

The effect of foliar application of zinc and iron at different developmental phases on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)

Sh. Ajam¹, A. Biabany^{2*}, R. Mohammady³, A. Rahmi Karizma⁴, H. Ghorbany vagheie⁵

1- Ph.D. Student of Physiology of Agricultural Plants, Plant Products Group

2- Professor of plant products department, Gonbadkavous University

3- Researcher of Agricultural and Horticultural Science Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Golestan Province

4 - Associate Professor, Department of Plant Production, Gonbadkavous University

5- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Gonbadkavous University

(*-Corresponding author Email: abs346@yahoo.com)

Extended Abstract

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the crops that is cultivated in most soils, and the quantitative and qualitative increase of its yield per unit area is one of the most important executive priorities of the country. Micro elements play a key role in improving the quality performance of products and even human health. Foliar spraying in arid and semi-arid areas, which affects the osmotic pressure of absorption and activity of these elements, is of special importance. It is necessary to develop high-potential cultivars with a high ability to absorb micronutrients and Also tolerate to stresses. Recently, Aseman and Paya dryland wheat cultivars have replaced other cultivars in Golestan province due to their higher yield, but there is no specific information about the agricultural characteristics of these cultivars, including their reaction to zinc and iron micronutrient fertilizers in the grain. Therefore, in this research, the effect of using zinc and iron fertilizers and appropriate foliar spraying time on the quantitative and qualitative characteristics of Aseman and Paya wheat grains in the climatic conditions of Gonbadkavous have been studied.

Materials and Methods

This study was conducted in using factorial design in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The first factor was the foliar application of micronutrients at three levels (no micronutrient application or pure water, foliar application of 4‰ zinc chelate, and 6‰ iron chelate) and the second factor was the timing of foliar applications at three levels (application at the tillering stage, stem elongation stage, and grain filling stage). The third factor consisted of wheat cultivars (Aseman and Paya). In total therefor 18 treatments were applied in each replication. Chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids were measured using the Arnon method one week after the implementation of all treatments. The Kjeldahl method was used to measure the protein content of the grain, and grain yield, grain concentrations of iron and zinc, and harvest index were calculated.

Results and Discussion

The results showed that the two cultivars Aseman and Paya had significant differences in grain yield and harvest index, number of spikelets, and the amount of chlorophyll and carotenoids. The foliar treatment (iron, zinc and no foliar application) caused a significant increase in the concentration of iron and zinc in the grain compared to the control, but it did not affect the grain performance, harvest index, grain protein percentage and chlorophyll pigments. The interaction effect of cultivar treatments foliar spraying time showed that the highest value of grain performance was obtained with the application of micronutrient elements in the stemming stage of the Paya cultivar with an average of 730 kg/ha. Basically, wheat nutrition

in drylands is more complicated than in irrigated lands. Because in such conditions, the management of nutrients should be adjusted based on the expected moisture regime in the region. The amount of production in drylands is primarily influenced by weather conditions, especially rainfall, that is, in the conditions of applying proper agricultural management and choosing the right variety for the region, the optimal production will depend on the existence of favorable environmental conditions, as well as the cultivars adapted to the lands and regions.

Conclusion

Foliar spraying of zinc and iron as a management method to improve the nutritional status of wheat in dry conditions, although it led to a significant increase in the concentration of zinc and iron elements in the grain by 55 and 100%, but it had a significant effect on increasing grain yield, harvest index. And grain protein was not found in the drought conditions prevailing in the study area. This shows that other factors such as water stress, inappropriate crop management and genetic characteristics of the variety play a more decisive role in wheat yield. Choosing the right cultivar that is compatible with environmental conditions is one of the factors that can help improve wheat yield. In this research, Paya variety with an average yield of 675 kg/ha showed better performance than Aseman variety with an average yield of 616 kg/ha. Also, the effect of variety x time of foliar spraying also had an effect on the yield and the best yield was observed in Paya cultivar with foliar spraying at the stemming stage with an average yield of 729 kg/ha. This agricultural method can be used as a short-term solution to reduce nutritional problems caused by the lack of these elements and improve food security indicators.

Acknowledgment

The cooperation of the Honorable Research Assistant of the Faculty of Agriculture of Gonbadkavos University in order to secure the credit of the project and the Honorable Head of the Gonbadkavos Agricultural Research Station for providing the grains of the studied cultivars and the necessary cooperation are sincerely appreciated.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Micronutrients

اثر محلول‌پاشی روی و آهن در مراحل مختلف نمو بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه دو رقم گندم دیم

(*Triticum aestivum* L.)

شهرنوش عجم^۱، عباس بیابانی^{۲*}، رحمت‌اله محمدی^۳، علی راحمی کاریزکی^۴، حجت قربانی واقعی^۵

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گنبدکاووس

۲- استاد گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبدکاووس

۳- محقق بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان

۴- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبدکاووس

۵- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

*نویسنده مسئول: abs346@yahoo.com

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد عناصر ریزمغذی (کلات آهن شش در هزار، کلات روی چهار در هزار و محلول‌پاشی آب به‌عنوان شاهد) به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد (پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و پر شدن دانه) بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه دو رقم گندم دیم (آسمان و پایا)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۱-۲۰۲ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد اجرا شد. در این بررسی صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد سنبلچه در سنبله، غلظت روی، آهن، پروتئین دانه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت و تعداد سنبلچه در سنبله و میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. تیمار محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن و روی دانه نسبت به شاهد شد، اما بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و رنگیزه‌های کلروفیل تفاوت معنی‌داری نداشت. اثر متقابل تیمارهای رقم×زمان محلول‌پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بیشترین مقدار عملکرد دانه با کاربرد عناصر ریزمغذی در مرحله ساقه‌دهی رقم پایا با میانگین ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در مجموع می‌توان چنین استنباط نمود که کاربرد روی و آهن در شرایط اقلیمی منطقه بعثت اختلال در سنتز کلروفیل و پروتئین سازی ناشی از خشکسالی بوجود آمده بر افزایش عملکرد گندم دیم موثر نبوده اما سبب افزایش غلظت آهن و روی دانه شد و ممکن است یک استراتژی امیدوار کننده برای بهبود امنیت غذایی و مقابله با کمبود عناصر ریزمغذی در انسان باشد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از گیاهان زراعی است که در بیشتر خاک‌ها کشت می‌شود و افزایش کمی و کیفی عملکرد آن در واحد سطح از مهم‌ترین اولویت‌های اجرایی کشور می‌باشد. سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در ایران به ترتیب ۶ میلیون هکتار (۴ میلیون هکتار بصورت دیم)، ۱۰ میلیون تن و ۱۶۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO.org, 2022). گندم دیم استان گلستان با سطحی معادل ۲۸۵/۶ هزار هکتار و

عملکرد ۲/۲۴ تن در هکتار (حدود ۸۰/۷ درصد سطح زیر کشت و ۶۶/۷ درصد تولید گندم استان) جایگاه خاصی را در زراعت گندم منطقه دارد (Iran Statistics Center, 2017). تولید گندم در دیم‌زارهای گرمسیر کشور به دلیل عواملی از قبیل حجم و پراکنش بارش، خشکی آخر فصل، گرما و بروز بیماری‌ها با محدودیت‌های فراوانی روبرو می‌باشد بنابراین توسعه ارقام پرمیانسیل، دارای قابلیت بالا برای جذب ریزمغذی‌ها و متحمل به تنش‌ها امری ضروری است. علاوه بر کودهای اساسی (NPK) که نقش مهمی در بهبود عملکرد کمی محصولات دارند، عناصر میکرو نیز نقش کلیدی در بهبود عملکرد کیفی محصولات و حتی سلامت انسان دارند و نگرانی اصلی برای سوء تغذیه در سطح جهان است (Broadley et al., 2012).

محلول‌پاشی عناصر میکرو به جذب سریع عناصر از اندام‌ها و بافت‌های محصول کمک می‌کند (Azam Shah, Mohammad, Shahzadi, Elahi, Basir, & Haroon, 2016). این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک که فشار اسمزی جذب و فعالیت این عناصر را تحت تأثیر رفتار گیاه و زمان‌بندی محلول‌پاشی افزایش می‌دهد، اهمیت ویژه‌ای دارد (Shehata, Abdel-Azem, Abou El-Yazied, & El-Gizawy, 2010). آهن در زنجیره انتقال الکترون و سیتوکروم شرکت می‌کند (Rehman Farooq, Ozturk, ASIF, & Siddique, 2018) و نقش اساسی در سنتز کلروفیل، نمو کلروپلاست، انتقال الکترون، فتوسنتز و متابولیسم گیاهان دارد (Ghasemian, Ghalavand, Sorooshzadeh, & Pirzad, 2010). طی بررسی گزارشی از واکنش گندم دوروم به محلول‌پاشی با منابع مختلف و میزان کودهای آهن نشان داد کاربرد آهن باعث افزایش فعالیت تمام آنزیم‌های برگ، کلروفیل برگ، پروتئین دانه، محتوای آهن و عملکرد دانه شده، ولی نوع کود آهن تأثیری بر فعالیت آنزیم‌ها نداشت، اما بیشترین میزان کلروفیل، عملکرد دانه، آهن دانه و محتوای پروتئین با استفاده از ۲ گرم در لیتر نانو اکسید آهن، نسبت به سایر کودها (سولفات آهن و کلات آهن) حاصل شد و بعد از آن ۸ گرم در لیتر سولفات آهن برای تولید گندم دوروم پیشنهاد گردید (Ghafari, & Razmjoo, 2015). نتایج دو ساله در مطالعه‌ای برای تعیین تأثیر کاربردهای روی و آهن بر عملکرد گندم، جذب روی و آهن و غلظت آن در دانه، نشان داد که محلول‌پاشی روی باعث افزایش غلظت روی و غلظت آهن در دانه‌ها به ترتیب ۹۹ و ۸ درصد شد. محلول‌پاشی آهن باعث افزایش ۲۱ درصدی غلظت آهن و ۱۳ درصدی غلظت روی در دانه شد (Pahlavan Rad, & Pessarakli, 2009).

روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیک سلول، محافظت غشاء در مقابل ROS و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها ایفا می‌کند (Marschner, 1995). طبق گزارشی کاربرد روی به صورت محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد، غلظت روی دانه و بهبود جوانه‌زنی با روی در مقایسه با ارقام تیمار نشده گندم شد (Shariatipour, Alavikia, & Moghaddam, 2020). نتایج مطالعه‌ای ۳ ساله برای تعیین پاسخ ارقام گندم به محلول‌پاشی سولفات روی یک مرحله (ظهور سنبله) و دو مرحله (گلدهی و ظهور سنبله) بر روی کانوپی گیاه مشاهده شد، کاربرد روی در مرحله ظهور سنبله غلظت روی دانه را به میزان ۸/۵ تا ۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد و با کاربرد عنصر روی در هر دو مرحله گلدهی و ظهور سنبله غلظت عنصر روی به ۴۴/۳ و ۵۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (در سال دوم و سوم) رسید. کاربرد دو بار استفاده از روی برای تولید دانه‌های با غلظت روی بالاتر از سطح هدف ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ضروری بود (Keshavarzafshar, Chen, Zhou, Etemadi, Huaqin & Zhao, 2020).

کمبرود هر یک از عناصر آهن و روی باعث بی‌نظمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل می‌شود و موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت کاهش کمی و کیفی محصول، نمو ریشه و اندام هوایی، کاهش مقاومت محصول در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Dimkpa & Bindraban, 2017).

محققین با بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی سه رقم گندم نشان دادند که بین ارقام گندم در اثر محلول‌پاشی با آهن و روی از لحاظ عملکرد دانه، میزان روی و آهن اختلاف معنی‌دار وجود دارد. محققین در رابطه با واکنش چند رقم گندم نان به محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک‌های متفاوت به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن در هر دو منطقه با pH و شوری بالا نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلاته این عناصر داشت. در نهایت کشت ارقام جدید و محلول‌پاشی فرم‌های سولفات روی و آهن برای تولید گندم در شرایط مشابه توصیه شد (Arzamjo, Behdani, Sohrabi, & Sadeghzadeh, 2016).

اثربخش بودن محلول‌پاشی عناصر ممکن است به عوامل متعددی بستگی داشته باشد که یکی از این عوامل مرحله رشد گیاه است. در این زمینه محققین نشان دادند که بیشترین غلظت روی در دانه گندم زمانی حاصل شد که محلول‌پاشی روی پس از مرحله گلدهی در مقایسه با کاربرد قبل از مرحله گلدهی استفاده شود (Cakmak, Pfeiffer, & McClafferty, 2010; Ozturk et al, 2006). طی بررسی دیگری از اثر محلول‌پاشی آهن بر عملکرد ارقام دیم به این نتیجه رسیدند که بهترین و مناسب‌ترین زمان محلول‌پاشی آهن برای گندم دیم در شرایط اقلیمی کرمانشاه زمان پنجه‌زنی گندم است (Yeganehpour, Kehrarian, Biginia, Moinirad, & Hosni Asl, 2012). همچنین در ارزیابی اثر عناصر کم مصرف آهن و روی بر عملکرد کمی و کیفی گندم تحت تنش شوری در اقلیم خوزستان کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود روی (خاک کاربرد) و دو ونیم کیلوگرم در هکتار کود آهن (کودآبیاری) در مرحله پنجه‌زنی در خاک‌های شور استان خوزستان پیشنهاد شد (Jafarnjadi, MeskiniVishka, MousaviFazl, LotfaliAine, & Behbahani, 2022). سلیم و همکاران (Selim, Adhikary, AlamMondal, AlamNadim & Akter, 2023) نیز با محلول‌پاشی روی شش درصد بر گیاه ماش در بنگلادش، افزایش تعداد گل، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف گزارش کردند و افزایش عملکرد دانه و کاهش روز تا گلدهی را نسبت به شاهد اعلام کردند. گنجی و همکاران (Ganji, Khorgami, & Rafiei, 2013) نتیجه گرفتند که تیمار محلول‌پاشی روی از اثر بخشی بیشتری نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی (آهن و بور) بر عملکرد دانه ارقام دیم در آزمایش برخوردار است. بنابراین نیترژن بصورت ترکیب با خاک و محلول‌پاشی روی و آهن، می‌تواند یک عمل کشاورزی خوب برای افزایش محتوای پروتئین و غلظت روی و آهن در غلات باشد و می‌تواند راهبرد امیدوارکننده‌ای برای رفع کمبود شود (Kamai, & Isvand, Zhang, Chen, , & Wang, 2021). اما تعیین حد بحرانی عناصر غذایی کم مصرف از اولویت‌های تحقیقاتی برای کاربرد و توصیه کودهای آهن، روی، در گندم دیم می‌باشد زیرا این حدود بحرانی می‌تواند اساسی در تشخیص نیاز و یا عدم نیاز به کاربرد این عناصر غذایی در خاک‌های مناطق مورد مطالعه باشد (Faizi Asl, Valizadeh, Toshih, Taliei, & Belson, 2004). در این رابطه بلالی و همکاران (Bilali, Malkuti, Mashayikhi, & Khademi, 2000) بیان کردند محدوده حد بحرانی آهن در کشور از دو تا هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و حد بحرانی روی را در خاک برای گندم آبی در شمال غرب کشور به طور متوسط ۰.۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کردند

و همچنین فیضی اصل (Faizi Asl, 2009) حد بحرانی ۰.۵۵ میلی گرم در کیلوگرم به عنوان حد بحرانی روی در خاک برای گندم دیم رقم سرداری در شمال غرب کشور اعلام کرد.

هدف از مطالعه‌ی محلول‌پاشی آهن و روی در ارقام گندم آسمان و پایا در شرایط دیم، برای بالا بردن تحمل گیاهان زراعی به شرایط نامساعد محیطی رشد، بالا بردن عملکرد و اجزای آن و نیز میزان آهن و روی و پروتئین دانه بود، اخیراً ارقام دیم گندم آسمان و پایا به علت عملکرد بیشتر و مقاومت به بیماری‌ها و کیفیت خوب نانوائی جایگزین رقم‌های دیگر در استان گلستان شده است، ولی از خصوصیات زراعی این ارقام از جمله واکنش آن نسبت به کودهای ریزمغذی نظیر روی و آهن در دانه اطلاعات خاصی وجود ندارد. لذا در این تحقیق اثر مصرف کود روی و آهن و زمان محلول‌پاشی مناسب در شرایط آب و هوایی گنبدکاووس بر ویژگی‌های کمی و کیفی دانه گندم ارقام آسمان و پایا مطالعه شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبدکاووس (استان گلستان) طی سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. خصوصیات منطقه مورد مطالعه ارتفاع از سطح دریا ۴۵ متر و طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۱۲° و ۵۵°۵۵ درجه شرقی و ۱۶° و ۳۷°۳۷ درجه شمالی و بر اساس آمار هواشناسی گنبدکاووس، متوسط بارش بلندمدت حدود ۴۵۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۸/۷۳ درجه سانتیگراد است (جدول ۱). عامل اول محلول‌پاشی عناصر در سه سطح شامل: عدم مصرف ریزمغذی (آب خالص)، محلول‌پاشی کلات روی چهار در هزار و کلات آهن شش در هزار و عامل دوم زمان‌های محلول‌پاشی در سه سطح شامل محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌دهی، ساقه‌رفتن و پرشدن دانه بر عامل سوم ارقام گندم آسمان و پایا است و در کل تعداد ۱۸ تیمار در هر تکرار کشت شد.

جدول ۱: آمار هواشناسی بلند مدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبدکاووس (۱۳۷۱-۱۴۰۰)

Table 1 Long-term meteorological statistics of Gonbad Kavous synoptic meteorological station(1992-2022)

	میانگین ۳۰ ساله	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین
میزان بارندگی (میلیمتر)	454.1	60.8	63.4	39.3	48.0	41.2	33.4	17.4	25.0	20.4	14.5	39.0	51.9
میانگین دما هوا (درجه سانتیگراد)	18.73	10.8	8.6	8.8	10.7	15.8	21.8	27.5	30.0	29.3	26.4	20.3	14.9

قبل از کاشت، ابتدا نمونه برداری خاک در عمق های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد.
(جدول ۲) هر کرت شامل ۶ خط کاشت به طول چهار متر و فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی متر بود. کاشت به صورت دستی صورت گرفت.

نسخه پیش انتشار

جدول ۲: خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ۶۰ سانتی متر)

Table 2. Physical and chemical properties of soil (depth 0 to 60cm)

نسبت جذب سدیم SAR	سدیم Meq l ⁻¹	منیزیم Meq l ⁻¹	کلسیم Meq l ⁻¹	مس ppm	روی ppm	منگنز Mn ppm	آهن Fe ppm	کلاس بافت خاک سیلت رس شن Si.C.L	درصد ماسه Sand%	درصد لای Silt%	درصد رس Clay%	پتاسیم قابل جذب K ppm	فسفر قابل جذب P ppm	درصد ازت کل Total N%	درصد کربن الی O.C%	درصد مواد خشکی T.N.V%	اسیدیته گل اشباع PH	هدایت الکتریکی ds m-1	عمق خاک Cm
8.58	23.5	10	5	۱,۶۳	۰,۶۸	2.52	0.97	Si.C.L	۱۰	۵۲	۳۸	۴۳۳	11.1	0.12	1.19	10.8	7.82	2.6	۳۰
8.25	17.5	4.5	۴,۵	1.59	۰,۴۷	1.96	0.74	Si.C.L	۱۱	۵۲	۳۷	۳۲۰	6.9	۰,۱۱	1.05	11.8	7.82	1.9	۶۰ ۳۰

در طول دوره رشد عملیات زراعی مانند کود دهی و مبارزه با علف‌های هرز و آفات بر حسب ضرورت صورت گرفت. تراکم کاشت ۳۰۰ بذر در متر مربع در نظر گرفته شد. کشت به صورت دیم در ۲۱ آذرماه به محض حادث شدن اولین بارندگی موثر و پس از گاورو شدن زمین انجام شد، همچنین عملیات آماده سازی بستر بذر با دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد.

یک هفته پس از اعمال کلیه تیمارها نمونه برداری در سوم اردیبهشت ۱۳۳۳ روز بعد از کاشت انجام شد و کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاراتنوتیید به روش آرنون اندازه گیری شد. مقادیر کلروفیل به میلی گرم بر گرم وزن تر برگ تبدیل شد و غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوتییدها با استفاده از فرمول های رابطه (۱) محاسبه شد (Arnon, 1967; Bagheri, Sinki, Firouzabadi Brothers & Esfahalani, 2013).

$$\text{Chla} = (12/7A663 - 2/69A645) \times V/W \quad \text{روابط (۱)}$$

$$\text{Chlb} = (22/9A645 - 4/68A663) \times V/W$$

$$\text{Chl.total} = (20/2(A645) + 8/02(A663)) \times V/W$$

$$C(x+c) = (7/6A480 - 1/49(A510) \times V/W$$

دراین فرمول Chla، Chlb، Chl.total و C(x+c) به ترتیب کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوتییدها.

V = حجم نهایی استن مصرفی بر حسب میلی لیتر و W = وزن بافت تر است.

برای اندازه گیری میزان پروتئین دانه با روش کجلدال مقدار نیتروژن دانه را در زمان برداشت ۳۱ اردیبهشت ماه ۱۶۱ روز بعد از کاشت بذر برای هر تیمار حساب کرده و با روش تیتراسیون، از روابط (۲) درصد نیتروژن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین نمونه مورد نظر حساب شد. (Helrich, 1990).

$$\text{روابط (۲)} \quad \text{درصد نیتروژن} = \frac{\text{عدد حاصل از تیتراسیون} \times 0.0014}{\text{وزن نمونه (گرم)}} \times 100$$

$$\text{درصد پروتئین} = 5/83 \times \text{میزان نیتروژن}$$

$$\text{درصد پروتئین} \times \text{عملکرد دانه} = \text{عملکرد پروتئین دانه}$$

برای اندازه گیری روی و آهن در دانه، ابتدا یک گرم از نمونه های بذور که از هر کرت آسیاب و وزن شد و در درون بوتله چینی با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد برای چهار ساعت در کوره الکتریکی قرار گرفت و خاکستر بدست آمده برای هر نمونه در اسید کلریدریک دو مولار حل شده و در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد روی هیتر قرار گرفت. پس از خارج شدن اولین بخار محلول بدست آمده صاف شد و به وسیله آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسید و بعد از آن مقدار روی و آهن در محلول های بدست آمده به وسیله دستگاه جذب اتمی خوانده شد (Malkuti, & Homai, 2013).

Melash, Mengistua, Aberraa, & Alemtsehay, 2019

پس از اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی، تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام و مقایسات میانگین در صورت معنی دار بودن مقادیر F با آزمون LSD و در سطح احتمال خطای ۵ درصد ($P \leq 0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثر رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوتییدها و تعداد سنبله در سنبله معنی دار بود. اما بر درصد پروتئین دانه، غلظت آهن و روی دانه و کلروفیل a غیر معنی دار بود؛ همچنین اثرهای تیمار محلول پاشی عناصر

ریزمغذی روی، آهن و آب (بعنوان شاهد)، بجز بر غلظت روی و آهن دانه با سایر صفات اختلاف معنی‌دار نداشت. اثر زمان محلول‌پاشی بر تمامی صفات غیرمعنی‌دار بود. اثر برهمکنش تیمار رقم $\times$ محلول‌پاشی نسبت به غلظت آهن و روی دانه اختلاف معنی‌دار نشان داد و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثرات برهمکنش تیمار رقم $\times$ زمان محلول‌پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار و بر روی سایر صفات غیرمعنی‌دار بود. اثر برهمکنش تیمار محلول‌پاشی $\times$ زمان محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بود. همچنین اثرات برهمکنش رقم $\times$ محلول‌پاشی $\times$ زمان محلول‌پاشی بر روی صفات تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول 3).

نسخه پیش‌نویس انتشار

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط محلول پاشی ارقام گندم دیم در زمان های مختلف

Table 3. Results of Analysis of variance foliar application of zinc and iron at different developmental stages on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of dryland wheat

منابع تغییر	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت HI	تعداد سنبلیچه Number of spikes	پروتئین دانه Grain protein	آهن دانه Grain Fe	روی دانه Grain Zn	کلروفیل a Chlorophylla	کلروفیل b Chlorophyllb	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئیدها Carotenoid
تکرار Replication	2	55134.57**	46.99ns	0.69ns	0.1۲۳ns	92.99ns	5.91ns	0.0085ns	0.0007ns	0.014ns	9.73ns
ارقام cultivars	1	47348.17**	438.61**	9.37*	0.0۳۶ns	134.39ns	0.78ns	0.01ns	0.0053*	0.031*	29.83*
محلول پاشی Foliar application	2	4127.46ns	3.127ns	0.36ns	0.۶۹۹ns	27343.5**	428.41**	0.0045ns	0.0028ns	0.014ns	8.08ns
زمان محلول پاشی Time Foliar application	2	6101.79ns	54.56ns	1.2ns	0.۱۷۱ns	546.1ns	3.99ns	.0004ns	0.0003ns	0.001ns	1.17ns
رقم*محلول پاشی cultivar* Foliar application	2	7614.39ns	57.21ns	1.26ns	0.4۲۲ns	1521.84*	9.65*	0.0009ns	0.0012ns	0.003ns	1.7ns
رقم*زمان محلول پاشی Time foliar application* cultivar	2	41952.39**	122.58ns	2.62ns	1.۲۹۶ns	294.23ns	2.33ns	0.0005ns	0.0002ns	0.0005ns	1.85ns
محلول پاشی*زمان محلول Time Foliar application*Foliar application	4	5293.3ns	16.6ns	1.46ns	0.۶۸ns	186.65ns	0.97ns	0.0011ns	0.0007ns	0.0024ns	1.52ns
رقم*محلول پاشی*زمان cultivar* Foliar application*Time Foliar application Error	4	12214.1ns	34.12ns	0.26ns	1.۶۵۲ns	250.24ns	2.38ns	0.0023ns	0.0008ns	0.056ns	4.12ns
خطا Error	34	6308.04	54.06	2.007	0.۷۲۳	400.91	3.07	0.0031	0.001	0.0073	7.011
cv(%) ضریب تغییرات		12.29	27.55	12.61	4.91	18.55	9.1	24.03	25.18	25.91	25.62

عملکرد دانه

نتایج جدول مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین میزان عملکرد مربوط به رقم پایا با میانگین ۶۷۵ کیلوگرم در هکتار با شاخص برداشت ۲۹/۵۳ درصد حاصل شد در حالیکه عملکرد رقم آسمان ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار با شاخص برداشت ۲۳/۸۳ درصد به دست آمد. مقایسه میانگین اثر رقم×زمان محلول‌پاشی نیز بر عملکرد تأثیرگذار بود و بهترین عملکرد در رقم پایا با محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی با میانگین عملکرد ۷۲۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). کشاورز افشار و همکاران (Keshavarzafshar et al, 2020) در آزمایش خود بیان کردند کاربرد روی باعث افزایش اندک عملکرد دانه شد که با این حال، این افزایش عملکرد برای جبران هزینه‌های تولید اضافی مرتبط با مصرف روی کافی نبود. در شرایط اعمال مدیریت زراعی در مناطق دیم، انتخاب رقم مناسب برای منطقه و تغذیه مطلوب به شرایط محیطی به ویژه بارندگی بستگی دارد. با توجه به خشکسالی ایجاد شده در سال زراعی اجرای آزمایش، آب به‌عنوان عامل محدود کننده، مانع افزایش معنی‌داری بین عملکرد دانه تیمارهای محلول‌پاشی با شاهد شد (جدول ۶). اصولاً تغذیه گندم در دیمزارها نسبت به اراضی آبی از پیچیدگی بیشتری برخوردار است؛ زیرا که در چنین شرایطی، مدیریت عناصر غذایی باید بر اساس رژیم رطوبتی مورد انتظار در منطقه باشد استفاده از آزمون خاک و توجه به حد بحرانی عناصر کم‌مصرف در خاک‌های زراعی گندم دیم، مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد بهینه تنظیم شود زیرا با کاهش بارندگی و دمای خاک، حد بحرانی عناصر غذایی در خاک (محدودیت جذب عناصر غذایی) افزایش می‌یابد و این شرایط مطابق با جدول ۲ و ۵، میزان آهن و روی (۰.۹۷ و ۰.۶۸) خاک نیاز به توجه و محاسبه حد بحرانی این عناصر است که احتمالاً میزان روی بیشتر از حد بحرانی می‌باشد. در این رابطه بلالی و همکاران (Bilali et al., 2000) بیان کردند محدوده حد بحرانی آهن در کشور از دو تا هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و فیضی اصل (Faizi Asl, 2009) نیز حد بحرانی ۰.۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را به عنوان حد بحرانی روی در خاک برای گندم دیم رقم سرداری در شمال غرب کشور اعلام کرد.

جدول ۴: مقایسه میانگین تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گندم

Table 4. Mean comparison of Fe and Zn Foliar application effects at different developmental stages on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of dryland

wheat										
تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)	شاخص برداشت HI(%)	تعداد سنبلیچه Number of spikes	پروتئین دانه Grain protein(%)	آهن دانه Grain Fe(ppm)	روی دانه Grain Zn(ppm)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g FW-1)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g FW-1)	کلروفیل کل Chlorophyll total (mg g FW-1)	کاروتنوئیدها Carotenoid
ارقام a										
آسمان	616.3b	23.837b	10.81 b	17.26a	109.51 a	19.14 a	0.25 a	0.107 a	0.35 a	11.07 a
پایا	675.52 a	29.537a	11.64 a	17.31a	106.36 a	19.38 a	0.22 a	0.087 b	0.30 b	9.59 b
محلول پاشی b										
شاهد control	629 a	26.67 a	11.39 a	17.08a	75.51 c	16 b	0.22 a	0.091 ab	0.31 a	9.8 a
آهن application Fe foliar	650.5 a	27.11 a	11.11 a	17.47a	151.18 a	16.89 b	0.25 a	0.11 a	0.36 a	11.08 a
روی Zn foliar application	658.22 a	26.28 a	11.19 a	17.31a	97.12 b	24.88 a	0.22 a	0.087 b	0.31 a	10.1 a
زمان محلول پاشی c										
پنجه زنی Tillering	665.06 a	28.69 a	11.11 a	17.37a	102.15 a	19.01 a	0.237 a	0.101 a	0.339 a	10.56 a
ساقه دهی	644.33 a	25.77 a	11.52 a	17.18 a	108.54 a	19.81 a	0.238 a	0.097 a	0.335 a	10.42 a
Shoot elongation										
پرشدن دانه grain filing	628.33 a	25.58 a	11.05 a	17.31a	113.12 a	18.98 a	0.228 a	0.092 a	0.321 a	10.04 a

میانگین ها در هر ستون و برای هر عامل که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون LSD. تفاوت معنی داری ندارند

جدول ۵: نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در زمان محلول پاشی بر عملکرد دانه

Table 5. The results of comparison of the average interaction effects of cultivars at the time of foliar application on grain yield

رقم cultivar	زمان محلول پاشی Time foliar application	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
آسمان Aseman	پنجه زنی Tillering	658.6 b
آسمان Aseman	ساقه دهی Shoot elongation	559.2 d
آسمان Aseman	پر شدن دانه grain filling	631 c
پایا Paya	پنجه زنی Tillering	671.4 b
پایا Paya	ساقه دهی Shoot elongation	729.4 a
پایا Paya	پر شدن دانه grain filling	625.6 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری نشان نمی دهد.

جدول ۶: آمار هواشناسی کوتاه مدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبد کاووس ۱۴۰۱-۱۴۰۲

Table 6. Short-term meteorological statistics of Gonbad Kavous synoptic meteorological station 2022-2023

سال	ماه	دمای هوا (درجه سانتیگراد)						مجموع بارندگی (mm)	مجموع تبخیر (mm)	تعداد روزهای همراه با	
		میانگین حداکثر	میانگین حداقل	میانگین	میانگین حداکثر	میانگین حداقل	میانگین			بارندگی (day)	یخبندان (day)
1401	مهر	18	31.5	24.7	36	83	60	12.3	129.8	6	0
1401	آبان	9.9	22.5	16.2	44	91	67	42.5	66.9	7	0
1401	آذر	6.5	16.6	11.6	55	90	72	27.2	50.1	6	0
1401	دی	0.9	13.9	7.4	40	86	63	8	30.4	6	10
1401	بهمن	1.4	13.9	7.6	43	86	65	19.7	33.7	8	10
1401	اسفند	7.3	22.5	14.9	38	89	64	9.3	80.4	11	1
1402	فروردین	9.5	24.3	16.9	40.4	88.8	64.6	26.6	122.5	5	0
1402	اردیبهشت	14.4	28.9	21.6	38	89	64	33.5	164.5	11	0
1402	خرداد	21.4	35.5	28.4	33	81	57	38.6	253.5	5	0

خصوصیات کیفی

مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها بر برخی خصوصیات کیفی دانه گندم شامل پروتئین، غلظت آهن و روی دانه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین تیمار محلول پاشی بر درصد آهن و روی دانه نشان داد که بالاترین میزان آهن دانه ۱۵۱ پی پی ام نسبت به شاهد ۷۵/۵۱ پی پی ام با محلول پاشی آهن مشاهده شد و بیشترین میزان روی دانه ۲۴/۸۸ پی پی ام نسبت به شاهد ۱۶ پی پی ام با محلول پاشی تیمار روی به دست آمد. طبق گزارش شریعتی پور و همکاران (Shariatipour et al, 2020) کاربرد روی به صورت محلول پاشی باعث افزایش عملکرد و غلظت روی دانه گندم شد.

مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای رقم $\times$ محلول پاشی بر غلظت آهن دانه (جدول ۷) نشان داد که بیشترین میانگین غلظت آهن دانه ۱۵۴ پی پی ام با کاربرد آهن ۶ در هزار در رقم آسمان حاصل شد. و بیشترین میانگین غلظت روی دانه با کاربرد روی چهار در هزار به ترتیب ۲۵/۷۳ پی پی ام در رقم پایا و ۲۴/۰۲ پی پی ام در رقم آسمان بود. محلول پاشی روی و آهن باعث افزایش غلظت و جذب این عناصر غذایی در دانه شد به طوری که محلول پاشی روی موجب افزایش ۵۵ درصدی غلظت روی دانه و محلول پاشی آهن ۱۰۰ درصد غلظت آهن دانه را افزایش داد. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که کاربرد محلول پاشی روی مقدار آهن دانه را نیز افزایش داده است ولی با کاربرد محلول پاشی آهن مقدار روی دانه تغییر معنی داری نداشت. در واقع روی بر آهن اثر سینرژیست یا هم افزایی داشته است که نتایج مشابهی نیز توسط پیرسون و رنگل (Pearson & Rengel, 1994) و کوچیان (Kochian, 1991) گزارش شده است. احتمالاً غلظت این عناصر در بافت های گیاهی با محلول پاشی آنها افزایش یافته است. سپس این عناصر در دانه ها دوباره توزیع شدند. مقدار هر عنصر غذایی در انتقال مجدد از طریق آوند آبکش تا حد زیادی به تحرک عنصر بستگی دارد (Garnett, & Graham, 2005). پیرسون و رنگل (Pearson et al, 1994) توزیع و انتقال مجدد روی و منگنز در طول رشد دانه در گندم را بررسی کردند و دریافتند که روی انتقال مجدد خوبی را نشان داد، اما انتقال مجدد منگنز ضعیف بود که بیان کردند روی و منگنز ممکن است از مسیر استفاده شده توسط عناصر فسفر، پتاسیم و کربوهیدرات ها برای ورود به دانه استفاده نکنند. به گفته کوچیان (Kochian, 1991) آهن دارای تحرک آبکش متوسط بوده است و به نظر کشاورز افشار و همکاران (Keshavarzafshar et al, 2020) کاربرد دو بار استفاده از روی برای تولید دانه های با غلظت روی بالاتر از سطح هدف ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم ضروری است. نتایج آزمایشی دو ساله نشان داد که محلول پاشی روی باعث افزایش غلظت روی و غلظت آهن در دانه ها به ترتیب ۹۹ و ۸ درصد شد. محلول پاشی آهن باعث افزایش ۲۱ درصدی غلظت آهن و ۱۳ درصدی افزایش غلظت روی در دانه شد (Pahlavan Rad et al, 2009). نتایج حاصله نشان از عدم تاثیر مصرف کود آهن و روی در مراحل مختلف رشد و ارقام مختلف بر میزان پروتئین دانه داشته است. در این رابطه به کاربرد تقسیمی نیتروژن بصورت ترکیب با خاک همراه محلول پاشی روی و آهن، می توان اشاره کرد که بعلت خشکسالی و عدم جذب مناسب اوره و کاهش نیتروژن، محلول پاشی آهن و روی بر محتوای پروتئین دانه گندم موثر نشد (جدول ۴).

جدول ۷: نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در محلول پاشی بر روی برخی صفات مورد مطالعه در گندم

Table ۷. Mean comparison results of interaction effects of cultivars in Foliar application Zn, Fe
تیمار تیمار

رقم cultivar	محلول پاشی Foliar application	آهن دانه Grain	روی دانه Grain
		Fe (ppm)	Zn (ppm)
آسمان Aseman	شاهد control	67.16 f	15.91 d
آسمان Aseman	آهن آهن Fe foliar application	154.45 a	17.5 b
آسمان Aseman	روی روی Zn foliar application	106.92 c	24.02 a
پایا Paya	شاهد control	83.86 e	16.15 c
پایا Paya	آهن آهن Fe foliar application	147.9 b	16.28 c
پایا Paya	روی روی Zn foliar application	87.32 d	25.73 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی داری نشان نمی دهد.

صفات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ارقام بر محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها معنی دار بود (جدول ۳). با مقایسه میانگین تیمار ارقام مشخص شد میزان کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در رقم پایا نسبت به رقم آسمان بالاتر است. اما سایر تیمارها بر صفات کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها غیرمعنی دار شد (جدول ۴). غریب عشقی و همکاران (Gharib Eshghi, Adelzadeh, Shiri, & Shahbazi, 2009) طی آزمایشی بر ژنوتیپ‌های گندم نشان دادند که ژنوتیپ‌های متحمل تر به شرایط تنش در گندم دارای غشاء سیتوپلاسمی پایدارتر و غلظت کلروفیل بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس تر داشتند. طبق بررسی محققین کاربرد آهن باعث افزایش فعالیت تمام آنزیم‌های برگ و کلروفیل برگ، پروتئین دانه، محتوای آهن، کربوهیدرات دانه و عملکرد دانه می‌شود (Ghafari et al., 2015). آرزمجو و همکاران (Arzamjo et al., 2016) طی مطالعه‌ی واکنش چند رقم گندم نان به محلول پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک متفاوت به این نتیجه رسیدند که محلول پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول پاشی سولفات روی و آهن در هر دو منطقه با pH و شوری بالا نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلات روی و آهن دارد. درنهایت کشت ارقام جدید و محلول پاشی فرم‌های سولفات روی و آهن برای تولید گندم توصیه گردید.

نتیجه گیری

محلول پاشی روی و آهن به عنوان یک روش مدیریتی برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گندم در شرایط دیم، اگرچه منجر به افزایش معنی داری در غلظت عناصر روی و آهن در دانه به میزان ۵۵ و ۱۰۰ درصد شد، اما اثر معنی داری بر افزایش عملکرد دانه، شاخص برداشت و پروتئین دانه در شرایط خشکسالی حاکم بر منطقه مطالعه نداشت. این امر نشان می‌دهد که عوامل دیگری مانند تنش آبی، مدیریت زراعی نامناسب و خصوصیات ژنتیکی رقم، نقش تعیین کننده‌تری در عملکرد گندم دارند. انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط محیطی، از جمله عواملی است که می‌تواند به بهبود عملکرد گندم کمک کند. در این تحقیق، رقم پایا با میانگین عملکرد ۶۷۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بهتری نسبت به رقم آسمان با میانگین عملکرد ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار داشت. همچنین، اثر رقم×زمان محلول پاشی نیز بر عملکرد تأثیرگذار بود و بهترین عملکرد در رقم پایا با

محلول پاشی در مرحله ساقه‌دهی با میانگین عملکرد ۷۲۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در نهایت، به نظر می‌رسد با استفاده از محلول پاشی روی و آهن می‌توان عملکرد کیفی گندم در خاک‌هایی که با کمبود روی و آهن مواجه هستند را بهبود بخشید اما این روش به‌زراعی می‌تواند بعنوان راهکار کوتاه مدت برای کاهش مشکلات تغذیه‌ای ناشی از کمبود این عناصر و بهبود شاخص‌های امنیت غذایی مورد کاربرد قرار گیرد. و برای راهکار بلند مدت و افزایش عملکرد با مصرف خاکی روی و آهن برای سال‌های متعدد پیشنهاد شود.

سپاسگزاری

از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس به جهت تامین اعتبار پروژه و ریاست محترم ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبدکاووس جهت تامین بذر ارقام مورد مطالعه و همکاری لازم صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

1. Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23:112-121.
2. Arzamjo, A., Behdani, M.A., Sohrabi, M., Sadeghzadeh, B. 2016. Reaction of several varieties of bread wheat to foliar application of different forms of zinc and iron in two areas with different soils. *Iranian Agricultural Research Journal*. Volume 16, Number 1, pp. 203 to 216.
3. Azam Shah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R. Al. A., Basir, A., Haroon, A. 2016. The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. *Iran Agric Res*, 35(1): 89–94.
4. Bagheri, A., Sinki, J.M., Firouzabadi Brothers, M., Esfahalani, M.A. 2013. The effect of salicylic acid foliar spraying on the amount of pigments and chlorophyll fluorescence of sesame cultivars under the condition of interruption of irrigation. *Journal of Crop Ecophysiology*, Volume 7, Number 3, pp. 327-340.
5. Bilali, M.R., Malkuti, M.J., Mashayikhi, H., Khademi, Z. 2000. The effect of micronutrient elements on increasing yield and determining their critical limit in Iranian water wheat cultivated soils. *Journal of Soil Research*, Volume 12, Number 6 (special paper on wheat).
6. Broadleyet, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. 2012. Functions of nutrient:micronutrients. Marschner P (ed) *Marschner's mineral nutritionof higher plants*, 3rd edn. Elsevier, Oxford, Pp 243–248.
7. Cakmak, I., Pfeiffer, W H., McClafferty., 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry*, 87: 10–20.
8. Dimkpa, O., Bindraban, S. 2017. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production. *Agron Sustain Dev*, 36(7):5–33.
9. Faizi Asl, v. 2009, comparison of different methods of determining the critical limit of zinc in soils under dry wheat cultivation. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, Volume 22, Number 2, 2017
10. Faizi Asl, V., Valizadeh, G. R., Toshih, V., Taliei, A. A., Belson, V. 2004. Determining the critical limit of low consumption elements in rainfed wheat soils in northwest Iran. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*. Period 5. Number 4.
11. Ganji, K., Khorgami, A., Rafiei, M., 2013. The effect of foliar application of zinc, iron and boron on the yield and yield components of three varieties of rainfed wheat (Kohdasht, Karim and Zagros) in Kohdasht region, the first national conference on agriculture and Sustainable natural resources of Tehran.
12. Garnett, T. P., and R. D. Graham. 2005. Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. *Annals of Botany* 95:817–826.
13. Ghafari, H., Razmjoo, J. 2015. Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. *J. Agr. Sci*, 17: 321-331.
14. Gharib Eshghi, A., Adelzadeh, R. , Shiri, M.R. , Shahbazi, K. 2009. The effect of winter cold on cytoplasmic membrane stability, chlorophyll content and crown depth in a number of spring and winter wheat genotypes in Ardabil region. *Crop production magazine*. 3(2): 255-262.
15. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Sorooshzadeh, A., Pirzad, A. 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology*. 2: 73-79.
16. Helrich, K. 1990 .Association of official analytical chemists. 15th Edition. Volume 1. AOAC, Incorporated. Pp: 673.
17. <https://www.FAO.org/>
18. Iran Statistics Center - Summary of the results of the agriculture statistics plan - 2017
19. Jafarnjadi, A., MeskiniVishkai, F., MousaviFazl, M.H., LotfaliAine, G.A., Behbahani, L. 2022. Evaluation of the effect of low-consumption elements of iron and zinc on the quantitative and qualitative yield of wheat

- under salt stress in Khuzestan climate. *Agricultural Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, Volume 44, Number 4.
20. Kamai, H., Isvand, H.R. 2019. The effect of iron, zinc and manganese solution spraying on physiological, agronomic and protein traits of wheat under end-of-season heat stress. *Environmental tensions in agricultural sciences*. Volume 13, Number 1, pp. 285-295.
 21. Keshavarzafshar, R., Chen, Ch., Zhou Sh., Etemadi, F., Huaqin, He., Zhaowei, Li., 2020. Agronomic and economic response of bread wheat to foliar zinc application.
 22. Kochian, L. V. 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants. In *Micronutrients in agriculture*, ed. J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, 229–296. Madison, Wisc.: Soil Science Society of America..
 23. Malkuti, M.J., Homai, M. 2013. Fertility of soils in arid and semi-arid regions. Publications of TarbiatModares University, Tehran, second edition, 488 pages.
 24. Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.
 25. Melash, A.A., Mengistua, D.K., Aberraa, D.A., Alemtsehay, T. 2019. The influence of seeding rate and micronutrients foliar application on grain yield and quality traits and micronutrients of durum wheat, *Journal of Cereal Science*, 85: 221-227.
 26. Ozturk, L., Yazici, M.A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.J., Sayers, Z., Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiol. Plant*, 128: 144-152.
 27. Pahlavan Rad, M.R., Pessarakli, M. 2009 . Response of Wheat Plants to Zinc, Iron, and Manganese Applications and Uptake and Concentration of Zinc, Iron, and Manganese in Wheat Grains. *Soil Science and Plant Analysis*, 40:7-8.
 28. Pearson, J. N., and Z. Rengel. 1994. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany* 45:1829–1835.
 29. Rehman, A., Farooq, M., Ozturk, L., Asif, M., Siddique, K.H.M. 2018. Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant Soil*, 422:283–315.
 30. Selim, R., Adhikary, S., AlamMondal, M., AlamNadim, K., Akter, B. 2023. Foliar Application of Different Levels of Zinc and Boron on the Growth and Yield of Mungbean *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 11(8): 1415-1421 .<https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i8.1415-1421.6107>.
 31. Shariatipour, N., Alavikia, S., Moghaddam, M., Velu, G., Heidari, B. 2020. Foliar Applied Zinc Increases Yield, Zinc Concentration and Germination in Wheat Genotypes.
 32. Shehata, S.M., Abdel-Azem, H.S., Abou El-Yazied, A., El-Gizawy, A.M. 2010. Interactive effect of mineral nitrogen and biofertilization on the growth, chemical composition and yield of Celeriac plant. *Eur. J. Sci. Res*, 47: 248–255.
 33. Singh, B. R., Timsina, Y. N., Lind, O.C., Cagno, S., Janssens, K. 2018. Zinc and Iron Concentration as Affected by Nitrogen Fertilization and Their Localization in Wheat Grain. *Frontiers in plant Science*, 9:307.
 34. Yeganehpour, F., Kehrarian, B., Biginia, V., Moinirad, A., Hosni Asl, N. 2012. The effect of iron application on some morphological and qualitative traits of dry wheat. *Journal of Agricultural Sciences*, fifth year, number 19, pp. 125-135.
 35. Zhang, P-P., Chen, Yu-lu., Wang Ch-y., MA, G., Lu, J-j., Liu J-B., Guo, T-C. 2021. Distribution and accumulation of zinc and nitrogen in wheat grain pearling fractions in response to foliar zinc and soil nitrogen applications. *Journal of Integrative Agriculture*. 20(12): 3277–3288.