University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 1, pp. 1-18 (Spring 2023)

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4234.2000

Original article

The effect of foliar application of nutrients and humic acid on grain yield and quality of bread wheat cultivars under drought stress

A.R. Mehrinfar[1], M. Rezaei Moradali[2], T. Mirmahmoody[3*], S. Yazdan Seta[3], S. Yazdan Setad[2]

1. PhD student in Plant Physiology, Department of Agriculture, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran
2. Seed and Plant Improvement Research Department, West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran
3. Assistant Professor, Department of Agriculture, Mahabad branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Received 12 April 2021; Accepted 18 May 2022

Extended abstract

Introduction

Absorption of nutrients from the soil depends on soil moisture, fertilizer application, soil nutrients and other factors. Foliar application of nutrients under water stress is one of the ways to reduce the effect of stress on the quantity and quality of agricultural products. Today, in many countries, a variety of organic acids such as humus fertilizers are used to improve the quantity and quality of crops and orchards. These fertilizers can be used with irrigation, foliar application, hydroponic cultivation, soil application and seed inoculation. One of the objectives of this project was to identify new wheat cultivars tolerant to water stress condition and use micro elements to introduce suitable cultivars and the effect of these elements in increasing grain yield.

Materials and methods

In order to study the effect of foliar application of nutrients on grain yield and grain quality of bread wheat cultivars in conditions of water stress, the field studies were carried out during 2017-2018 and 2018-2019 at the Agricultural Research Station of Miandoab, in West Azerbaijan province, Iran (46º 3´ E, 36º 58´ N, altitude 1142 m). The experiment was performed as a factorial split plot in a randomized complete block design with three replications. Irrigation treatments in the main plots were included stopping irrigation at flowering stage until maturity and full irrigation until seed maturity. Sub-plots were foliar application treatments with zinc, potassium, phosphorus, magnesium and humic acid with four cultivars of wheat included Orum, Zare, Mihan and Heidari Each plot was planted in six rows with a length of four meters and a width of 1.2 meters at row intervals of 20 cm. Foliar application of micro elements was at the time of spike emergence and before flowering. Grain yield in the final harvest stage and removal of half a meter from the beginning and end of each plot was performed by a combine of grain experiments. After final sampling, 30 g of seeds per plot after digestion was used to measure micro elements in the grain using an atomic absorption. Combined analysis of variance of data from two years of study and drawing graphs was performed using MSTATC, SPSS and Excel software.

*Correspondent author: Toraj Mirmahmoody; E-Mail: toraj73@yahoo.com

© 2023, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Results and *discussion*

In this study, foliar application of zinc, increased 1000-grain weight, grain yield, harvest index, iron, manganese, zinc, and copper content in grin under normal irrigation by 9.30, 15.99, 18.30, 35.35, 102.10, 18.34, and 20.45 percent respectively under normal conditions and by 9.73, 4.36, 9.00, 41.81, 65.51, 43.24 and 29.78 percent respectively under drought conditions, Under normal irrigation conditions, foliar application of zinc in Mihan cultivar had the highest 1000-grain weight, grain yield, harvest index, manganese, zinc, and copper content in grain. Under drought stress conditions, the highest 1000-grain weight, grain yield, harvest index, manganese, and zinc content were allocated to foliar application of zinc in the Mihan cultivar. In this study, foliar application with zinc, potassium, phosphorus, and humic acid treatments in Mihan cultivar had equal grin yield and more than the control foliar application under normal irrigation conditions and was able to replace some of the water requirement of plant, Therefore, foliar application of these treatments along with selecting the appropriate cultivar can be a solution to improve the quantitative and qualitative yield of wheat in areas where the plant experiences periods of water deficit stress with different intensities.

Conclusions

Considering the favorable effect of foliar application of nutrients, especially zinc and humic acid on the quality and quantity of wheat grains, it is suggested that extension projects be carried out to transfer these results to farmers. Also, due to higher grain yield and high grain quality of Mihan cultivar, it is suggested that this cultivar gradually replace the previous cultivars.

***Keywords*:** Grain weight, Manganese, Micronutrients elements, Water deficit

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲

http://dx.doi.org/10.22077/escs.2022.4234.2000

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی و اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت دانه ارقام گندم نان در شرایط تنش خشکی

علیرضا مهرین‌فر[۱]، محمد رضایی مراداعلی[۲]، تورج میرمحمودی[۳*]، سامان یزدان‌ستا[۳]، سوران شرفی[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاداسلامی، مهاباد، ایران

۲. دانشیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

۳. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مهاباد، دانشگاه آزاداسلامی، مهاباد، ایران

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
عناصر کم‌مصرف
کم‌آبی
منگنز
وزن دانه

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۲/۲۸

تاریخ انتشار:
بهار ۱۴۰۲
۱۸-۱ :۱۶(۱)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر عملکرد و کیفیت دانه ارقام گندم نان آزمایشی در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب در استان آذربایجان غربی انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در دو سطح نرمال و تنش کم‌آبی به کرت‌های اصلی و کرت تیمارهای محلول‌پاشی با عناصر روی، پتاسیم، فسفر، منیزیم و هیومیک اسید و چهار رقم گندم اروم، زارع، میهن و حیدری به‌صورت فاکتوریل به کرت‌های فرعی اختصاص یافت. در این بررسی محلول‌پاشی روی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوی آهن، منگنز، روی و مس را تحت شرایط آبیاری نرمال به ترتیب ۹/۳۰، ۱۵/۹۹، ۱۸/۳۰، ۳۵/۳۵، ۱۰۲/۱۰، ۱۸/۴۳ و ۲۰/۴۵ درصد و تحت شرایط تنش کم‌آبی به ترتیب ۹/۷۳، ۴/۳۶، ۹/۰۰، ۴۱/۴۸، ۶۵/۵۱، ۴۳/۲۴ و ۲۹/۷۸ درصد افزایش داد. تحت شرایط آبیاری نرمال محلول‌پاشی عنصر روی در رقم میهن بالاترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوی منگنز، روی و مس دانه را به خود اختصاص داد، تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز بالاترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوی منگنز و روی دانه به محلول‌پاشی عنصر روی در رقم میهن اختصاص یافت. در این بررسی محلول پاشی رقم میهن با تیمارهای روی، پتاسیم، فسفر و اسید هیومیک عملکرد مساوی و بیشتر از تیمار شاهد محلول‌پاشی تحت شرایط آبیاری نرمال داشت و توانست جایگزین بخشی از آب موردنیاز برای آبیاری شود، بنابراین محلول‌پاشی تیمارهای مذکور همراه با انتخاب رقم مناسب می‌تواند راهکاری برای بهبود عملکرد کمی و کیفی گندم در مناطقی باشد که گیاه دوره‌های از تنش کم‌آبی را با شدت‌های مختلف تجربه می‌کند.

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی جهان است که در سال ۲۰۲۰ بیش‌ترین سطح زیر کشت با میزان ۲۲۱/۳۳ میلیون هکتار (با تولید کل ۷۶۶/۰۳ میلیون تن) را در سراسر جهان به خود اختصاص داد. در همین سال در ایران سطح زیر کشت گندم ۶/۷۰ میلیون هکتار و تولید آن ۱۶/۷۵ میلیون تن بود (USDA, 2020). برآورد شده است که در حدود ۲۰ درصد از کل کالری موردنیاز جمعیت جهان از گندم تأمین می‌شود، گندم سالیانه در سطحی معادل ۱۴/۶ درصد از کل زمین‌های زراعی کشت می‌شود (USDA, 2019). بیشترین میزان بارندگی در مناطقی که بالاترین سطح زیر کشت گندم در ایران را دارند در زمستان و اوایل بهار است و از اواسط بهار با کاهش مقدار بارندگی و رطوبت قابل‌دسترس برای گیاه بر دمای هوا افزوده می‌شود این زمان منطبق بر انتهای دوره رشد گیاه گندم (مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه) است (Oweis and Hachum, 2006)؛ بنابراین از

* نگارنده پاسخگو: تورج میر محمودی. پست الکترونیک: toraj73@yahoo.com

مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید گندم در مناطق خشک و نیمه‌خشک کم‌آبی است، (Zaheer et al., 2019).

یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است، با تکمیل مصرف عناصر غذائی کم‌مصرف از طریق محلول‌پاشی می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید. تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی به گیاه در تحمل تنش‌های مختلف کمک کند. با مصرف کودهای محتوی عناصر ریزمغذی در مرحله نخست عملکرد گیاه افزایش می‌یابد، در مرحله دوم افزایش غلظت این عناصر در محصولات کشاورزی نقش مهمی در افزایش کیفیت غذائی و بهبود سلامتی جامعه دارد (Narimani et al., 2010). محلول‌پاشی عناصر در مقایسه با کاربرد خاکی آن‌ها، مواد غذایی موردنیاز گیاهان را سریع‌تر فراهم می‌کند. علاوه بر این، کارایی محلول‌پاشی بالاتر و هزینه آن نسبت به کاربرد خاکی کمتر است (Yassen et al., 2010).

رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2010) در بررسی اثر تنش خشکی بر کیفیت دانه گندم اعلام نمودند که با کاهش تأمین آب غلظت نیتروژن، فسفر، منگنز و روی دانه افزایش و غلظت پتاسیم، کلسیم، سدیم، آهن و مس دانه کاهش داشت. مکارم و همکاران (Makarem et al., 2019) نشان دادند اثر رقم و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گندم معنی‌دار بود آن‌ها بالاترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه را در رقم Gemmeaza11 همراه با محلول‌پاشی عناصر Fe+Mn+Zn به‌صورت نانو گزارش کردند.

در مطالعه عزیز زاده و همکاران (Azizzadeh et al., 2013) تأثیر محلول‌پاشی لیونارديت، نیتروژن و پتاسیم بر رشد ریشه، جذب عناصر غذایی و عملکرد گندم تحت شرایط دیم مورد ارزیابی قرار گرفت و گزارش شد بالاترین مقدار جذب عناصر فسفر و پتاسیم دانه به تیمار کاربرد مگاهومات و هیومیک پاور همراه با محلول‌پاشی پتاسیم اختصاص داشت. آن‌ها همچنین اظهار نمودند کاربرد اسیدهای آلی مگاهومات و هیومیک‌پاور بالاترین عملکرد و اجزای عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. در مطالعه‌ای اثر محلول‌پاشی عناصر آهن روی و منگنز بر خصوصیات کمی و کیفی کلزا موردبررسی قرار گرفت و مشاهده شد با افزایش غلظت کود ریزمغذی، عملکرد دانه، میزان پروتئین دانه، عملکرد پروتئین، درصد آهن و روی دانه افزایش یافت بیشترین عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی چهار در هزار به دست گزارش شد در این آزمایش محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی موجب کاهش خسارت ناشی از تنش قطع آبیاری بر عملکرد دانه و نیز افزایش درصد آهن و روی دانه گردید (Payandeh et al., 2020).

پورجمشید (Pourjamshid et al., 2021) اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات مورفولوژیک و زراعی گندم را در رژیم‌های مختلف آبیاری موردبررسی قرار داد و دریافت تنش کم‌آبی تعداد پنجه در مترمربع، تعداد سنبله در مترمربع، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را به‌صورت معنی‌داری کاهش داد؛ اما کاربرد مجزا و تلفیقی آهن، روی و منگنز هر یک از صفات مذکور تحت شرایط تنش کم‌آبی افزایش داد.

در مطالعه‌ای دیگر بر روی گندم کمائی و عیسیوند (Kamaei, and Eisvand, 2020) نشان دادند محلول-پاشی روی بیشترین اثر را در کاهش آسیب ناشی از تنش گرمای انتهایی بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نشان داد. در تحقیقی بر روی گیاه کرچک محلول‌پاشی عناصر نیتروژن، پتاسیم و گوگرد به‌صورت مجزا و در ترکیب با یکدیگر موجب بهبودی عملکرد و اجزای عملکرد دانه در کرچک تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی شد (Osati et al., 2021).

تاکنون در مورد مصرف عناصر کم‌مصرف و اسید هیومیک در گیاهان زراعی مطالعات زیادی انجام شده است، اما در شرایط تنش کم‌آبی و همچنین منابع ژنتیکی مختلف از گندم به‌خوبی مشخص نیست که استفاده از این تیمارها چه بر کدام خصوصیات کمی و کیفی گیاهان بیشترین تأثیر را داشته و تا چه حدی اثرات خسارت‌زای تنش را کاهش می‌دهند؛ بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی و هیومیک اسید بر خصوصیات کمی و کیفی ارقام مختلف گندم تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به-صورت اسپلیت‌پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و شش دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع ۱۱۴۲ متر از سطح دریا واقع در جنوب شرقی استان آذربایجان غربی انجام شد. اطلاعات هواشناسی محل اجرای تحقیق در جدول ۱ آمده است. تیمارهای آبیاری شامل قطع آبیاری در مرحله گلدهی

تا رسیدگی و آبیاری کامل تا رسیدگی دانه در کرت‌های اصلی و تیمارهای محلول‌پاشی با عناصر غذایی روی، پتاسیم، فسفر، منیزیم و هیومیک اسید و چهار رقم گندم اروم، زارع، میهن و حیدری (جدول ۲) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت به طول چهار متر و با عرض ۱/۲ متر به فواصل ردیف ثابت ۲۰ سانتی‌متر در شش ردیف کشت شد. محلول‌پاشی با این مواد در زمان ظهور سنبله و قبل از گلدهی بود.

جدول ۱. آمار هواشناسی برای محل اجرای آزمایش در دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷

Table1. Meteorological information in the experimental site in 2017-18 and 2018-19 growing seasons

		سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ Growing seasons 2017-2018			سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ Growing seasons 2018-2019		
Months	ماه‌های سال	میانگین دما Avrage Temprature	مجموع تبخیر Total Evaporation	مجموع بارندگی Total Precipitation	میانگین دما Avrage Temprature	مجموع تبخیر Total Evaporation	مجموع بارندگی Total Precipitation
		°C	---------- mm ----------		°C	---------- mm ----------	
October	مهر	14.3	146	0.1	17	100	21
November	آبان	12.1	90	53	9.3	43	86
December	آذر	3	4.3	14	2.2	0	0.3
January	دی	5.5	0	18	-0.1	0	2.6
February	بهمن	4	0	73	2.5	0	14
March	اسفند	9.4	0	48	9.1	0	20
April	فروردین	13.2	119	26	14.2	113	2.2
May	اردیبهشت	14.9	157	62	17	190	9.3
June	خرداد	20.7	256	27	20	283	2
July	تیر	26	340	0	24.6	276	4
Agust	مرداد	26.2	308	0	23.4	271	0
September	شهریور	21.5	210	3	21	213	5.6

جدول ۲. مشخصات زراعی ارقام گندم مورد آزمایش

Table2. Agronomic characteristics of wheat cultivars in experiment

ارقام Cultivars	سال معرفی Introduce year	تیپ رشد Growth type	روز تا طویل شدن ساقه Day to elongation	روز تا ظهور سنبله Day to ear emergence	روز تا رسیدگی Day to maturity	وزن هزار دانه thousand kernel weight	میانگین عملکرد دانه Grain yield means
			---------- days ----------			gr	Kg ha^{-1}
اروم (Orum)	2010	بینابین(facultative)	200	209	265	43	7300
زارع (Zareh)	2010	زمستانه (Winter)	203	211	260	40	7500
میهن (Mihan)	2010	زمستانه (Winter)	203	211	260	43	7800
حیدری(Hydari)	2016	بینابین(facultative)	208	213	267	41	7145

جدول ۳. ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Tble 3. Soil Physical and chemical characteristics in the experimental site

بافت خاک Texture class	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل‌جذب P	پتاسیم قابل-جذب K	آهن قابل-جذب Fe	روی قابل جذب Zn	منگنز قابل‌جذب Mn	مس قابل جذب Cu
		dS m^{-1}	%	---------- mg kg^{-1} ----------					
سیلت Silt	7.8	0.77	0.11	10.7	243	6.01	0.75	6.90	2.51

در اوایل مهرماه ابتدا زمین مورداستفاده آبیاری و شخم زده شد. بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۳)، ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در سه مرحله استفاده شد که ۲۰ کیلوگرم آن هم‌زمان با آماده‌سازی زمین (قبل از کاشت)، ۷۰ کیلوگرم به‌صورت کود سرک در مرحله پنجه‌دهی و ۷۰ کیلوگرم باقی‌مانده در مرحله ساقه‌دهی گندم مصرف شد. همچنین سولفات پتاسیم (۴۵ درصد پتاسیم) به مقدار ۸۵ کیلوگرم در هکتار (حد بحرانی پتاسیم ۲۶۰ میلی-گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شد) و دی آمونیوم فسفات (۲۳ درصد فسفر و ۲۱ درصد نیتروژن) به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار هم‌زمان با کشت استفاده شد که تأمین‌کننده فسفر و مابقی نیتروژن موردنیاز گیاه بود. سولفات روی نیز به مقدار ۱۵ کیلوگرم در هکتار به‌صورت نواری در عمق ۴-۳ سانتی‌متر پای بوته اضافه شد. در هر دو سال، کاشت با استفاده از دستگاه بذرکار مخصوص آزمایش‌های غلات به‌صورت ردیفی انجام شد. کشت در سال اول اجرای آزمایش در تاریخ ۲۰ مهرماه و در سال دوم در ۱۵ مهرماه با بذور ضدعفونی شده ژنوتیپ‌های گندم انجام شد. تراکم کشت ۴۵۰ بذر در مترمربع (حدود ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) بود. پس از کشت، یک نوبت آبیاری در پاییز جهت سبز شدن گیاهچه‌ها و استقرار آن‌ها در خاک انجام گرفت. در سال اول و سال دوم اجرای آزمایش تاریخ گلدهی به ترتیب مصادف با ۲۹ و ۲۰ اردیبهشت‌ماه بود که از این تاریخ‌ها برای اعمال تیمارهای تنش کمبود آب استفاده گردید ولی در تیمارهای آبیاری کامل تا مرحله رسیدگی بر طبق روش مرسوم منطقه و نیاز گیاه، آبیاری انجام شد.

عملکرد دانه در مرحله برداشت نهایی و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت توسط کمباین آزمایش‌های غلات انجام شد و عملکرد دانه به کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. ارتفاع بوته نیز در این مرحله از محاسبه میانگین داده‌های ۵ بوته برای هر واحد آزمایشی ثبت شد. شاخص برداشت نیز از حاصل تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیست‌توده تعیین و به درصد تبدیل شد.

پس از برداشت نهایی نمونه ۳۰ گرمی از دانه هر کرت با استفاده از هاون به‌صورت دستی پودر گردید و سپس از الک پلاستیکی ۰/۵ میلی‌متری (۴۰ مش) عبور داده شد. اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف در گیاه (Fe، Zn، Cu و Mn)، پس از هضم نمونه‌های گیاهی به روش والینگ و همکاران (Walinga et al., 1989) با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل perkin elmer 2380 انجام شد. تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال اجرای آزمایش برای صفات اندازه‌گیری شده انجام شد. تجزیه‌های آماری این پژوهش و رسم نمودارها به ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای MSTATC، SPSS و Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها اثر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت و محتوی مس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بین تیمارهای محلول‌پاشی ازلحاظ اثر بر کلیه صفات به‌غیراز محتوی روی و مس دانه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. بین تیمارهای اثر متقابل آبیاری در محلول‌پاشی ازلحاظ اثر بر شاخص برداشت، محتوی آهن و منگنز در سطح احتمال یک درصد و ازلحاظ محتوی مس دانه در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. اثر متقابل سه‌گانه سال در محلول‌پاشی در آبیاری تنها بر محتوی مس دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اختلاف بین ژنوتیپ‌های موردبررسی ازنظر کلیه صفات موردبررسی به‌غیراز محتوی منگنز دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سال در ژنوتیپ تنها بر محتوی مس دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری در ژنوتیپ بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوی آهن، منگنز و مس در سطح احتمال یک درصد و بر وزن هزار دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه سال در ژنوتیپ در آبیاری تنها بر محتوی روی دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اختلاف بین تیمارهای اثر متقابل محلول‌پاشی در ژنوتیپ ازنظر کلیه صفات موردبررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و درنهایت اثر متقابل سه‌گانه آبیاری در محلول‌پاشی در ژنوتیپ ازلحاظ اثر بر شاخص برداشت، محتوی آهن، منگنز، روی و مس دانه در سطح احتمال یک درصد و بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات زراعی و غلظت عناصر غذایی دانه ارقام گندم در سطوح مختلف محلول‌پاشی و آبیاری.
Table4. Analysis of variance (mean square) of agronomic traits and seed nutrients concentration of wheat cultivars under irrigation and nutrient foliar levels

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Means Square						
		وزن هزار دانه Thousand kernel weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
سال Year(Y)	1	54.25^{ns}	4678740^{ns}	36.84^{ns}	90.4^{ns}	49.22^{ns}	20.4^{ns}	8.8^{ns}
تکرار Replication (R)	4	113.62	3569768	238.99	2451.15	1775.5	737.4	320.2
آبیاری Irrigation (I)	1	2831.28**	55580939**	2455.84**	8014.9^{ns}	3.2^{ns}	345.1^{ns}	2. 0**
Y×I	1	0.003^{ns}	20978^{ns}	0.03^{ns}	33.0^{ns}	1.8^{ns}	12.04*	0.001^{ns}
اشتباه Error	4	15.35	81787	26.15	5153.5	20.13	1.4	1.01
محلول‌پاشی Nutrient foliar(N)	5	49. 21**	7292434**	237.04**	7033.0**	2902.4**	109.9^{ns}	71.26^{ns}
N×Y	5	0.16^{ns}	4550^{ns}	0.037^{ns}	8.48^{ns}	5.33**	9.01^{ns}	0.01^{ns}
N×I	5	22.77^{ns}	1143600^{ns}	91.52**	2813.1**	285.9**	42.1^{ns}	12.99*
N×I×Y	5	0.045^{ns}	1998^{ns}	0.22^{ns}	6.21^{ns}	21.03^{ns}	11.01^{ns}	1.8*
ژنوتیپ Genotype (G)	3	206.01**	8880513**	228.03**	2568.09**	108.9^{ns}	272.0**	58.59*
G×Y	3	0.04^{ns}	3767^{ns}	0.01^{ns}	23.17^{ns}	17.03^{ns}	7.03^{ns}	6.07*
G×I	3	2.88*	2582209**	121.38**	582.7**	251.5**	88.2^{ns}	25.19**
G×I×Y	3	0.11^{ns}	2764^{ns}	0.30^{ns}	10.04^{ns}	0.03^{ns}	21.01*	0.003^{ns}
G×N	15	31.12**	3783987**	44.72**	2081.9**	103.6**	45.6**	39.8**
G×N×Y	15	0.10^{ns}	1711^{ns}	0.146^{ns}	21.15^{ns}	11.01^{ns}	8.05^{ns}	0.005^{ns}
G×N×I	15	23.55*	1506701*	46.47**	1495.5**	124.6**	37.7**	11.4**
G×N×I×Y	15	0.06^{ns}	1652^{ns}	0.194^{ns}	13.11^{ns}	15.10^{ns}	8.006^{ns}	3.001^{ns}
اشتباه Error	184	14.33	440917	20.23	13.7	1.8	0.28	0.130
ضریب تغییرات CV%		*9.09*	*13.41*	*10.96*	*5.37*	*3.52*	*2.12*	*2.20*

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد، ns غیر معنی‌دار
* and ** are significant at the 5% and 1% probability levels, respectively. ns is nonsignificant

وزن هزار دانه

بر اساس نتایج مقایسات میانگین تیماری تنش وزن هزار دانه را در مقایسه با تیمار شاهد ۱۶/۹۱ درصد کاهش داد، رقم اروم و حیدری به ترتیب با مقادیر ۱۳/۸۶ و ۲۲/۱۷ درصد بالاترین و پایین‌ترین مقدار کاهش وزن هزار دانه را در شرایط تنش کم‌آبی به خود اختصاص دادند، همچنین رقم میهن بالاترین وزن هزار دانه را در هر دو شرایط به خود اختصاص داد، کمترین وزن هزار دانه در شرایط نرمال به رقم زارع و در شرایط تنش کم‌آبی به رقم حیدری اختصاص داشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد رقم میهن در مقایسه با دیگر ارقام به لحاظ ژنتیکی بهره بهتر و مناسب‌تری از شرایط محیطی برده است. امام و دستفال (Emam and Dastfal, 1997) و سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2016) کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی را گزارش دادند. این محققین کاهش فتوسنتز، تسریع در رسیدگی و کاهش طول دوره پر شدن دانه را علت این کاهش ذکر کردند.

نتایج مقایسات میانگین نشان داد تحت شرایط آبیاری نرمال نشان داد محلول‌پاشی پتاسیم در ارقام اروم و حیدری

با متوسط ۴۹/۰۰ گرم بالاترین وزن هزار دانه را در بین کلیه تیمارها به خود اختصاص دادند اختلاف بین تیمارهای مذکور و تیمارهای محلول‌پاشی روی، پتاسیم، منیزیم و اسید هیومیک در رقم اروم، محلول‌پاشی روی و فسفر در رقم زارع، محلول‌پاشی کلیه تیمارهای محلول‌پاشی و تیمار شاهد در رقم میهن و محلول‌پاشی روی، منیزیم و اسید هیومیک در رقم حیدری معنی‌دار نبود، کمترین وزن هزار دانه تحت شرایط آبیاری نرمال به تیمار شاهد محلول‌پاشی در ارقام اروم و زراع اختصاص داشت.

تحت شرایط تنش کم‌آبی محلول‌پاشی عنصر پتاسیم در رقم میهن با متوسط ۴۲/۱۵ گرم بالاترین و تیمار عدم محلول‌پاشی در رقم حیدری با متوسط ۳۳/۱۲ گرم کمترین وزن هزار دانه (در بین کلیه تیمارهای موردبررسی) را به خود اختصاص دادند. در این شرایط محلول‌پاشی روی و منیزیم در رقم اروم، محلول‌پاشی پتاسیم در رقم میهن و محلول‌پاشی منیزیوم در رقم حیدری توانست وزن هزار دانه را در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی در هر یک از این ارقام به‌صورت معنی‌داری افزایش دهد. در تحقیقی محلول‌پاشی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم وزن هزار دانه را در گندم در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (Arif et al., 2006). در تحقیقی دیگر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی وزن دانه سویا را تحت شرایط آبیاری نرمال بهبود داد (Popović et al., 2013). بامری و همکاران (Bameri et al., 2012) اظهار داشتند کاربرد عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز وزن هزار دانه گندم را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. این محققین دلیل افزایش را به نقش آهن، روی و منگنز در افزایش طول دوره رشد، بهبود فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها نسبت دادند.

در مطالعه مکارم و همکاران (Makarem, et al., 2019) اثر رقم، محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر وزن هزار دانه در گندم معنی‌دار بود آن‌ها اظهار داشتند تیمار محلول‌پاشی Fe+Mn+Zn در رقم Gemmeaza-11 بالاترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داد. اثر مثبت عناصر نیتروژن، پتاسیم و گوگرد به‌صورت مجزا و در ترکیب با یکدیگر بر افزایش وزن دانه تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش کم‌آبی در کرچک در مطالعه اوسطی و همکاران (Osati et al., 2021) نیز گزارش شده است.

عملکرد دانه

در مطالعه حاضر تنش کم‌آبی عملکرد دانه را در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال ۱۴/۷۲ درصد کاهش داد، رقم حیدری و رقم میهن به ترتیب با مقادیر ۲۰/۶۷ و ۷/۲۹ درصد بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد را به خود اختصاص دادند. لازم به ذکر است رقم میهن و رقم زارع در هر دو شرایط محیطی به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت عملکرد در رقم میهن به مقدار کمتری تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد و پتانسیل تولید، ذخیره و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و درنهایت عملکرد دانه در این رقم بالاتر از دیگر ارقام موردبررسی است (جدول ۵). مقدار عملکرد محصول تحت تأثیر عواملی از قبیل اعمال مدیریت، ژنتیک و محیط قرار می‌گیرد، عملکرد دانه به توانایی گیاه در جذب منابع (تابش، آب و عناصر غذایی) بستگی دارد که باعث گسترش برگ شده و بر عملکرد نهایی اثر می‌گذارند (Manzoor et al., 2006). کمبود آب در مرحله گلدهی باعث افزایش سقط‌جنین در دانه گرده می‌شود و در مرحله تلقیح دانه باعث کاهش شدت فتوسنتز، افزایش ABA و کاهش بارگیری آسمیلات‌ها شده که درنهایت با ریزش گل‌ها و غلاف‌ها عملکرد را کاهش می‌دهد (Gonzalez et al., 2010).

فراهانی و همکاران (Farmahini et al., 2017) علت کاهش عملکرد دانه گندم درنتیجه اعمال تنش خشکی را کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها و متعاقب آن کاهش وزن هزار دانه ذکر کردند. بهروزی و همکاران (Behruzi et al., 2016) کاهش ۱۷/۷۳ درصد عملکرد دانه را در تیمار تنش رطوبتی انتهای دوره رشد در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب گزارش کردند.

نتایج مقایسات میانگین ازلحاظ عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری نرمال نشان داد اگرچه محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن با متوسط ۸۷۲/۱۲ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را در بین کلیه تیمارها به خود اختصاص داد اما اختلاف بین تیمار مذکور و محلول‌پاشی پتاسیم در ارقام اروم و حیدری، محلول‌پاشی منیزیم در ارقام زراع و حیدری و محلول‌پاشی روی در رقم میهن معنی‌دار نبود. کمترین عملکرد دانه تحت شرایط نرمال به تیمار شاهد محلول‌پاشی در رقم اروم اختصاص داشت.

جدول ۵. اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی× رقم بر صفات زراعی ارقام گندم نان

Table 5. Irrigation×Nutrient foliar×cultivar interaction effect on agronomic traits of bread wheat cultivars.

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Nutrient foliar	ارقام Cultivars	وزن هزار دانه Thousand kernel weight	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest Index
			gr	Kg. h^{-1}	%
I_1	Zn	Orum	46.17^{a-e}	7245.28^{b-h}	43.12^{c-k}
		Zareh	48.05^{a-c}	6987.19^{b-j}	50.02^{ab}
		Mihan	47.19^{a-d}	7763.88^{a-d}	45.18^{a-h}
		Hydari	47.21^{a-d}	7197.41^{b-h}	43.25^{c-k}
	K	Orum	49.55^{a}	7543.22^{b-e}	46.55^{a-f}
		Zareh	43.20^{c-j}	5616.23^{k-n}	45.10^{a-i}
		Mihan	48.18^{ab}	7290.19^{b-g}	48.18^{abc}
		Hydari	49.33^{a}	7681.44^{a-d}	45.26^{a-i}
	P	Orum	43.41^{c-j}	6584.11^{b-l}	42.17^{d-m}
		Zareh	46.18^{a-e}	6207.17^{f-m}	47.33^{a-e}
		Mihan	46.02^{a-e}	7165.26^{b-i}	47.40^{a-e}
		Hydari	43.19^{b-i}	6729.90^{c-k}	42.05^{d-m}
	Mg	Orum	46.30^{a-j}	6972.22^{b-j}	39.15^{h-p}
		Zareh	43.21^{c-j}	7639.24^{a-b}	46.36^{a-f}
		Mihan	46.46^{a-f}	6857.71^{b-k}	42.63^{c-l}
		Hydari	45.18^{a-h}	7661.06^{a-b}	46.18^{a-y}
	HA	Orum	46.21^{a-e}	8081.09^{ab}	42.13^{c-m}
		Zareh	41.02^{e-l}	6871.39^{b-k}	44.26^{a-j}
		Mihan	48.18^{abc}	8721.12^{a}	51.15^{a}
		Hydari	43.09^{a-i}	7137.12^{b-i}	48.63^{a-d}
	Control	Orum	41.12^{f-l}	5748.71^{j-n}	42.30^{c-l}
		Zareh	41.17^{g-m}	6349.02^{e-m}	36.03^{l-q}
		Mihan	47.21^{a-d}	7153.52^{b-i}	40.18^{f-o}
		Hydari	43.02^{b-i}	5916.31^{i-m}	35.23^{n-r}
I_2	Zn	Orum	41.2^{j-n}	6179.08^{f-m}	38.41^{j-q}
		Zareh	39.19^{h-o}	6546.01^{d-l}	41.15^{e-m}
		Mihan	42.02^{k-p}	7369.15^{d-f}	46.20^{a-f}
		Hydari	39.18^{k-p}	6214.74^{f-m}	35.20^{o-r}
	K	Orum	39.02^{k-p}	6941.91^{b-j}	40.19^{f-o}
		Zareh	36.23^{d-k}	5992.17^{h-m}	34.23^{o-r}
		Mihan	42.31^{k-p}	7270.28^{b-g}	42.12^{d-m}
		Hydari	37.12^{o-p}	5832.31^{j-m}	30.30^{r}
	P	Orum	39.25^{i-o}	6045.15^{j-m}	39.19^{h-q}
		Zareh	39.18^{i-o}	5737.36^{j-n}	38.23^{j-q}
		Mihan	40.21^{j-n}	7198.52^{b-n}	37.13^{l-q}
		Hydari	35.55^{op}	5262.14^{mn}	33.02^{qr}
	Mg	Orum	41.07^{j-n}	6025.33^{j-m}	39.36^{i-q}
		Zareh	38.12^{j-p}	$5394.36l^{mn}$	37.63^{l-q}
		Mihan	40.3^{h-o}	6007.09^{h-m}	38.02^{j-q}
		Hydari	40.18^{h-o}	7183.17^{b-i}	34.52^{o-r}
	HA	Orum	39.51^{i-o}	5846.81^{j-m}	44.36^{b-j}
		Zareh	38.08^{i-o}	6109.34^{g-m}	44.16^{b-j}
		Mihan	43.14^{c-j}	7465.15^{b-f}	40.12^{j-p}
		Hydari	37.22^{l-p}	$5386.12l^{mn}$	39.23^{h-q}
	Control	Orum	39.39^{i-o}	4635.56^{n}	32.26^{p-r}
		Zareh	35.12^{n-p}	5202.30^{mn}	37.69^{l-q}
		Mihan	39.01^{i-o}	6378.17^{e-m}	39.30^{h-q}
		Hydari	33.09^{p}	5192.21^{mn}	32.36^{p-r}

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

آبیاری (آبیاری کامل=I_1 و قطع آبیاری از مرحله گلدهی= I_3)، محلول‌پاشی (پتاسیم=K، فسفر=P، منیزیم=Mg، هیومیک اسید=Humic Acid و شاهد=Control).

Means in each column followed by similar letter(s) are not significant different at the 5% probability level, using DuncanTest

Irrigation (I_1=full irrigation and I_3= irrigation interruption from flowering stage), Nutrient foliar (Potasium=K, Phosphorus=P, Mangnesium=Mg, humic acid=HA and C=control)

در این شرایط محلول‌پاشی روی، پتاسیم و اسید هیومیک در رقم اروم، محلول‌پاشی منیزیم در رقم زارع، محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن و محلول‌پاشی روی، پتاسیم فسفر و منیزیم در رقم حیدری توانست عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد محلول‌پاشی در هر رقم افزایش دهند.

تحت شرایط تنش کم‌آبی بالاترین عملکرد دانه با متوسط ۷۴۶۵/۱۵ کیلوگرم در هکتار به تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن اختصاص داشت اختلاف بین تیمار مذکور و تیمارهای محلول‌پاشی روی و پتاسیم در رقم میهن و محلول‌پاشی منیزیم در رقم حیدری معنی‌دار نبود، کمترین عملکرد دانه با متوسط ۴۶۳۵/۵۳ کیلوگرم در هکتار در بین کلیه تیمارها برای تیمار شاهد محلول‌پاشی در رقم اروم ثبت شد. تحت شرایط تنش کم‌آبی محلول‌پاشی روی، پتاسیم، فسفر، منیزیم و اسید هیومیک در رقم اروم، محلول‌پاشی روی در رقم زارع، محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن و محلول‌پاشی منیزیم در رقم حیدری توانستند عملکرد دانه را در مقایسه با تیمار شاهد در هر رقم افزایش دهند (جدول ۵).

مطالعات پیشین نیز نشان می‌دهد که افزایش اتیلن در گندم، باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، کاهش وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و درنتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود (Beltrano et al., 1999) بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد دانه درنتیجه کاربرد عناصر ریزمغذی را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز (Waraich et al., 2017)؛ و درنتیجه کاهش تجمع ROS و تولید اتیلن مرتبط دانست. اضافه بر این، در آزمایش حاضر مشاهده شد که تنش آبی اجزای عملکرد گندم همچون تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش داد (نتایج گزارش نشده است). بااین‌وجود، کاربرد محلول‌پاشی روی، پتاسیم، فسفر منیزیم و هیومیک اسید و به‌ویژه روی موجب افزایش صفات عملکرد دانه و وزن هزار دانه شد. در بررسی دیگر بر روی گندم مشاهده شد محلول‌پاشی با عناصر روی و آهن بالاترین عملکرد دانه و اجزای عملکرد را تحت شرایط مختلف آبیاری به خود اختصاص داد (Sultana et al. 2018).

همچنین ندیم و همکاران (Nadim et al., 2011) گزارش دادند که کاربرد مجزا و تلفیقی آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود. برخی محققین دریافتند که کاربرد هیومیک اسید به‌طور معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده را در گندم افزایش می‌دهد (El-Bassiouny et al., 2014). همچنین در آزمایش دیگر گزارش گردید که مصرف هیومیک اسید در خاک‌های شنی در شرایط تنش خشکی تأثیر مثبت بر عملکرد می‌گذارد (El-Shabrawi et al., 2015).. اثر مثبت محلول‌پاشی با عنصر روی در گندم در مطالعه کمائی و عیسیوند (Kamaei and Eisvand, 2020) تحت شرایط تنش کم‌آبی به اثبات رسیده است. طباطبائیان (Tabatabaeiyan, 2012) در بررسی اثر محلول‌پاشی روی بر عملکرد کمی و کیفی گندم در شرایط کمبود آب اعلام نمودند که محلول‌پاشی سولفات روی در غلظت ۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سطوح مختلف تنش رطوبتی و به‌ویژه در شرایط بدون تنش رطوبتی باعث افزایش عملکرد دانه شد. در تحقیقی دیگر بر روی گندم بالاترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی Fe+Mn+Zn در رقم Gemmeaza-11 گزارش شد (Makarem et al., 2019). رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2010) نتایج مشابهی را در استفاده از سولفات روی در سه رقم گندم آبی گزارش نموده‌اند. در مطالعه عزیززاده و همکاران (Azizzadeh et al., 2019) بالاترین عملکرد و اجزای عملکرد دانه در گندم دیم در تیمار کاربرد اسیدهای آلی مگاهومات و هیومیک‌پاور به دست آمد.

شاخص برداشت

در این بررسی شرایط تنش کم‌آبی شاخص برداشت را در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال ۱۶/۰۷ درصد کاهش داد. بیشترین مقدار کاهش مربوط به رقم حیدری و کمترین مقدار به رقم اروم اختصاص داشت، رقم میهن در هر دو شرایط محیطی بالاترین شاخص برداشت را به خود اختصاص داد (جدول ۵). رقم اروم تحت شرایط آبیاری نرمال و رقم حیدری تحت شرایط تنش کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. کاهش دسترسی به مواد پرورده جاری طی دوره پر شدن دانه منجر به کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی بعد گل‌دهی است (Emam, 2011). بررسی‌های عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2014) و گنزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2010) کاهش شاخص برداشت براثر تنش خشکی انتهای فصل رشد طی پر شدن دانه را نشان داده است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین بخش‌های رویشی گیاه و دانه است. ازآنجایی‌که یکی از اجزای

محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد.

نتایج مقایسات میانگین تیمارهای برهمکنش تحت شرایط آبیاری نرمال نشان داد محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن با متوسط ۵۱/۱۵ درصد بالاترین شاخص برداشت را به خود اختصاص داد اختلاف بین تیمار مذکور و محلول‌پاشی پتاسیم در رقم اروم، محلول‌پاشی روی، پتاسیم، فسفر، منیزیم و اسید هیومیک در رقم زارع، محلول‌پاشی روی، پتاسیم، فسفر در رقم میهن و همچنین محلول‌پاشی پتاسیم، منیزیم و اسید هیومیک در رقم حیدری ازنظر شاخص برداشت معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج محلول‌پاشی پتاسیم در کلیه ارقام مقایسه با دیگر تیمارها بیشترین اثر مثبت را در افزایش شاخص برداشت به خود اختصاص داد و توانست شاخص برداشت را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد در هر رقم افزایش دهد (جدول ۵).

تحت شرایط تنش کم‌آبی محلول‌پاشی روی در رقم میهن با متوسط ۴۶/۲۰ درصد بالاترین و محلول‌پاشی پتاسیم در رقم حیدری با متوسط ۳۰/۰۰ درصد کمترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند. تحت شرایط تنش کم‌آبی محلول‌پاشی پتاسیم و اسید هیومیک در رقم اورم، محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم زراع و محلول‌پاشی پتاسیم در رقم میهن توانست شاخص برداشت را در مقایسه با تیمار شاهد در هر رقم به‌صورت معنی‌داری افزایش دهد. اثر مثبت محلول‌پاشی با عنصر ریزمغذی به‌ویژه عنصر روی در افزایش شاخص برداشت در گندم تحت شرایط تنش دمایی در مطالعه کمائی و عیسیوند (Kamaei, and Eisvand, 2020) نیز گزارش شد.

محتوی آهن

نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن بود تنش کم‌آبی محتوی آهن دانه را در ارقام اروم، زارع، میهن و حیدری به ترتیب ۳۲/۰۲، ۱۶/۲۹، ۲۱/۷۲ و ۱۱/۹۵ درصد کاهش داد، رقم حیدری و زراع به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین محتوی آهن را در هر دو شرایط محیطی به خود اختصاص دادند (جدول ۶). هر چه مقدار رطوبت خاک افزایش یابد جذب عناصر ریزمغذی مانند آهن، روی و فسفر بیشتر صورت می‌پذیرد زیرا جذب این عناصر ارتباط نزدیکی با میزان رطوبت قابل‌دسترس گیاه دارد (Jones, 1995).

مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر، جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمز همگی، کم‌وبیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد. اگرچه بعضی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار، به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی، بازهم روند جذب و انتقال بعضی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد؛ اما از سوی دیگر، جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند جذب منفی نشان می‌دهند (Taiz and Zeiger, 1998). رضایی و همکاران (Rezaei et al., 2011) اعلام نمودند بیشترین غلظت آهن در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن در قطع آبیاری آخر فصل رشد گندم به دست آمد.

نتایج مقایسات میانگین نشان داد تحت شرایط آبیاری نرمال محلول‌پاشی هیومیک اسید در رقم حیدری با متوسط ۱۲۱/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بالاترین غلظت آهن را در بین کلیه تیمارهای موردبررسی به خود اختصاص داد، کمترین مقدار تیمار مذکور با متوسط ۴۸/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به تیمار شاهد در رقم میهن اختصاص داشت (جدول ۶).

تحت شرایط تنش کم‌آبی محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم حیدری و تیمار شاهد در رقم اروم به ترتیب با متوسط ۱۱۲/۰۱ و ۴۱/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین و کمترین محتوی آهن دانه را به خود اختصاص یافت (جدول ۶). همان‌طوری که مشاهده می‌شود در این بررسی عناصر ریزمغذی به‌خصوص روی اثر مثبتی بر افزایش محتوی آهن در دانه ارقام گندم نشان ندادند کسب چنین نتیجه‌ای احتمالاً به دلیل برهم‌کنش منفی است که بین روی و آهن وجود دارد. تیواری و همکاران (Tiwari and Pathak, 1982) با مطالعه روابط روی و آهن، به این نتیجه رسیدند که مصرف هر یک از این دو عنصر، غلظت عنصر دیگر را پایین می‌آورد.

در مطالعه پایدار و همکاران (Payandeh et al., 2020) بیشترین میزان آهن دانه مربوط به تیمار شش در هزار محلول‌پاشی عناصر آهن+ منگنز+ روی و کمترین میزان آهن دانه به تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) اختصاص یافت. در مطالعه اثر عناصر ریزمغذی بر درصد عناصر روی و منگنز در گیاه ارزن گزارش کرد که محلول‌پاشی روی و منگنز سبب

افزایش غلظت این عناصر در بافت ارزن شد (Payegozar, 2008). نتایج مطالعه قبلی نشان می‌دهد که افزایش محتوی روی و آهن در دانه‌های موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Singh et al., 2018). در مطالعه‌ای دیگر محلول‌پاشی عناصر روی و آهن در گندم محتوی آهن دانه را تحت شرایط مختلف تنش آبی بهبود داد (Sultana et al. 2018).

محتوی منگنز

مقایسات میانگین ترکیبات تیماری نشان داد تنش کم‌آبی محتوی منگنز را در ارقام اروم و حیدری به ترتیب ۱۱/۶ و ۱/۳۱ درصد کاهش و در ارقام زارع و میهن به ترتیب ۷/۴۰ و ۸/۶۵ درصد افزایش داد، کسب چنین نتیجه‌ای بیانگر واکنش محیطی متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف ازلحاظ جذب مواد ریزمغذی است (جدول ۶). اقدسی و همکاران (Aghdasi et al., 2018) مشاهده کردند که کمترین میزان منگنز دانه ماش سبز در تیمار تنش مرحله زایشی با کاهش ۱۵ درصدی نسبت به شرایط آبیاری نرمال بود.

نتایج مقایسات میانگین نشان داد تحت شرایط آبیاری نرمال محلول‌پاشی عنصر روی در رقم میهن با متوسط ۵۴/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بالاترین و تیمار شاهد در ارقام زارع و میهن هر دو با متوسط ۲۱/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین محتوی منگنز دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز محلول‌پاشی عنصر روی در رقم میهن و تیمار شاهد در رقم زراع به ترتیب با متوسط ۵۴/۴۸ و ۲۲/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین و کمترین محتوی منگنز دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). بر اساس گزارش ساجدی و رجالی (Sajedi and Rejali, 2011) تحت تأثیر تنش خشکی، کاربرد روی و تلقیح میکوریز بر جذب عناصر کم‌مصرف در ذرت باعث افزایش غلظت روی، مس، آهن و منگنز شد.

محتوی روی

در این بررسی تحت شرایط آبیاری نرمال بالاترین محتوی عنصر روی به تیمار محلول‌پاشی روی به رقم میهن با متوسط ۳۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم اختصاص داشت کمترین محتوی عنصر مذکور با متوسط ۱۹/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم به تیمار شاهد در رقم اروم مشاهده شد. نتایج نشان داد تحت شرایط آبیاری نرمال در ارقام اروم، زراع و حیدری کلیه تیمارهای محلول‌پاشی بر محتوی عنصر روی دانه افزودند اما در رقم میهن تنها محلول‌پاشی روی و منیزیم محتوی روی دانه را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶).

انتقال روی در داخل گیاه پس از محلول‌پاشی سولفات روی توسط گوپتا و همکاران (Gupta et al., 2016) مورد ارزیابی قرار گرفت. گزارش شده است که انتقال روی از برگ‌های پیر در اواخر رشد گیاه، از برگ‌های پایین به برگ‌های جوان و دانه‌ها، از مسیر آوندهای آبکش انجام‌شده و باعث افزایش محتوی روی در دانه‌ها می‌گردد (Yin et al., 2016).

تحت شرایط تنش کم‌آبی نیز محلول‌پاشی روی در رقم میهن با متوسط ۳۲/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و تیمار شاهد محلول‌پاشی در رقم زراع با متوسط ۱۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین و کمترین محتوی روی دانه را به خود اختصاص دادند. در این شرایط نیز در ارقام اروم، زراع و حیدری هر چهار تیمار محلول‌پاشی محتوی عنصر روی در دانه را به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داند اما این افزایش در رقم میهن تنها در محلول‌پاشی روی نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۶).

در شرایط تنش کمبود آب به علت محدودیت جذب عنصر روی، میزان این عنصر در دانه کاهش می‌یابد (Rafiee et al., 2004) درواقع کاهش جریان توده‌ای آب ناشی از تنش کمبود آب موجب اخلال در جذب عناصر توسط گیاه می‌گردد. بر طبق اظهارات گراهام و وب (Graham and Webb, 1991). غلظت عناصر در دانه با تشدید تنش خشکی کاهش می‌یابد، علت این امر کاهش شدید عملکرد دانه با افزایش شدت تنش خشکی است که موجب کوچک شدن مخزن فیزیولوژیک عناصر (دانه) و درنتیجه افزایش غلظت و کاهش کل جذب عناصر در دانه گردیده است.

در این بررسی رقم میهن تحت هر دو شرایط محیطی از مقدار روی دانه بالاتری برخوردار بود، بالا بودن مقدار تجمع مواد معدنی در این ژنوتیپ احتمالاً به سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر این رقم مرتبط است (Fan et al., 2008). در برخی از واریته‌های قدیمی‌تر، روی دانه و اندازه دانه همبستگی مثبت داشتند که بیانگر این است که دو صفت عملکرد دانه و محتوی روی دانه بالایی در یک رقم جمع نمود (Chen et al., 2017).

در تحقیقی بر روی گندم دوروم گزارش شد محتوی عناصر روی و آهن دانه با محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن به‌صورت معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش

جدول ۶. اثر متقابل آبیاری× محلول‌پاشی× رقم بر غلظت عناصر غذایی ارقام گندم نان

Table 6. Irrigation×Nutrient foliar×cultivar interaction effect on seed nutrients concentration of bread wheat cultivars.

آبیاری Irrigation	محلول‌پاشی Nutrient foliar	ارقام Cultivars	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
			----------mg Kg^{-1}----------			
I_1	Zn	Orum	64.12^{k-n}	46.19^{de}	24.8^{kl}	14.7^{op}
		Zareh	55.29^{q-s}	50.41^{bc}	26.8^{gh}	13.7st
		Mihan	59.14^{o-q}	54.05^{a}	31.2^{b}	21.2^{a}
		Hydari	90.33^{f}	51.70^{b}	27.7^{e}	14.6^{pq}
	K	Orum	105.20^{c}	42.31^{ghi}	27.8^{e}	17.1^{hi}
		Zareh	101.61^{d}	44.02^{ef}	23.7^{no}	17.8^{g}
		Mihan	106.03^{c}	46.11^{d}	25^{kl}	16.6^{jkl}
		Hydari	65.52^{j-m}	44.71^{ef}	29.2^{d}	16.8^{jkl}
	P	Orum	96.14^{e}	36.63l^{mn}	26.0^{ij}	18.0^{fg}
		Zareh	60.34^{n-p}	44.51^{efg}	23.3^{op}	18.4^{ef}
		Mihan	59.17^{o-q}	43.22^{fgh}	25.1^{k}	14.8^{op}
		Hydari	72.19^{hi}	43.50^{fgh}	27.9^{e}	18.4^{ef}
	Mg	Orum	80.12^{g}	34.30^{pq}	22.2^{op}	18.2^{fg}
		Zareh	93.02^{ef}	46.19^{d}	28.0^{e}	16.9^{hijk}
		Mihan	100.02^{d}	50.17^{bc}	27.6^{ef}	16.4^{l}
		Hydari	89.15^{f}	36.23^{mnop}	28.0^{e}	18.2^{fg}
	HA	Orum	75.06^{n}	33.01^{qr}	26.5^{ghi}	17.9^{g}
		Zareh	55.12^{q-s}	27.41^{vw}	24.3l^{m}	13.2^{uv}
		Mihan	93.23^{r-u}	37.52^{klm}	23.5^{no}	15.0^{no}
		Hydari	121.12^{a}	25.17^{x}	30. 1^{c}	18.9^{cd}
	Control	Orum	50.18^{t-v}	30.57^{t}	19.9^{u}	13.0^{uv}
		Zareh	50.19^{t-v}	21.12^{y}	20.2^{u}	12.3^{v}
		Mihan	48.14^{uv}	21.00^{y}	26.2^{hij}	13.5^{stu}
		Hydari	50.31^{s-v}	26.19^{wx}	27.0^{fg}	14.5^{pq}
I_2	Zn	Orum	59.30^{o-q}	45.90^{de}	26^{ij}	17.8^{g}
		Zareh	68.21^{jk}	50.30^{bc}	22.4^{qr}	18.2^{fg}
		Mihan	73.29^{hi}	54.48^{a}	32.0^{a}	19.3^{c}
		Hydari	66.31^{jkl}	43.15^{fgh}	29.9^{cd}	17.9^{g}
	K	Orum	43.14^{w}	49.00^{c}	25.8^{j}	17.2^{hi}
		Zareh	59.20^{opq}	38.41^{k}	19.9^{u}	17.8^{g}
		Mihan	62.44^{l-q}	41.14^{j}	21.0^{t}	17.3^{h}
		Hydari	51.61^{s-v}	43.31^{fgh}	26^{ij}	16.5^{kl}
	P	Orum	69.52^{ij}	42.56^{ghij}	22.0^{rs}	14.2^{qr}
		Zareh	75.14^{h}	38.71^{k}	23.3^{op}	13.2^{u}
		Mihan	73.21^{ni}	37.52^{kl}	25.0^{k}	18.7^{de}
		Hydari	65.41^{j-m}	43.19^{fgh}	23.5^{ho}	13.3^{tu}
	Mg	Orum	90.16^{f}	42.50^{hij}	24.3^{klm}	17.1^{hij}
		Zareh	57.17^{pqr}	32.30^{rs}	21.6st	15.8^{m}
		Mihan	61.06^{m-p}	34.40^{opq}	23.1^{op}	17.8^{g}
		Hydari	112.01^{b}	41.15^{ij}	27.9^{e}	18.8^{de}
	HA	Orum	54.19^{rst}	36.90^{lmno}	27.9^{e}	15.7^{m}
		Zareh	48.56$_{uv}$	36.03^{lmnop}	25.0^{k}	15.6^{m}
		Mihan	66.34^{j-m}	35.60^{nopq}	24^{mn}	20.5^{b}
		Hydari	90.01^{f}	30.21st	22.8^{pq}	18.9^{cd}
	Control	Orum	41.55^{w}	36l.19^{mnop}	20.2^{u}	13.9^{rs}
		Zareh	49.52^{tuv}	22.12^{y}	13.6^{w}	13.2^{u}
		Mihan	47.09^{v}	30.06^{tu}	24.8^{kl}	15.7^{m}
		Hydari	51.18^{s-v}	28.17^{uv}	18.4^{v}	13.6^{u}

در هر ستون میانگین‌هایی که با حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

آبیاری (آبیاری کامل=I_1 و قطع آبیاری از مرحله گلدهی= I_3)، محلول‌پاشی (پتاسیم=K، فسفر=P، منیزیم=Mg، اسید هیومیک=Humic Acid و شاهد=Control).

Means in each column followed by similar letter(s) are not significant different at the 5% probability level, using Duncan Test Irrigation(I_1=full irrigation and I_3= irrigation interruption from flowering stage), Nutrient foliar (Potasium=K, Phosphorus=P, Mangnesium=Mg, humic acid=HA and C=control)

نشان داد (Melash et al., 2018). چاکمک و همکاران (Cakmak, 2008) محلول‌پاشی عنصر روی توانست غلظت روی در دانه گندم را ۲۳ تا ۳۴ درصد افزایش داد که احتمالاً به دلیل کاهش غلظت اسید فیتیک در دانه است. در مطالعه‌ای دیگر لی و همکاران (Li et al., 2015) اظهار داشتند محلول‌پاشی روی و نیتروژن به‌صورت جداگانه و در ترکیب با یکدیگر راه‌کاری برای افزایش بیوسنتز عنصر روی در دانه است. در مطالعه‌ای بر روی گندم بین ژنوتیپ‌های موردبررسی ازنظر محتوی روی دانه اختلاف معنی‌دار گزارش شد در این مطالعه رقم Renata در مقایسه با رقم Srpanjka از محتوی عناصر Fe، Zn، Se، P و Cd دانه بالاتری برخوردار بود (Lonˇcari´c et al., 2021).

محتوی مس

در این آزمایش واکنش ارقام به تنش کم‌آبی ازلحاظ محتوی مس دانه متفاوت بود به‌طوری‌که تنش کم‌آبی محتوی مس دانه را در ارقام اروم و حیدری به ترتیب ۳/۲۳ و ۲/۲۲ درصد افزایش و در ارقام زراع و میهن به ترتیب ۱/۵۹ و ۶/۷۹ درصد کاهش داد. بنا به گزارش مبصر و همکاران (Mobser et al., 2011)، اعمال تیمارهای قطع آبیاری در مراحل شیری و گرده‌افشانی به ترتیب باعث افزایش ۱۶ و ۱۰ درصد مقدار مس دانه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶).

نتایج مقایسات میانگین ترکیبات تیماری تحت شرایط آبیاری نرمال نشان داد محلول‌پاشی عنصر روی در رقم میهن با متوسط ۲۱/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بالاترین محتوی مس دانه را به خود اختصاص داد و تیمار شاهد محلول‌پاشی در رقم زارع با متوسط ۱۲/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم کمترین محتوی مس دانه را به خود اختصاص دادند. تحت این شرایط در ارقام اروم و میهن هر چهار تیمار محلول‌پاشی و در رقم زراع محلول‌پاشی با روی، پتاسیم، فسفر و منیزیم و در رقم حیدری محلول‌پاشی با پتاسیم، فسفر، منگنز و اسید هیومیک به‌صورت معنی‌داری از محتوی مس دانه در مقایسه با تیمار شاهد در هر رقم برخوردار بودند (جدول ۶).

تحت شرایط تنش کم‌آبی بالاترین محتوی مس دانه با متوسط ۲۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم برای تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک در رقم میهن ثبت شد درحالی‌که کمترین مقدار به تیمار شاهد محلول‌پاشی در رقم زارع اختصاص داشت. تحت شرایط تنش کم‌آبی در ارقام اروم، زراع و حیدری کلیه تیمارهای محلول‌پاشی به‌غیراز فسفر و در رقم میهن کلیه تیمارهای محلول‌پاشی توانستند محتوی مس دانه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری افزایش دهند. شعبان و همکاران (Shaaban et al., 2009) نشان دادند کاهش مصرف کود NPK تا ۲۵ درصد مقدار توصیه‌شده به همراه ۷/۵ سانتیمتر مکعب در لیتر، اسید هیومیک منجر به افزایش جذب روی، مس در دانه گندم شد.

در مطالعه‌ای دیگر بر روی برنج محلول‌پاشی کودهای حاوی عناصر غذایی ماکرو، میکرو و مواد محرک رشد، محتوی عناصر کم‌مصرفی نظیر بر، کبالت، مس، آهن، منگنز، مولیبدن و روی و همچنین اسید فولویک را در دانه افزایش داد (Mohamadian et al., 2010).

همبستگی عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی دانه

نتایج نشان داد تحت شرایط آبیاری نرمال عملکرد دانه با محتوی روی و منگنز در سطح احتمال پنج درصد و مس در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت، علاوه بر این در این شرایط بین محتوی منگنز و روی و محتوی مس و آهن در سطح احتمال پنج درصد و بین محتوی مس و روی در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری دیده شد. تحت شرایط تنش کم‌آبی عملکرد دانه تنها با محتوی روی دانه در سطح احتمال پنج درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. لازم به ذکر است که تحت شرایط تنش کم‌آبی محتوی مس با محتوی منگنز و آهن در سطح پنج درصد و با محتوی روی در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۷). همچنین در نتایج برخی مطالعات اعلام شده است که در گیاهان مواجه با شرایط شوری و خشکی، مصرف مقادیر بیشتر عنصر روی موجب افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی و شوری و افزایش عملکرد آن می‌شود (Chker et al., 2009).

نتیجه‌گیری نهایی

هدف از کشت گندم عملکرد دانه و خصوصیات کیفی مناسب این محصول است در این مطالعه رقم میهن در هر دو شرایط محیطی از بالاترین عملکرد دانه و خصوصیات کیفی مناسب برخوردار بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت رقم مذکور از پتانسیل ژنتیکی بالایی در زمینه صفات مرتبط با عملکرد دانه برخوردار است، نکته دیگر که در این مطالعه مشاهده شد این بود که هم در شرایط آبیاری نرمال و هم تحت شرایط تنش

کم‌آبی رقم میهن مناسب‌ترین واکنش را به تیمارهای محلول‌پاشی نشان داد بنابراین می‌توان اظهار داشت رقم مذکور از پتانسیل بالایی در زمینه جذب، انتقال و متابولیسم عناصر غذایی و اسید هیومیک در مقایسه با دیگر ارقام برخوردار است، نتایج نشان داد محلول‌پاشی عناصر روی، پتاسیم و فسفر و همچنین اسید هیومیک تحت شرایط تنش کم‌آبی در رقم میهن عملکرد مساوی و بیشتر از ارقام کشت‌شده تحت شرایط آبیاری نرمال و عدم محلول‌پاشی داشت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت تیمارهای محلول‌پاشی مذکور توانستند اثر تنش کم‌آبی را بر عملکرد دانه تعدیل نمایند و جایگزین بخشی از آب آبیاری مصرفی شوند

جدول ۷. ضرایب همبستگی عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی دانه ارقام گندم در شرایط آبیاری کامل

Table 7. Correlations between grain yield and grain nutrients concentration of wheat genotypes under full irrigation condition

صفات Traits	تنش کمبود آب Water deficit				آبیاری کامل Full irrigation			
	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	عملکرد دانه Grain yield	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	عملکرد دانه Grain yield
عملکرد دانه Grain yield				1				1
آهن Fe			1	0.332			1	0.289
روی Zn		1	0.308	0.532*		1	0.320	0.436*
منگنز Mn	1	0.464*	0.206	0.502*	1	0.384	0.244	0.212
مس Cu	0.376	0.517**	0.432*	0.735**	0.403*	0.574**	0.505*	0.208

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

*,**: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

منابع

Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, S.B., Sadeghzadeh, B., 2014. Effects of foliar application of Zinc Sulfate at different phenological stages on yield formation and grain zinc content of bread wheat. Azarian Journal of Agriculture, 1, 11-17.

Aghdasi, S., Modarres Sanavi, S.A.M., Alikhani Agha, M., Keshavarz, H., 2018. Impact of water deficit stress and foliar application of iron and manganese on some morphological and physiological of mungbean (*Vigna radiata* L.). Journal of Plant Process and Function. 7, 101-116. [In Persian with English Summary].

Arif, M., Chohan, M.A., Ali, S., Gul, R., Khan, S., 2006. Response of wheat to foliar application of nutrients. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 1, 30-34.

Azizzadeh, E., Movahedi Naeini, S. A. R., Zeinali, E., Roshani. G. A., 2018. Effects of foliar application of leonardite, nitrogen, and potassium on root growth, nutrient uptake and yield of wheat. Iranian Journal of Soil Research, 32,1-11. [In Persian with English Summary].

Bameri, M., Abdolshahi, R., Mohammadi Nejad, G., Yousefi, Kh., Tabatabaie, S.M., 2012. Effect of different microelement treatment on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and yield. International Research Journal of Applied and Basic Sciences. 3, 219-223.

Behruzi, M., Emam, Y., Maghsudi, K., 2016. Response of six wheat cultivars to moisture stress at the end of the growing season. Journal of Production and Processing of Crop and Horticultural Products. 17, 203-214. [In Persian with English Summary].

Beltrano, J., Ronco, M., Montaldi, E.R., 1999. Drought stress syndrome in wheat is provoked by ethylene evolution imbalance and reversed by rewatering, aminoethoxyvinylglycine and sodium benzoate. Journal of Plant Growth Regulation. 18, 59-64.

Cakmak, I., 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic bio-fortification. Plant and Soil. 302, 1-17.

Chen, X.P., Zhang, Y.Q., Tong, Y.P., Xue, Y.F., Liu, D.Y., Zhang, W., Deng, Y., Meng, Q.F., Yue, S.C., Yan, P., 2017. Harvesting more grain zinc of wheat for human health. Scientific Reports. 7, 1–8.

Chaker Al Hosseini, M., Mohtashami, R., Oliyae, H.R., 2009. Effects of zinc source and method on yield and qualityof rice of Cv. Cheram. Journal of Agricultural Science. 5, 33-43. [In Persian with English Summary].

El-Bassiouny, H.S.M., Bakry, B.A., El-Monem Attia, A.A., Abd Allah, M.M., 2014. Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum*) grown under newly reclaimed sandy soil. Agricultural Sciences. 5, 687-700.

El-Shabrawi, H. M., Bakry, B. A., Ahmed, M. A., Abou-El-Lail, M., 2015. Humic and oxalic acid stimulates grain yield and induces accumulation of plastidial carbohydrate metabolism enzymes in wheat grown under sandy soil conditions. Agricultural Sciences. 6, 175-185.

Emam, Y., 2011. Cereal Production. Shiraz University Publication. 190p. [In Persian].

Emam, Y., Dastfal, M., 1997. Above and below ground responses of winter barley plants to chlormequat in moist and drying soil. Crop Research. 14, 457-470.

Fan, M.S., Zhao, F.J., Fairweather-Tait, S.J., Poulton, P.R., Dunham, S.J., McGrath, S.P., 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. Journal of Trace Elements in Medicine. 22, 315–324

Farahani, M., Mirzakhani, M., Sajedi, N.A., 2017. Effect of water absorbent materials on some agronomic traits and seed protein of wheat under water deficit stress. Plant Production Technology. 7, 27-37. [In Persian with English Summary].

Gonzalez, A., Bermejo, V., Gimeno, B.S., 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. The Journal of Agricultural Science. 148, 319–328.

Graham, R.D., Webb, M.J., 1991. Micronutrients and plant disease resistance andtolerance in plants. In: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman L.M.,Welch, R.M. (eds.), Micronutrients in Agriculture. pp. 329-370. Madison, WI: Soil Sience Sosiety of America Book Series No. 4.

Gupta, N., Ram, H., Kumar, B., 2016. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. 15, 89 -109.

Islam, M., Z. Xue, S. Mao, Z. Xingbao, A. Eneji, and Y. Hu. 2011. Superabsorbent polymers (SAP) enhance efficient and eco-friendly production of corn (*Zea mays* L.) in drought affected areas of northern China. African Journal of Biotechnology. 10, 4887–94.

Kamaei, H., Eisvand, H.R., 2020. Effect of iron, zinc and manganese foliar application on the physiological, agronomic traits and protein of wheat under late season heat stress. Environmental Stress in Crop Sciences. 13, 285-295. [In Persian with English Summary].

Li, M., Wang, S., Tian, X., Zhao, J., Li, H., Guo, C., Chen, Y., Zhao, A., 2015. Zn distribution and bioavailability in whole grain and grain fractions of winter wheat as affected by applications of soil N and foliar Zn combined with N or P. Journal of Cereal Science. 61, 26–32.

Lončarić, Z., Ivezić, V., Kerovec, D., Rebekić, A., 2021. Foliar zinc-selenium and nitrogen fertilization affects content of zn, fe, se, p, and cd in wheat grain. Plants. 10, 8 - 1549

Makarem, H., El-Far, I.A., Ali, E.A., Said. M.T., 2019. Response of three bread wheat Cultivars to foliar spray by some micro- nutrients Nano-particles. Assiut Journal of Agricultural Sciences. 50, 9-21

Manzoor, Z., Ali, R.I., Awan, T.H., Khalid, N., and Ahmad, M., 2006. Appropriate time of nitrogen application to fine rice, (*Oryza sativa*). Journal of Agriculture Research. 44, 261-269.

Melash, A.A., Mengistu, D.K., Aberra, D.A., Tsegay, A., The influence of seeding rate and micronutrients foliar application on grain yield and quality traits and micronutrients of durum wheat. Journal of Cereal Science. 5, 15-29.

Mobser, H. R., Sharif, H., Madani, H., 2011. Study of the effects of potassium, copper and zinc on wheat yield under water stress. Journal of New Agricultural Findings. 2, 169-176. [In Persian with English Summary].

Mohammad Mohamadian, M., Moshayee, S., Karbalayee, M., 2010. Foliar application

effects of micro, macro nutrients and growth promoting elfer fertilizers (produced by DASA Co.) on yield and yield components of Rice. Iranian Biological journal. 4, 45-54. [In Persian with English Summary].

Muhammad Tayyab, Waqar Islam, Hua Zhang. 2018. Promising role of silicon to enhance drought resistance in wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 49, 2932-2941.

Nadim, M.A., Awan, I.U., Baloch, M.S., Khan, E.A., Naveed, Kh., Khan, M.A., 2011. Effect of micronutrients on growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 48, 191-196

Narimani, H., Rahimi, M.M., Ahmadikhah, A., 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, 168-176.

Oweis, T., Hachum, A., 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. Agricultural Water Management. 80, 57–73.

Payandeh, K., Mojaddam, M., Derogar, N., 2020. Study of quality and yield of rapeseed, Hayola 401 cultivar, with applying iron, zinc and manganese compound fertilizer under irrigation cut stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 13, 109-119. [In Persian with English Summary].

Payegozar, Y., 2008. Effect offoliar applicationof micro nutrient sonquantitative and qualitative characteristics of pearl millet under drought stress. Master's thesis, Department of Agriculture, University of Zabol. [In Persian].

Popović V, Glamočlija Đ, Sikora V, Đekić V, Cervenski J, Simić D., 2013. Genotypic specificity of soybean (*Glicine max*. L. Merr.) under conditions of foliar fertilization. Romanian Agricultural Research. 30, 1-12.

Rafiee, M., Nadian, H., Normohammadi, Gh., Karimi, M., 2004. Effects of drought stress and zinc and phosphorus on total concentration and concentration of elements in corn. Iranian Journal of Agricultural Science. 35, 235- 243. [In Persian with English summary].

Rahimi C., Aldin, R., Khourgami, A., Rafiei, M., Bour G., 2010. The study of different levels of manganese sulfate and zinc sulfate fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of three wheat cultivars in irrigated conditions in Khorram Abad city. Crop Physiology. 5, 33-44. [In Persian with English summary].

Rezaei, M., 2011. Evaluation of nutrient uptake and grain quality changes of bread wheat genotypes in response to lack of water. 2011. Ph.D dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. [In Persian].

Saeidi, M., Abdoli, M., Shafiei-Abnavi, M., Mohammadi, M., Eskandari-Ghaleh, Z., 2016. Evaluation of genetic diversity of bread and durum wheat genotypes based on agronomy traits and some morphological traits in non-stress and terminal drought stress conditions. Cereal Research. 5, 353-369. [In Persian with English Summary].

Sajedi, N.A., Rejali, F., 2011. Effects of drought stress, Zinc application and mycorrhiza inoculation on uptake of micro nutrients in maize. Iranian Journal of Soil Research (formerly soil and water sciences). 25, 83-92. [In Persian with English Summary].

Shaaban, S. H. A., Manal, F. M., Afifi, M. H. M., 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface-irrigated wheat. World Journal of Agricultural Sciences. 5, 207-210.

Singh, B., Timsina, Y., Lind, O., Cagna, S. and Janssens, K., 2018. Zinc and iron concentration as affected by nitrogen fertilization and their localization in wheat grainPlant Science. 9, 307 -319.

Sultana, S., Naser, H.M., Quddus, M.A., Shil, N.C., Hossain, M.A., 2018. Effect of foliar application of iron and zinc on nutrient uptake and grain yield of wheat under different irrigation regimes. journal of the Bangladesh Agricultural Research. 43, 395-406,

Tabatabaei, J., 2012. The effect of foliar application of zinc sulfate and moisture stress on grain yield of wheat cultivars. Journal of Crop Research. 3, 25-38. [In Persian with English summary].

Taiz, L., Zeiger, E.,1998. Plant Physiology (2nd ed). Sinaye Associates Inc. Publisher Sonderland Massachusetts. 757p.

Tiwari, K. N., Pathak, A. N., 1982. Studies on Fe-Zn interrelationships in rice under flooded and unflooded condition. Journal of Plant Nutrition. 5, 741-742.

USDA. 2019. World agricultural production. Department of Agriculture Foreign

Agricultural Service Office of Global Analysis. 30 pp.

Waraich, E.A., Ahmad, R., Halim, A., Aziz, T., 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: A review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 12, 221-244

Yassen, A., Abou El-Nour, E., Shedeed, S., 2010. Response of wheat to foliar Spray with urea and

Yin, H., Gao, X., Stomph, T., Li, L., Zhang, F., Zou, C., 2016. Zinc concentration in rice (*Oryza sativa* L.) grains and allocation in plants as affected by different zinc fertilization strategies. Soil Science and Plant Analysis. 47, 761 -768.

Zaheer, M.S., Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Erinle, K.O., Iqbal, R., Ahmad, S., 2019. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 50, 2521-2533