austin, G.M., Williams, I.D., Tsimba, R., Edmeades, G.O., 2006. Maize silage and winter crop options to maximise dry matter and energy for NZ dairy systems. In: Proceedings of the New Zealand Grassland Association, 68, 193–197.
9. Ehsanullah F, Tariq A, Randhawa MA, Anjum S A, Nadeem M, 2015. Exploring the role of zinc in maize (*Zea mays* L.) through soil and foliar application. *Univers. J. Agr. Res.* 3(3), 69–75.
10. Eivand. H.R., Ismaili, A., Mohammad, M., 2014. On the authorship of Khorramabad. *J. World Agr. Sci.* 45, 278–29. (In Persian with English abstract)
11. Fayazi, H., Zeinali, E., Sultan, A., Torabi, B., 2022. Lentil genotypes selection for freezing tolerance by fluorescence chlorophyll estimating the potential and yield gap of forage maize in Iran based on the Global Yield Gap Atlas Protocol. *Iranian J. Field Crop Sci.* 53(3), 233–247. (In Persian with English abstract)
12. Ghaffari Malayeri, M., Akbari, G.A., Mohammadzadeh, A., 2012. Response of yield and yield components of corn on soil use and foliar application of micronutrients. *Iranian J. Field Crops Res.* 10(2), 368–373. (In Persian with English abstract)
13. Ghassemi Golezani, K., Ardalan, N., Raei, Y., Dalil, B., 2022. Improving some physiological and yield parameters of safflower by foliar sprays of Fe and Zn under drought stress. *J. Plant Physiol. Breed.* 12(1), 15–27.
14. Ghazvineh, S., Yousefi, M., 2012. Study the effect of micronutrient application on yield and yield components of maize. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 12 (2), 144–147.
15. Girma, K., Martin, K., Freeman, K., Mosali, J., Teal, R., Raun, W.R., Moges, S., Arnall, D., 2007. Determination of optimum rate and growth stage for foliar applied phosphorus in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38, 1137–1154.
16. Goudarzi, H., Kasraei, P., Zand, B., 2013. The effect of different concentrations of iron and zinc micronutrients on yield and yield components of Single Cross 260 corn. *Environ. Stresses Plant Sci.* 6(1), 49–61.
17. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Pearson Educational, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
18. Javadi, H., 2020. Effect of water stress and foliar application of iron and zinc on yield and yield components of sunflower for second cropping system. *J. Plant Ecophysiol.* 39(11), 1–11.
19. Junus, M.A., Cox, F.R., 1987. A zinc soil test calibration based upon Mehlich 3 extractable zinc, pH, and cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51(3), 678–683.
20. Karimi, N., Mojaddam, M., Lack, S., Payandeh, K., Shokuhfar, A., 2021. The effect of superabsorbent and iron and zinc foliar application on antioxidant enzyme activity and yield maize (S.C.704) (*Zea mays* L.) under irrigation regimes. *Environ. Stresses Crop Sci.* 14(2), 387–402. (In Persian with English abstract)
21. Karimi, Z., Nasrollah zaseh asl, A., Jalili, F., Valiloo, R., 2012. The effect of Barvar-2 Phosphae biofertilizer and foliar application of micro nutrient on yield and yield components of grain corn (*Zea mays* L.). *J. Res. Crop Sci.* 4(15), 33–44. (In Persian with English abstract)
22. Khalafi, A., Mohsenifar, K., Gholami, A., Barzegari, M., 2022. Effect of foliar application of iron and zinc from chelate and sulfate sources on growth and yield of maize, at Dezful Province of Khuzestan. *J. Crop Ecophysiol.* 16(61), 131–46. (In Persian with English abstract)
23. Kumar, D., Patel, K., Ramani, V., Shukla, A., Meena. R.S., 2020. Management of Micronutrients in Soil for The Nutritional Security. Springer, Singapore.
24. Mahalleh, J.K., Roshdi, M.O., 2008. Effect of foliar application of micro nutrients on quantitative and qualitative characteristics of 704 silage corn in Khoy. *Seed Plant J.* 24(2), 281–93.
25. Malakoti, M.J., Tehrani, M.M., 1999. Effects of Micronutrients on The Yield and Quality of Agricultural Products. Tarbiat Modarres University Publications.
26. Malakouti, M. J., Sepehr, A., 2004. Optimum Nutrition of Oilseeds: An Effective Step in Achieving Oil Self-Sufficiency in The Country (Collection of Articles). Khaniran Press, Tehran.
27. Mirzavand, J., Chehrengar, M., Zare, M., 2020. Effect of saline irrigation water and application methods of iron and zinc on yield and quality of corn silage in a calcareous soil. *Environ. Stresses Crop Sci.* 13(3), 953–967. (In Persian with English abstract)
28. Mortvert, J.J., Giordano, P.M., Lindsay, W.L., 1972. Micronutrient in Agriculture. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
29. Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H., Sayyari, M.H., 2013. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize Hybrid Single Cross 704. *J. Crop Improv.* 15(2), 75–86. (In Persian with English abstract)
30. Nazari, T., Baranimotlgh, M., Dordipour, E., Ghorbani Nasrabadi, R., Sefidgar Shahkolaei, S., 2020. Comparison of soil, foliar and fertigation application of humic acid on growth parameters and availability of iron and phosphorous of canola. *J. Agr. Eng.* 42(4), 1–14. (In Persian with English abstract)
31. Palash, M., Bafkar, A., Farhadi Bansouleh. B., Ghobadi, M., 2021. Effects of deficit irrigation on quantity, quality characteristics and water productivity in grain maize (KSC 706) in Kermanshah. *Adv. Technol. Water Efficiency.* 1(1),

68–88. (In Persian with English abstract)

32. Payero, J., Tarkalson, D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J., 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, and water use efficiency and dry mass. *Agr. Water Manage.* 96, 1387–1397.
33. Potarzycki, J., Grzebisz, W., 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environ.* 55(12), 519–527.
34. Rajaie, M., Ziaeyan, A.H., 2009. Combined effect of zinc and boron on yield and nutrients accumulation in corn. *Int. J. Plant Prod.* 3(3), 35–440.
35. Rasai Far, M., Moradi Aghdam, A., Haji Hosni Asl, N., Hosseini, N., 2019. The effect of iron, zinc, manganese and copper foliar application on grain sorghum yield and yield components. *Environ. Stresses Plant Sci.* 2(4), 341–353. (In Persian with English abstract)
36. Shakarami, G., Rafiee, M., 2009. Response of corn (*Zea mays* L.) to planting pattern and density in Iran. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 5(1), 69–73.
37. Soleimani, A., Firouzi Bersiani, M., Shahrajabian, M.H., Naranjani, L., 2010. Investigating the effect of foliar absorption of microelements on the growth and yield of fodder corn. The Fifth National Conference of New Ideas in Agriculture, December 6, Isfahan.
38. Taher, M., Roshdi, M., Khalili, J., Kharazmi, K., Hajihasani, N., 2008. Effect of different methods of application of micronutrients on yield and yield components of maize in Khoy city *J. Res. Crop Sci.* 1, 72–84. (In Persian with English abstract)
39. Thalooth, A.T., Tawfik, M.M., Mohamed, H.M., 2006. A comparative study on the effect of foliar application of zinc, potassium and magnesium on growth, yield and some chemical constituents of mungbean plants grown under water stress conditions. *World J. Agr. Sci.* 2(1), 37–46.
40. Varnaseri Ghandali, V., Nasiri Dehsorkhi, A., 2017. Investigation of foliar application of zinc and iron elements in nano form on growth and yield of cowpea under water deficit stress. *Appl. Res. Plant Ecophysiol.* 4(1), 109–136. (In Persian with English abstract)
41. Whitty, E.N., Chambliss, C.G., 2005. Fertilization of Field and Forage Crops. Nevada State University Publication.
42. Yari, M., Shams, K., 2018. Evaluate the effect of bio-fertilizers and micronutrients on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). *J. Plant Biotechnol.* 13(4), 31–42. (In Persian with English abstract)
43. Yassen, A., Abou El-Nour, E.A., Shedeed, S., 2010. Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. *J Am. Sci.* 6, 14–22.
44. Yousefi, Z., Sharifi, P., Rabiee, M., 2023. Effect of foliar application of zinc and iron on seed yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agr. Sci.* 45(1), 154–162.
45. Yousefpour, A., Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2018. Evaluation of micronutrient application at different growth stages on yield and yield components and grain quality of sweet corn. *J. Crop Ecophysiol.* 46(2), 287–302.
46. Zaman, Q., Schumann, A.W., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precis. Agric.* 7, 45–63.
47. Zare, K., Vazin, F., Hassanzadeh Delouei, M., 2013. Effects of potassium and iron on yield of corn (*Zea mays* L.) in drought stress. *Agric. Res. Moldova.* 8, 45–57.