Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 1, 2025, P. 91-104

Evaluation of the foliar application of iron sulfate on the quantitative and qualitative yield of grain maize cultivars

Milad Soltani Nejad [a], Mehdi Dahmardeh [*b], Eissa Khammari [b]

[a] M.Sc Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

[b] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

[*]Corresponding Author: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

Received: 24 July 2022 Accepted: 12 September 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353238.1258**

How to cite this article:
Soltani Nejad, M., Dahmardeh, M. and Khammari, E., 2025. Evaluation of the foliar application of iron sulfate on the quantitative and qualitative yield of grain maize cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions, 7*(1), 91-104. https://doi.org/10.22034/csrar.2023.353238.1258

Abstract

Introduction: Nowadays, with the growing global population, the sustainable production of agricultural products to feed humans is one of the ministerial problems that cause researchers to find solutions to increase crop products by increasing the cultivated area and yield per unit area. Under high soil pH absorbing nutrients through the roots is undesirable. Thus, it is essential to use foliar application and foliar absorption of nutrients in providing nutrients needed by plants. Iron is one of the low-use essential elements for the growth of plants, and generally, the amount of this element in the soil is high. But some chemical and physical properties of soils, such as the lack of organic matter, and alkaline pH, prevent the absorption of iron by the plant. This research aims to investigate the effect of iron foliar application on grain maize cultivars' quantitative and qualitative yield.

Material and Methods: This experiment was conducted in the agricultural year of 2015 in the educational-research farm of the Agricultural Research Institute of Zabol University in a factorial design in the form of a basic design of random complete blocks with 3 replications. Maize cultivars in four levels including (Single Cross 704, Limagrain LG 36.07, Iranian Maxima and Hungarian Maxima) as the first factor and the foliar application of the micronutrient iron sulfate in concentrations (control, 3 and 6 gr.lit^{-1}) as the second factor was performed the six-leaf stage and before flowering. Each experimental plot had four planting rows with a distance of 40 cm, the distance between the planting rows was 15 cm, and the length of the planting line was 4 meters. Analysis of variance data was done with SAS software version 9.1 and comparison of means was done using Duncan's test at the 5% level.

Results and Discussion: The results of the means comparison showed that the highest seed yield (4251.6 kg ha^{-1}) was obtained from the Limagrain cultivar under foliar application of 6 g lit^{-1} iron sulfate showed an increase of 49.13% compared to the lowest value. Considering the role of the iron element in the enzymes involved in the photosynthetic process of the plant, it can be said that the foliar application of iron sulfate at a concentration of 6 g lit^{-1} has improved the photosynthetic activity of the plant and by increasing the access of the reproductive organs of the plant to the photosynthetic materials, the weight of one thousand seeds and the length of the cob (the number of seeds formed in the row) and finally the grain yield increased. Also, the results showed that the seed nitrogen and

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

protein percentage was the highest in the Limagrin cultivar (1.4% and 8.75%, respectively). Also, the seed nitrogen and protein percentage increased under foliar application by 6 g lit^{-1} iron sulfate (1.33% and 8.31%, respectively). The seed nitrogen percentage increased by 9.02%, and the seed protein percentage showed an increase of 8.9% compared to the control treatment. Based on the results of this research, it was found that foliar application of iron sulfate significantly improved the protein of maize seeds compared to the control. Considering that the percentage of protein is related to nitrogen, thus iron sulfate foliar application showed a positive effect on both traits. It concluded that foliar application of iron sulfate has participated in protein production in maize plants.

Conclusion: Considering that many of the soils of arid and semi-arid regions have calcareous characteristics and alkaline reactions, foliar application of the micronutrient element iron during the vegetative growth stage can cause the absorption of other nutrients, growth of meristem tissues, increase in greenness and photosynthesis of leaves and finally cause increase performance. The results of the present experiment showed that using the foliar application and foliar absorption is necessary for providing iron micronutrient elements. As a result, foliar application of iron sulfate on maize plants can compensate for the lack of this essential element in the soil of dry areas. Based on the obtained results, it was determined that the use of the Limagreen cultivar under foliar application of 6 g lit^{-1} iron sulfate can produce a good yield in the Sistan region.

Keywords: Chlorophyll, Iron, Limagrin cultivar, Micronutrients, Seed protein

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴، ص ۱۰۴-۹۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی محلول‌پاشی سولفات آهن بر عملکرد کمی و کیفی ارقام ذرت دانه‌ای

میلاد سلطانی نژاد[۱]، مهدی دهمرده[*۲]، عیسی خمری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
* مسئول مکاتبه: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱ DOI: 10.22034/CSRAR.2023.353238.1258

چکیده

عناصر ریزمغذی در گیاهان زراعی با تأثیر بر فرایندهای رشد و نمو، شاخص‌های کمی و کیفی آن‌ها را تغییر می‌دهند. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط بحرانی بهبود بخشید. این پژوهش به منظور ارزیابی محلول‌پاشی سولفات آهن بر عملکرد کمی و کیفی ارقام ذرت دانه‌ای، طی سال زراعی ۹۵-۹۴ در شهرستان زهک به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل چهار رقم ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس ۷۰۴، لیماگرین LG 36.07، ماکسیمای ایرانی و ماکسیمای مجارستانی) به عنوان عامل اول و محلول‌پاشی سولفات آهن در سه سطح (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، سه و شش گرم در لیتر) به عنوان عامل دوم بودند. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۴۲۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار) از رقم لیماگرین در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن، افزایش ۴۹/۱۳ درصدی را در مقایسه با کمترین مقدار نشان داد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که درصد نیتروژن و پروتئین دانه در رقم لیماگرین (به ترتیب ۱/۴ درصد و ۸/۷۵ درصد) دارای بیشترین مقدار بود. هم‌چنین درصد نیتروژن و پروتئین دانه در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن (به ترتیب ۱/۳۳ درصد و ۸/۳۱ درصد) افزایش یافت. درصد نیتروژن افزایش ۹/۰۲ درصدی و مقدار پروتئین، افزایش ۸/۹ درصدی را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) نشان دادند. به طور کلی جهت رسیدن به حداکثر عملکرد دانه استفاده از رقم لیماگرین در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، پروتئین دانه، رقم لیماگرین، عناصر ریزمغذی، کلروفیل

مقدمه

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، میلیون‌ها انسان، نیاز پروتئین و انرژی خود را از ذرت تأمین می‌کنند. دانه ذرت ۱۵ تا ۵۶ درصد از کل انرژی روزانه مورد نیاز انسان را در کشورهای در حال توسعه تأمین می‌کند (Razzaq *et al.*, 2012). ذرت رتبه سوم را از نظر سطح زیر کشت پس از گندم و برنج به خود اختصاص داده است و دارای عملکرد در واحد سطح بیشتری نسبت به سایر محصولات زراعی است. ذرت نیاز کودی بالایی دارد و با توجه به تحقیقات انجام شده نسبت به کاربرد کودهای کم‌مصرف واکنش خوبی نشان می‌دهد. آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاهان بوده و عموماً مقدار این عنصر در خاک زیاد است، اما برخی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها از جمله کمبود مواد آلی، pH قلیایی، مصرف زیاد کودهای فسفردار، مانع از جذب آهن توسط گیاه می‌شود (Ghasemian *et al.*, 2010; Narimani *et al.*, 2010). کمبود آهن یکی از اختلالات تغذیه‌ای عمومی در بین گیاهان عالی که در خاک‌های آهکی و قلیایی رشد می‌کنند است، زیرا دامنهٔ مطلوب pH خاک در جذب آهن حدود ۵ تا ۵/۵ است (Bojovic *et al.*, 2012). خاک‌های ایران به دلیل pH زیاد، جذب عناصر ریزمغذی مانند آهن را از طریق ریشه با مشکل مواجه می‌کنند؛ بنابراین استفاده از روش محلول‌پاشی و جذب برگی عناصر غذایی در تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه بسیار حایز اهمیت است، به گونه‌ای که دامنه نوسانات pH از اسیدی تا قلیایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آن ندارد (Said-Alahl and Abeer, 2010).

در نتیجه اصلاح کمبود آهن در خاک‌های آهکی از طریق محلول‌پاشی سولفات می‌تواند کارآمدتر از کاربرد خاکی کودهای حاوی آهن باشد (Fageria *et al.*, 2009). هم‌چنین استفاده از این روش باعث می‌شود که آلودگی‌های زیست‌محیطی و آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی به حداقل رسیده و می‌توان در

راستای اهداف کشاورزی پایدار گام برداشت (Shabahang, 1997).

در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثرات آهن، روی و منگنز و روش مصرف آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین، گزارش گردید که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف می‌تواند نقش معنی‌داری در بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و درصد پروتئین ذرت داشته باشد. به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه از تیمار محلول‌پاشی با کود میکرو و کمترین عملکرد دانه به تیمار شاهد تعلق داشت. در بیشتر این صفات محلول‌پاشی آهن و روی نسبت به محلول‌پاشی منگنز برتری نشان داد. هم‌چنین تحت تأثیر روش مصرف عناصر کم‌مصرف، محلول‌پاشی باعث افزایش تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه و درصد قندهای محلول دانه نسبت به مصرف خاکی شد. به علاوه هر سه نوع کود به‌کار رفته باعث افزایش معنی‌دار درصد قندهای محلول دانه نسبت به شاهد شدند. بر اساس نتایج آن‌ها، استفاده از عناصر کم‌مصرف به‌صورت محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی نتایج بهتری را نشان داد (Mataei *et al.*, 2014).

در یک پژوهش دیگر اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز مورد بررسی قرار گرفت و گزارش گردید که محلول‌پاشی آهن و روی به‌طور معنی‌داری محتوای آب نسبی برگ، میزان کلروفیل، تعداد شاخه جانبی و عملکرد دانه را افزایش و نشت الکترولیت‌ها و میزان پرولین در برگ را کاهش داد. نتایج این مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی آهن و روی غلظت این عناصر در دانه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. هم‌چنین بیشترین میزان آهن دانه در تیمار محلول‌پاشی و کمترین میزان آهن در دانه در تیمار شاهد بود (Saeedi Abooshaghi and Yadavi, 2016).

سایر پژوهشگران در بررسی تأثیر آهن، روی و کود آلی بر عملکرد نخود در اقلیم مدیترانه‌ای (Janmohammadi *et al.*, 2018) و در بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گیاهان گندم در کاهش تنش خشکی توسط عنصر روی (Ma *et al.*, 2017) به نقش مثبت محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در افزایش عملکرد گیاهان اشاره نموده‌اند. محققین دیگر در بررسی اثرات محلول‌پاشی آهن، منگنز و روی بر عملکرد، خاکستر و درصد پروتئین سورگوم علوفه‌ای در شرایط اقلیمی اصفهان بیان داشتند که آهن، روی و منگنز تأثیر مثبتی بر عملکرد و کیفیت این گیاه داشتند. بالاترین ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه تازه، عملکرد برگ و ساقه خشک، عملکرد خشک کل و وزن خشک برگ/وزن خشک ساقه در کاربرد روی، آهن و منگنز به دست آمد و بیشترین تعداد پنجه مربوط به ترکیب روی و منگنز بود. حداکثر درصد خاکستر و درصد پروتئین مناسب نیز در استفاده از روی، آهن و منگنز به دست آمد. بنابراین، بر اساس نتایج به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی برای دست‌یابی به عملکرد علوفه بالا و کسب کیفیت بالا مناسب است (Soleymani and Shahrajabian, 2016).

ذرت گیاهی پرمصرف بوده و نیاز غذایی آن در مقایسه با سایر غلات بیشتر است. هم‌چنین تعادل عناصر غذایی برای رشد و نمو گیاه ذرت ضروی است و در این شرایط بهره‌وری و تولید آن بسیار مناسب است. از طرفی خاک‌های زراعی کشور فقیر از مواد آلی و عناصر غذایی بوده و در تمام مناطق خشک و نیمه‌خشک که خاک‌ها آهکی هستند،

فقر عناصر غذایی بسیار زیاد است. در این شرایط عدم تعادل عناصر غذایی در خاک بر رشد و نمو گیاهان زراعی تأثیر منفی می‌گذارد. به منظور رشد مطلوب گیاه و افزایش عملکرد و کیفیت محصول باید عناصر ریزمغذی مانند آهن به صورت محلول‌پاشی در مزارع ذرت استفاده شود. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی محلول‌پاشی سولفات آهن بر عملکرد کمی و کیفی ارقام ذرت دانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی بقیه‌الله الاعظم دانشگاه زابل واقع در شهرستان زهک با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا اجرا گردید (www.sbportal.ir). نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به صورت تصادفی از چند ناحیه انتخاب شد و جهت انجام تجزیه خاک به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت خاک Soil texture	شن Sand	رس Clay	لای Silt	پتاسیم Potassium	فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	ماده آلی Organic material	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
	(%)			(ppm)		(%)			
لومی Loam	37	27	36	124	10.2	0.01	0.14	7.6	1.6

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار رقم ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس ۷۰۴، لیماگرین LG 36.07، ماکسیمای ایرانی و ماکسیمای مجارستانی) به عنوان عامل اول و محلول‌پاشی سولفات آهن در سه سطح (عدم محلول‌پاشی (شاهد)، سه و شش گرم در لیتر) به عنوان عامل دوم بودند. محلول‌پاشی در دو مرحله شش برگی و قبل از گل‌دهی انجام شد. ارقام ذرت مورد استفاده در این پژوهش شامل رقم سینگل کراس ۷۰۴ دیررس و دارای دوره رشد ۱۳۵ روز، رقم لیماگرین LG 36.07 هیبرید سینگل کراس میان رس و دندان اسبی، رقم ماکسیما ایرانی میان رس و دندان اسبی و رقم ماکسیما مجارستانی MV524 هیبرید میان رس بودند.

هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر با فاصله ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر بود. عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت در ۲۵ بهمن ۹۴ به صورت دستی روی ردیف‌ها انجام شد. به منظور اطمینان از استقرار کامل بوته‌ها، مقدار بذر مورد استفاده دو سه برابر مقدار مورد نیاز در نظر گرفته شد و پس از استقرار کامل گیاهچه در مرحله دو تا چهار برگی عملیات تنک انجام شد. آبیاری بر اساس نیاز گیاه و به صورت جوی پشته‌ای انجام شد. وجین علف‌های هرز با استفاده از دست و با نیروی کارگری صورت گرفت.

به دلیل اینکه برداشت دانه ذرت مد نظر بود، عملیات برداشت پس از رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن یک سوم پایینی بوته) با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها از دو ردیف میانی هر کرت صورت گرفت. اندازه‌گیری ارتفاع بوته از محل یقه در سطح خاک تا نوک بوته با استفاده از متر پارچه‌ای بر حسب سانتی‌متر انجام شد. قطر ساقه بر حسب میلی‌متر و طول بلال بر حسب سانتی‌متر در هر بوته با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شد. جهت بررسی و محاسبه عملکرد دانه، بعد از جداسازی دانه از بوته، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار بوسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و اندازه‌گیری شد. تعداد برگ در ۵ بوته به طور جداگانه شمارش و میانگین آن‌ها برای هر تیمار محاسبه گردید. جهت محاسبه وزن هزاردانه تعداد ۴ نمونه ۱۰۰ تایی بطور تصادفی انتخاب و میانگین وزنی به‌دست آمده در عدد ۱۰ ضرب و بر حسب گرم برای هر تیمار آزمایشی گزارش گردید. به منظور اندازه‌گیری کلروفیل a و کلروفیل b، مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانتریفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b توسط اسپکتروفتومتر تعیین شد. سپس با استفاده از معادله ۱ کلروفیل a و کلروفیل b بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد (Arnon, 1965).

$$\text{Chlorophyll a} = (11.75\times A663 - 2.350\times A645)\ V/100W \quad (1)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (18.61\times A645 - 3.960\times A663)\ V/100W$$

جهت تعیین میزان نیتروژن، نمونه‌های فراهم شده در آون دیجیتال با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و خاکستر خشک آن‌ها تهیه شد. از طریق اندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه‌ها به روش کجلدال (Kjeldahl, 1833) و ضرب کردن میزان نیتروژن به دست آمده در عدد ۶/۲۵، درصد پروتئین دانه‌ها محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴)، و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـــان داد که اثر ســـطوح محلول‌پاشـی سـولفات آهن بر ارتفاع بوته در سـطح یک درصـد معنی‌دار بود، اما بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشـاهده نشـد و اثر برهمکنش ارقام با سولفات آهن معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی ارقام ذرت تحت محلول‌پاشی سولفات آهن

Table 2- Analysis of variance for qualitative and quantitative of maize cultivar under foliar application of iron sulfate

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	طول بلال Cob length	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	493.75	7.411	0.194	0.287	56433.21
ارقام ذرت Maize cultivar (M)	3	407.307 ns	5.806 ns	0.444 ns	2.667 ns	1021671.22 **
سولفات آهن Iron sulfate (I)	2	4545.58 **	54.30 **	0.444 ns	117.46 **	11905187.22 **
ارقام ذرت × سولفات آهن M*I	6	232.95 ns	16.78 *	0.444 ns	1.661 ns	522341.24 **
خطا Error	22	343.38	5.71	1.103	2.323	111692.94
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	13.3	11.8	9.64	8.00	11.1

ns: غیر معنی‌دار؛ *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respectively

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی ارقام ذرت تحت محلول‌پاشی سولفات آهن

Continued table 2- Analysis of variance for qualitative and quantitative of maize cultivar under foliar application of iron sulfate

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	وزن هزار دانه Thousand seed weight	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	نیتروژن دانه Seed nitrogen	پروتئین دانه Seed protein
تکرار Replication	2	224.19	12.3	1.411	0.0103	0.373
ارقام ذرت Maize cultivar (M)	3	23322.25 **	41.19 **	10.03 **	0.153 **	5.951 **
سولفات آهن Iron sulfate (I)	2	13506.36 **	49.25 **	3.701 **	0.049 *	1.907 *
ارقام ذرت × سولفات آهن M*I	6	1597.17 ns	2.289 ns	0.389 ns	0.008 ns	0.310 ns
خطا Error	22	1274.70	3.944	0.472	0.0102	0.4004
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	-	12.1	16.8	21.1	8.03	8.05

ns: غیر معنی‌دار؛ *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respectively

با توجه به نتایج مقایســـه میانگین‌ها بیشـــترین ارتفاع بوته (۱۵۵/۰۸ سـانتی‌متر) از تیمار محلول‌پاشـی شـش گرم در لیتر ســـولفات آهن و کمترین ارتفاع بوته (۱۱۷/۱ ســـانتی‌متر) در شـرایط عدم محلول‌پاشـی (شـاهد) حاصـل شـد، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار شاهد ۲۴/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). می‌توان گفت افزایش ارتفاع به واسطهٔ محلول‌پاشی سولفات آهن مربوط به نقش عنصر آهن در فتوسنتز است که باعث افزایش ساخت کلروفیل در برگ‌های جوان و افزایش تنظیم کننده‌های رشد می‌شوند، در نتیجه فتوسنتز افزایش می‌یابد و مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها وارد می‌شود و در نهایت ارتفاع افزایش می‌یابد. نتایج این آزمایش با نتایج دیگر محققین در بررسی اثرات آهن، روی و منگنز و روش

مصرف آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین مطابقت داشت (Mataei *et al.*, 2014). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که محلول‌پاشی سولفات آهن باعث معنی‌دار شدن ارتفاع ذرت در سطح پنج درصد شد (Nabavi Moghadam *et al.*, 2014).

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های کمی و کیفی ذرت تحت تأثیر ارقام و محلول‌پاشی سولفات آهن

Table 3- Means comparison for qualitative and quantitative of maize cultivar under foliar application of iron sulfate

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	طول بلال Cob length (cm)	عملکرد دانه Seed yield ha^{-1}) (kg
ارقام ذرت Maize cultivars					
ماکسیما مجارستانی MV 524	144.8 ^{a}	19.9 ^{a}	11 ^{a}	18.74 ^{a}	3314.3 ^{a}
سینگل کراس ۷۰۴ K.S.C 704	143.4 ^{a}	21.9 ^{a}	11 ^{a}	19.75 ^{a}	2581.9 ^{b}
ماکسیما ایرانی Iranian Maxima	135.7 ^{a}	20.1 ^{a}	11 ^{a}	19.18 ^{a}	3319.6 ^{a}
لیماگرین LG 36.07	130.5 ^{a}	19.3 ^{a}	10.5 ^{a}	18.52 ^{a}	2817.8 ^{b}
سولفات آهن Iron sulfate					
عدم محلول‌پاشی Control	117.1 ^{b}	18.8 ^{b}	10.6 ^{a}	15.5 ^{c}	1926.2 ^{c}
۳ گرم در لیتر 3 g lit^{-1}	143.7 ^{a}	19.5 ^{b}	11 ^{a}	19.9 ^{b}	2815.08 ^{b}
۶ گرم در لیتر 6 g lit^{-1}	155.08 ^{a}	22.54 ^{a}	11 ^{a}	21.6 ^{a}	4672.1 ^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on Duncan test at 5% Probability level.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام ذرت تحت تأثیر محلول‌پاشی عنصر آهن

Continued table 3- Means comparison for qualitative and quantitative of maize cultivar under foliar application of iron sulfate

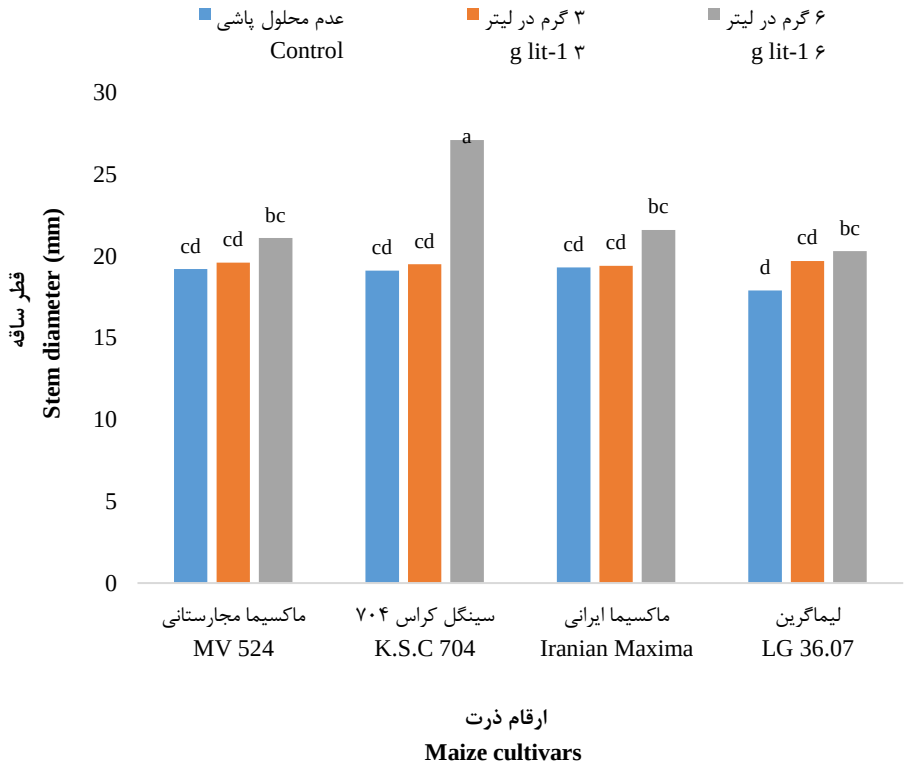
تیمارها Treatments	وزن هزار دانه Thousand seed weight (g)	کلروفیل a Chlorophyll a (Mg g^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (Mg g^{-1})	نیتروژن دانه Seed nitrogen (%)	پروتئین دانه Seed protein (%)
ارقام ذرت Maize cultivars					
ماکسیما مجارستانی MV 524	351 ^{a}	10.35 ^{bc}	4.72 ^{a}	1.09 ^{c}	6.82 ^{c}
سینگل کراس ۷۰۴ K.S.C 704	249.4 ^{b}	12.62 ^{a}	3.04 ^{b}	1.3 ^{ab}	8.15 ^{ab}
ماکسیما ایرانی Iranian Maxima	323.7 ^{a}	9.93 ^{c}	3.003 ^{b}	1.23 ^{b}	7.71 ^{b}
لیماگرین LG 36.07	253.3 ^{b}	12.22 ^{b}	2.81 ^{c}	1.4 ^{a}	8.75 ^{a}
سولفات آهن Iron sulfate					
عدم محلول‌پاشی Control	256 ^{b}	9.61 ^{b}	2.63 ^{b}	1.21 ^{b}	7.57 ^{b}
۳ گرم در لیتر 3 g lit^{-1}	318.08 ^{a}	12.13 ^{a}	3.36 ^{b}	1.23 ^{b}	7.68 ^{b}
۶ گرم در لیتر 6 g lit^{-1}	319.08 ^{a}	13.61 ^{a}	3.72 ^{a}	1.33 ^{a}	8.31 ^{a}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on Duncan test at 5% Probability level.

قطر ساقه

اثر محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح یک درصد و اثر برهمکنش ارقام و محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح پنج درصد بر قطر ساقه معنی‌دار بود، اما بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش نشان داد که بیشترین قطر ساقه (۲۷/۱ میلی‌متر) از رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن به دست آمد، به‌طوری‌که در مقایسه با کمترین قطر ساقه (۱۷/۹ میلی‌متر) مربوط به رقم لیماگرین در شرایط عدم محلول‌پاشی، افزایش ۳۳/۹۴ درصدی را نشان داد (شکل ۱). به نظر می‌رسد بهبود شرایط تغذیه‌ای و نقش مثبت عنصر آهن در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن می‌تواند در افزایش تولید کلروفیل و مواد فتوسنتزی و بهبود شاخص‌های رشد از قبیل قطر ساقه مؤثر باشد. در بررسی اثرات محلول‌پاشی آهن، منگنز و روی بر عملکرد، خاکستر و درصد پروتئین سورگوم علوفه‌ای در شرایط اقلیمی اصفهان بیان گردید که بالاترین عملکرد برگ و ساقه خشک در شرایط کاربرد روی، آهن و منگنز به دست آمد و بیشترین تعداد پنجه مربوط به ترکیب روی و منگنز بود (Soleymani and Shahrajabian, 2016).



شکل ۱- اثر متقابل ارقام ذرت و سطوح محلول‌پاشی سولفات آهن بر قطر ساقه

Figure 1- Interaction effects of maize cultivars and foliar application of iron sulfate on stem diameter

بیشترین قطر ساقه از رقم سینگل کراس ۷۰۴ به دست آمد. به نظر می‌رسد رقم سینگل کراس ۷۰۴ در مرحله رشد رویشی توانسته از طریق جذب عناصر غذایی، رشد بافت‌های مریستمی، افزایش سبزینگی و فتوسنتز برگ، تعداد آوندهای بیشتری را برای انتقال مواد فتوسنتزی تولید کند و مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه را در طی فرایند انتقال مجدد از ساقه به سوی اندام زایشی انتقال دهد و در نتیجه در مرحله گل‌دهی تعداد بیشتری دانه تشکیل شود. نتایج تحقیق دیگری به منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و عملکرد کل ماده خشک ذرت

علوفه‌ای نشـان داد که عملکرد سـاقه تحت تأثیر محلول‌پاشـی آهن در سـطح یک درصـد معنی‌دار شـد (Soleymani *et al.*, 2011).

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشـان داد که تعداد برگ در بوته تحت تأثیر ارقام، محلول‌پاشـی سـولفات آهن و برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۲). با این وجود نتایج مقایسـه میانگین‌ها نشـان داد که بیشـترین تعداد برگ در بوته از رقم سـینگل کراس ۷۰۴ (۱۱ عدد) در شـرایط محلول‌پاشـی شـش گرم در لیتر سـولفات آهن (۱۱ عدد) و کمترین تعداد برگ در بوته از رقم لیماگرین (۱۰/۵ عدد) در شـرایط عدم محلول‌پاشـی (۱۰/۶ عدد) به دست آمد (جدول ۳). تعداد برگ در ارقام مختلف مربوط به صـفات ژنتیکی و فیزیولوژیک آنهاسـت که از این نظر تفاوت معنی‌داری نداشـته‌اند. احتمال دارد نبودن تفاوت معنی‌دار بین تعداد برگ در ارقام به دلیل تشـابه ژنتیکی ارقام با یک‌دیگر بوده اسـت. چنان‌چه ارقام ذرت دوره رشـدی خود را در سـطوح بالاتر محلول‌پاشی سولفات آهن کامل نمایند و وارد فاز زایشی گردند، سـطح سـبز برگ بیشـتری را در اختیار داشـته، لذا با تولید مواد فتوسنتزی منجر بـه افزایش عملکرد می‌گردنـد. در پژوهش دیگری به منظور بررسـی تأثیر محلول‌پاشـی نانو کود آهن و سـولفات آهن بر عملکرد گیاهان ذرت گزارش گردید که تعداد برگ در بوته ذرت یک صـفت تحت تأثیر ژنتیک گیاه بوده و نسبتاً ثابت است (Shakoori *et al.*, 2013).

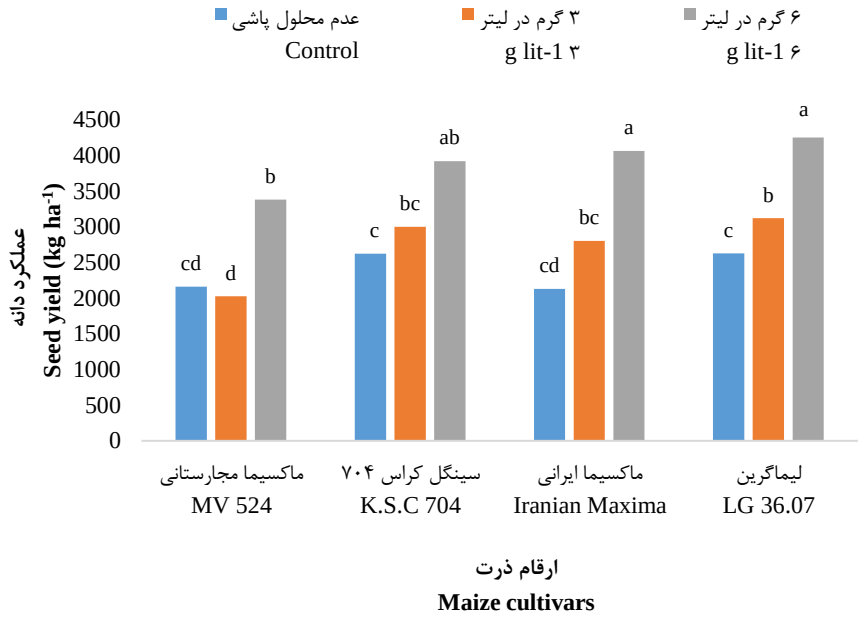
طول بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـان داد که اثر سـطوح محلول‌پاشـی سـولفات آهن بر طول بلال در سـطح یک درصـد معنی‌دار بود، اما بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و اثر برهمکنش ارقام با سـولفات آهن معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسـه میانگین‌ها بیشـترین طول بلال (۲۱/۶ میلی‌متر) از تیمار محلول‌پاشی شـش گرم در لیتر سـولفات آهن و کمترین طول بلال (۱۵/۵ سـانتی‌متر) در شـرایط عـدم محلول‌پاشی (شاهد) حاصل شد، به‌طوری‌که در مقایسه با تیمار شـاهد ۲۸/۲۴ درصـد افزایش نشـان داد (جدول ۳). در یک پژوهش دیگر تأثیر کود زیسـتی فسفات بارور ۲ و محلول‌پاشـی عناصـر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای ۷۰۴ مورد بررسـی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشـان داد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف به دلیل رفع کمبود و اثر تغذیه‌ای خود سـبب افزایش تعادل در رشـد، تنظیم فرآیندهای نمو در گیاه شد. زیرا با افزایش جذب عناصر، مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شـده و همین امر سـبب افزایش تعداد دانه در بلال شـد (Karimi *et al.*, 2012). هم‌چنین محققین دیگر در گزارش نتایج بررسـی اثر محلول‌پاشـی نانوکلات روی و کاربرد خاک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ذرت، اظهار داشتند محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف موجب افزایش تعداد دانه در ردیف بلال شد (Mosanna and Khalilvand Behrozyar, 2015).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر ارقام ذرت، محلول‌پاشـی سـولفات آهن و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت و در سـطح یک درصـد معنی‌دار شـد (جدول ۲). مقایسـه میانگین‌های برهمکنش ارقام ذرت و سـطوح محلول‌پاشـی سـولفات آهن گویای این اسـت که بیشـترین عملکرد دانـه (۴۲۵۱/۶ کیلوگرم در هکتـار) از رقم لیماگرین در شـرایط محلول‌پاشـی شـش گرم در لیتر سـولفات آهن به دسـت آمد، به‌طوری‌که در مقایسـه با کمترین عملکرد دانـه (۲۰۲۶/۷ کیلوگرم در هکتـار) مربوط بـه رقم مـاکسـیما مجارسـتانی در شـرایط محلول‌پاشـی سـه گرم در لیتر سـولفات آهن، افزایش ۴۹/۱۳ درصدی را نشان داد (شکل ۲). با توجه به نقش عنصر آهن در آنزیم‌های دخیل در فرآیند فتوسنتزی گیاه، می‌توان گفت محلول‌پاشی سولفات آهن در غلظت شش گرم در لیتر سـبب بهبود فعالیت فتوسـنتزی گیاه شـده و با افزایش دسـترسـی اندام‌های زایشـی گیاه به مواد فتوسـنتزی، وزن هزار دانه و طول بلال (تعداد دانه تشکیل شده در ردیف) و در نهایت عملکرد دانه افزایش یافت. در مطالعه‌ای به منظور بررسـی اثرات آهن، روی و منگنز و روش مصـرف آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شـیرین، بیان گردید که محلول‌پاشـی عناصـر کم‌مصـرف می‌تواند نقش معنی‌داری در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد ذرت داشته باشد. به گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه از تیمار محلول‌پاشـی با کود میکرو و کمترین عملکرد دلنه به تیمار شاهد تعلق داشت. در بیشتر این صفات محلول‌پاشی آهن و روی نسبت به محلول‌پاشی منگنز برتری نشان داد. هم‌چنین

تحت تأثیر روش مصرف عناصر کم‌مصرف، محلول‌پاشی باعث افزایش تعداد دانه در بلال و عملکرد دانه نسبت به مصرف خاکی شد. بر اساس نتایج آن‌ها، استفاده از عناصر کم‌مصرف به‌صورت محلول‌پاشی نسبت به مصرف خاکی نتایج بهتری را نشان داد (Mataei *et al.*, 2014).



شکل ۲- اثر متقابل ارقام ذرت و سطوح محلول‌پاشی سولفات آهن بر عملکرد دانه

Figure 2- Interaction effects of maize cultivars and foliar application of iron sulfate on seed yield

سایر پژوهشگران در بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی و عملکرد گیاهان گندم در کاهش تنش خشکی توسط عنصر روی به نقش مثبت محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در افزایش عملکرد گیاهان اشاره نموده‌اند (Ma *et al.*, 2017). محققین دیگر در بررسی اثرات محلول‌پاشی آهن، منگنز و روی بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای در شرایط اقلیمی اصفهان بیان داشتند که آهن، روی و منگنز تأثیر مثبتی بر عملکرد و کیفیت این گیاه داشتند (Soleymani and Shahrajabian, 2016). در یک آزمایش دیگر به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات روی و کاربرد خاک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ذرت، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی نانو کلات روی ۹۴ درصد عملکرد بیشتر دانه در بوته داشت (Mosanna and Khalilvand Behrozyar, 2015).

احتمالاً عملکرد دانه بیشتر اندام‌های هوایی در رقم لیماگرین می‌تواند به استفاده بهتر آن از عوامل محیطی و کارایی تولید مواد فتوسنتزی مربوط باشد که توانسته است کربوهیدرات‌ها و مواد ذخیره‌ای بیشتر را در خود ذخیره نماید و با بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه عملکرد دانه افزایش یابد. در یک مطالعه دیگر نیز وجود اختلاف بین ارقام مختلف گندم از لحاظ میزان عملکرد دانه گزارش شده است (Pourjamshid, 2021).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه تحت تأثیر ارقام ذرت و محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح یک درصد معنی‌دار شد، اما اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم ماکسیمای مجارستانی (۳۵۱ گرم) بود، به طوری که این صفت در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن (۳۱۹/۰۸ گرم) افزایش یافت. در مقابل کمترین وزن هزار دانه به رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ (۲۴۹/۴ گرم) تعلق داشت، به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد در شرایط عدم محلول‌پاشی (۲۵۶ گرم) افزایش ۱۹/۷۶ درصدی را نشان داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن با تأثیر در افزایش جذب و افزایش فراهمی عنصر آهن سبب

افزایش وزن هزار دانه شده است. افزایش در میزان کلروفیل برگ و سطح سبز گیاهی و ذخیره مواد فتوسنتزی باعث می‌گردد که پس از مرحله گرده‌افشانی مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه، طی فرایند انتقال مجدد از ساقه به دانه‌های در حال پرشدن انتقال یابند. در پژوهش دیگری به منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای گوگرد و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در سطوح مختلف آبیاری، با محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف وزن هزار دانه به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش فتوسنتز و در نتیجه، افزایش ذخایر غذایی در منابع ثانویه، افزایش یافت (Sohrabi and Ahmadi, 2012). سایر پژوهشگران در مطالعه اثرات محلول‌پاشی نیتروژن و روی بر عملکرد ذرت تحت تنش خشکی، به نقش مثبت محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در افزایش وزن هزار دانه اشاره نموده‌اند (Mosavifeyzabadi *et al.*, 2013). هم‌چنین نتایج مطالعه بر مدیریت مصرف کود ورمی‌کمپوست و نانو کود آهن در بهبود عملکرد ذرت دلنه‌ای نشان داد وزن هزار دلنه ذرت تحت تأثیر نانو کود آهن افزایش معنی‌داری داشت (Mohammad khani and Rozbahani, 2015).

با توجه به اینکه وزن هزار دلنه به عنوان یکی از اجزای مؤثر در عملکرد دانه می‌باشد، این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد رقم ماکسیمای مجارستانی مؤثر بوده باشد. می‌توان اینگونه استنباط کرد که رقم ماکسیمای مجارستانی توانسته است با افزایش سطح سبز گیاهی و هم‌چنین افزایش طول دوره پر شدن دانه میزان بیشتری مواد فتوسنتزی را به دانه‌ها منتقل نموده و وزن هزار دانه را افزایش دهد. نتایج تحقیق دیگری در بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی بر رشد و عملکرد کمی و کیفی دانه ذرت، مؤید آن است که محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف، وزن دانه را افزایش داد (Safyan *et al.*, 2012).

کلروفیل‌های a و b

نتایج تجزیه واریانس نشان داد کلروفیل‌های a و b تحت تأثیر ارقام ذرت و محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین مقدار کلروفیل a و b به ترتیب از ارقام سینگل کراس ۷۰۴ (۱۲/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و ماکسیما مجارستانی (۴/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بدست آمد. با افزایش سطح محلول‌پاشی تا شش گرم در لیتر سولفات آهن مقدار کلروفیل a (۱۳/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۳/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نیز افزایش یافت. در مقابل کمترین مقدار کلروفیل a و b به ترتیب مربوط به رقم ماکسیما ایرانی (۹/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و رقم لیماگرین (۲/۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی (شاهد) مقدار کلروفیل a (۹/۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۲/۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به ترتیب ۲۹/۳۹ و ۲۹/۳ درصد نسبت به تیمار محلول‌پاشی تا شش گرم در لیتر سولفات آهن کاهش داشت (جدول ۳). با توجه به نقش کلیدی عنصر آهن در ساختار کلروفیل و فرایند فتوسنتز، افزایش فراهمی عنصر آهن موجب افزایش میزان کلروفیل در گیاه می‌شود. مهم‌ترین نقش عنصر آهن در بیوسنتز کلروفیل کنترل تشکیل گاما-آمینولوولینیک اسید به عنوان پیش‌ساز مشترک بیوسنتز کلروفیل و گروه هم می‌باشد. علاوه بر این یون پروتوپورفیرین آهن- منزیم برای تشکیل پروتوکلروفیلیداز در مسیر سنتز کلروفیل ضروری است (Godarzi *et al.*, 2014). در تحقیق دیگری اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک لوبیا قرمز مورد بررسی قرار گرفت و گزارش گردید که محلول‌پاشی آهن و روی به‌طور معنی‌داری میزان کلروفیل در برگ را افزایش داد (Saeedi Abooshaghi and Yadavi, 2016).

می‌توان گفت علت بیشتر بودن میزان کلروفیل در ارقام سینگل کراس ۷۰۴ و ماکسیما مجارستانی مربوط به صفات ژنتیکی و فیزیولوژیک این ارقام است که احتمالاً مرتبط با افزایش رشد رویشی و تولید برگ و سطح فتوسنتز کننده بیشتر آن است. زمانی که گیاه رشد رویشی خوبی داشته باشد امکان بهره‌برداری مناسب‌تر از نهاده‌های محیطی مثل آب، نور و غیره را پیدا می‌کند. بنابراین سطح فتوسنتز کننده در این گیاهان افزایش می‌یابد و متعاقب آن دی اکسیدکربن بیشتری تثبیت شده و مواد غذایی بیشتری ساخته می‌شود و نهایتاً بیوماس تولیدی گیاه بیشتر خواهد بود.

درصد نیتروژن و پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد درصد نیتروژن و پروتئین تحت تأثیر ارقام ذرت در سطح یک درصد و تحت تأثیر

محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۳) نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه (۱/۴ درصد) و پروتئین دانه (۸/۷۵ درصد) مربوط به رقم لیماگرین بود. هم‌چنین با محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن، درصد نیتروژن دانه به میزان ۱/۳۳ درصد و پروتئین دانه به میزان ۸/۳۱ درصد افزایش یافت. در مقابل کمترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه (به ترتیب ۱/۰۹ درصد و ۶/۸۲ درصد) مربوط به رقم ماکسیما مجارستانی بود. در شرایط عدم محلول‌پاشی درصد نیتروژن دانه (۱/۲۱ درصد) و پروتئین دانه (۷/۵۷ درصد) بود، به‌طوری‌که درصد نیتروژن، افزایش ۹/۰۲ درصدی و مقدار پروتئین، افزایش ۸/۹ درصدی را نسبت به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) نشان داد. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد محلول‌پاشی سولفات آهن، پروتئین دانه‌های ذرت را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد بهبود بخشید که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Khoshvaghti and Taj bakhsh, 2022). با توجه به این که درصد پروتئین با درصد نیتروژن مرتبط است، بنابراین محلول‌پاشی سولفات آهن اثر مثبتی را بر هر دو صفت نشان داد. نتایج بررسی اثر کاربرد محلول‌پاشی کود نانو آهن و سولفات آهن بر عملکرد گیاه ذرت نشان داد که صفاتی از قبیل عملکرد و درصد پروتئین تحت تأثیر کود آهن قرار گرفتند و بیشترین عملکرد در تیمار آهن با محلول‌پاشی سولفات آهن پنج در هزار به دست آمد (Shakoori *et al.*, 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نظر به این‌که بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای خصوصیات آهکی و واکنش قلیایی هستند، محلول‌پاشی عنصر ریزمغذی آهن در مرحله رشد رویشی می‌تواند سبب جذب سایر عناصر غذایی، رشد بافت‌های مریستمی، افزایش سبزینگی و فتوسنتز برگ و در نهایت باعث افزایش عملکرد شود. نتایج آزمایش حاضر نشان داد استفاده از روش محلول‌پاشی و جذب برگی در تأمین عنصر ریزمغذی آهن بسیار حایز اهمیت است. در نتیجه محلول‌پاشی سولفات آهن بر گیاه ذرت می‌تواند کمبود این عنصر ضروری در خاک مناطق خشک را جبران نماید. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص گردید که استفاده از رقم لیماگرین در شرایط محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن می‌تواند عملکرد مناسبی را در منطقه سیستان تولید نماید.

References

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, pp.112-121.

Bojovic, D.D., Dukic, M., Maksimovic, V., Skočajić, D. and Suručić, L., 2012. The effects of iron deficiency on lead accumulation in *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle Seedlings. *Journal of Environmental Quality*, *41*, pp.1-8. https://doi.org/10.2134/jeq2011.0450

Fageria, N.K., Barbosa, F.M.P., Moreira, A. and Guimaraes, C.M., 2009. Foliar fertilization of crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, *32*, pp.1044-1064. https://doi.org/10.1080/01904160902872826

Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh Zadeh, A. and Pirzad, A., 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology*, *2*, pp.73-79.

Godarzi, H., Kasraei, P. and Zand, B., 2014. The effect of different concentrations of iron and zinc micronutrients on yield and yield components of KSC 260. *Agricultural Research Journal*, *6*(1), pp.49-61. [In Persian].

Janmohammadi, M., Abdoli, H., Sabaghnia, N., Esmailpour, M. and Aghaei, A., 2018. The effect of iron, zinc and organic fertilizer on yield of chickpea (*Cicer Artietinum* L.) in mediterranean climate. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *66*, pp.49-62. https://doi.org/10.11118/actaun201866010049

Karimi, Z., Nasrollahzadeh Asl, A., Jalili, F. and Valiolou, R., 2012. Effect of fertilizer phosphate fertilizer-2 and spraying of micronutrient elements on yield and yield components of corn grain 704. *Journal of Agricultural Sciences, 4*, pp.33-43.

Khoshvaghti, H. and Taj bakhsh, M., 2022. The effect of foliar application of nano and amino acid fertilizers on some biochemical properties of grain and yield of corn. *Journal of crop Improvement, 1*(24), pp.237-252. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2022.332347.2628

Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., Huang, X., Xie, Y. and Guo, T., 2017. Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in Plant Science, 8*, pp.860-868. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00860

Mataei, S., Amirnia, R., Tajbakhsh, M. and Abdolahi, B., 2014. Effects of iron, zinc and manganese and method of their application on phonology, yield and grain quality of sweet corn. *Journal of Crop Production and Processing*, *4*(11), pp.231-240. [In Persian].

Mohammad Khani, A. and Rozbahani, A., 2015. Managing the consumption of vermicompost fertilizer and iron nano-fertilizer in improving the yield of corn. *Iranian Journal of Plant Echo-physiology*, *23*(7), pp.123-131. [In Persian].

Mosanna, R. and Khalilvand Behrozyar, E., 2015. Morpho- physiological response of maize (*Zea mays* L.) to zinc nano-chelate foliar and soil application at different growth stages. *Journal on New Biological Reports, 4*, pp.46-50.

Mosavifeyzabadi, H., Vazin, F. and Hassanzadehdelouei, M., 2013. Effects of nitrogen and zinc spray on yield of corn (*Zea mays* L.) in drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova, 3*, pp.329-339. https://doi.org/10.2478/v10298-012-0090-x

Nabavi Moghadam, R., Saberi, M.H. and Sayyari, M.H., 2014. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize hybrid single cross 704. *Journal of Crops Improvement*, *15*(2), pp.75-86. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jci.2013.36100

Narimani, H., Rahimi, M.M., Ahmadikhah, A. and Vaezi, B., 2010. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*, *2*, pp.168-176.

Pourjamshid, S., 2021. Study the effect of iron, zinc and manganese foliar application on morphological and agronomic traits of bread wheat (*Chamran cultivar*) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 14*(1), pp.109-118. [In Persian] https://doi.org/10.22077/escs.2020.2448.1643

Razzaq, M.R., Muhammad Anjum, F. and Issa Khan, M., 2012. Effect of extruder variables on chemical characteristics of maize (*Zea mays* L.) extrudates. *Pakistan Journal of Food Sciences, 22*(2), pp.108-116.

Saeedi Abooshaghi, R.A. and Yadavi, A.R., 2016. The effect of iron and zinc irrigation and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of red bean. *Journal of Iranian Cereals Research*. 6, 54-65. [In Persian].

Safyan, N., Naderidarbaghshahi, M.R. and Bahari, B., 2012. The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 3, pp.2780-2784. [In Persian].

Said-Al Ahl, H.A.H., & Abeer A. M. (2010). Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3(1), 97-111.

Shabahang, J., 1997. *Investigating the effect of foliar application of urea on the yield and silage ability of two varieties of corn* (Master's thesis). Isfahan University of Technology. [In Persian].

Shakoori, A., Khiorgami, A. and Esteki organi, Kh., 2013. The effect of foliar application of iron nano fertilizer and iron sulfate on the yield of corn plants. National Conference of Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, Hamadan, pp.1-9. [In Persian].

Sohrabi, Y. and Ahmadi, A., 2012. Effect of sulfur and zinc fertilizers application on yield, and yield component of corn (*Zea mays* L.) under different irrigation levels. *Plant Production Technology*, *12*, pp.71-88.

Soleymani, A. and Shahrajabian, M.H., 2016. The effects of Fe, Mn and Zn foliar application on yield, ash and protein percentage of forage sorghum in climatic condition of Esfahan. *International Journal of Biology, 4*, pp.92-97. https://doi.org/10.5539/ijb.v4n3p92

Soleymani, M., Firoozi, L. and Naranjani, N., 2011. Effect of foliar application of micro nutrients on physiological growth indices and total dry matter yield of forage corn. *Iranian Journal of Field Crop Research, 3*(23), pp.340-347. [In Persian].