



اثر محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر صفات فیزیولوژیک، زراعی و پروتئین گندم تحت تنش گرمای انتهایی فصل

حسین کمائی^{۱*}، حمیدرضا عیسوند^۲

۱. دکتری زراعت (فیزیولوژی گیاهان زراعی)، دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۱

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر صفات فیزیولوژیک، زراعی و پروتئین گندم تحت تنش گرمای انتهایی فصل، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده با چهار تکرار در شهرستان رامهرمز اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح مناسب (۱۵ آبان) و تأخیری (۳۰ آذر) به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی عناصر غذایی کم مصرف در شش سطح عدم محلول پاشی (شاهد)، محلول پاشی با آب، آهن، روی، منگنز و آهن + روی + منگنز به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد، تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای انتهایی به جز محتوای پروتئین برگ و پروتئین دانه، صفات شاخص کلروفیل برگ، شاخص پایداری غشای سلول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را به طور معنی داری کاهش داد. با این وجود، محلول پاشی آهن، روی و منگنز توانست صفات اندازه گیری شده در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری را به طور معنی داری افزایش دهد. در این میان، کاربرد محلول پاشی روی بیشترین اثر را در کاهش آسیب ناشی از تنش گرمای انتهایی بر صفات مورد اندازه گیری نشان داد. به طور کلی، کاشت در تاریخ ۱۵ آبان و استفاده از عناصر غذایی کم مصرف به ویژه روی به صورت محلول پاشی می تواند اثرات زیان بار ناشی از تنش گرمای انتهایی را کاهش و موجب بهبود صفات فیزیولوژیک، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان در منطقه شود.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، عناصر ریز مغذی، گندم.

مقدمه

طریق تجمع انواع اکسیژن فعال (ROS) از جمله پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، اکسیژن منفرد (O_2^{\cdot})، رادیکال سوپراکسید ($O_2^{\cdot-}$) و رادیکال هیدروکسیل (OH^{\cdot}) باعث تنش اکسیداتیو می شود (Waraich et al., 2012). تجمع ROS ناشی از تنش دمای بالا به دلیل ارتباط آن‌ها با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و سیالیت غشاء، یکی از دلایل اصلی کاهش عملکرد محصولات زراعی است (Dhyani et al., 2013).

مدیریت عناصر غذایی به منظور توسعه تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های دمایی بسیار مفید است. کمبود عناصر

گندم (*Triticum aestivum* L.) از نظر میزان تولید و سطح زیر کشت مهم‌ترین محصول زراعی به شمار رفته و افزایش کمی و کیفی عملکرد آن در واحد سطح از مهم‌ترین اولویت‌های تحقیقاتی و اجرایی کشور است (Mojtabaie et al., 2015). در خوزستان، گندم رشد رویشی زیادی داشته و پتانسیل تولید عملکرد بالایی دارد، اما به دلیل افزایش ناگهانی درجه حرارت در ماه‌های اسفند و فروردین و مواجهه مراحل گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک گیاه با تنش گرمای آخر فصل عملکرد کمی و کیفی آن به مقدار زیادی کاهش می‌یابد (Moshatati et al., 2010). تنش گرما از

فسفاتاز است (Ghasemian et al., 2010). علاوه بر این، منگنز نقش اساسی در انتقال الکترون، فتوسنتز و جذب آهن توسط گیاهان دارد. منگنز به‌طور مستقیم از طریق افزایش ترکیبات و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و به‌طور غیرمستقیم از طریق افزایش سرعت فتوسنتز و متابولیسم نیتروژن نقش مهمی در کاهش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش دمای بالا در گیاهان دارد (Waraich et al., 2012). گزارش شده، کاربرد آهن، روی و منگنز بیشتر صفات زراعی همچون عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوای پروتئین دانه گندم را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بهبود می‌نماید (Zain et al., 2015; Zeidan and Nofal, 2002).

با توجه به اهمیت تولید گندم در جهت تأمین منابع غذایی موردنیاز کشور و لزوم بهبود تولید آن در بعضی از مناطق مانند خوزستان که با تنش گرمای انتهایی فصل مواجه هستند و همچنین توجه به نقش محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف به‌ویژه آهن، روی و منگنز در بهبود صفات فیزیولوژیک، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم تحت تنش گرمای آخر فصل، آزمایش حاضر با هدف بررسی محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر صفات فیزیولوژیک، زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم تحت تنش گرمای انتهایی فصل زراعی در رامهرمز خوزستان طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و چهار تکرار در مزرعه‌ای واقع در شهرستان رامهرمز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ اجرا گردید. عوامل آزمایشی شامل تاریخ کاشت در دو سطح، مناسب (۱۵ آبان) و تأخیری (۳۰ آذر) به‌منظور مواجهه‌شدن مراحل انتهایی رشد با تنش گرمای انتهایی فصل (Radmehr, 1997) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف در شش سطح، عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با آب، آهن، روی، منگنز و آهن + روی + منگنز (هرکدام ۳ لیتر در هکتار) بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سه مرحله‌ی پنجه‌زنی، ساقه رفتن و گرده‌افشانی به‌عنوان عامل فرعی بودند. برای محلول‌پاشی عناصر غذایی

غذایی کم‌مصرف در بسیاری از کشورهای آسیایی از جمله ایران به علت ماهیت آهکی خاک، pH بالا، مواد آلی پایین، تنش شوری، خشک‌سالی، محتوای بی‌کربنات آب آبیاری و عدم تعادل در استفاده از کودهای NPK شایع است (Narimani et al., 2010). از آنجاکه در شرایط مزرعه، خصوصیات خاک و عوامل محیطی مؤثر بر جذب عناصر غذایی بسیار متغیر هستند، محلول‌پاشی عناصر می‌تواند یک مزیت برای رشد محصول باشد (Seifi Nadeefgholi et al., 2011). 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).

آهن به‌عنوان یک عنصر غذایی کم‌مصرف، جزء ضروری بسیاری از آنزیم‌ها همچون نیتروژناز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و نیترات ردوکتاز است و نقش اساسی در سنتز کلروفیل، نمو کلروپلاست، انتقال الکترون، فتوسنتز و متابولیسم گیاهان دارد (Ghasemian et al., 2010). کمبود آهن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان که از سیستم‌های فتوسنتزی گیاهان تحت تنش‌های محیطی محافظت می‌کنند را کاهش می‌دهد (Sun et al., 2007). آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز به‌عنوان مهم‌ترین آنزیم‌های خنثی‌کننده پراکسید هیدروژن در گیاهان، حاوی آهن بوده و فعالیت آن‌ها تحت تأثیر کمبود آهن قرار می‌گیرد (Sun et al., 2007).

روی یک عنصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است که به‌عنوان یک جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌صورت یک کوفاکتور ساختاری و یا نظارتی کاربردی برای سنتز پروتئین، RNA و DNA، فتوسنتز، سنتز اکسین، تقسیم سلولی و لقاح جنسی عمل می‌کند (Kobraee et al., 2011). 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). کمبود روی به دلیل افزایش تولید ROS و بروز تنش اکسیداتیو موجب اختلال در متابولیسم سلول و متعاقب آن کاهش رشد و عملکرد گندم می‌شود (Cakmak et al., 1996).

منگنز به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری، نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دکربوکسیلاز و دهیدروژناز دارد و جزء اصلی کمپلکس پروتئینی PSII، سوپراکسید دیسموتاز و

بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، مس، آهن، روی و منگنز در خاک برای گندم در خوزستان به ترتیب ۲۰۰، ۱۲، ۰/۷، ۳/۸، ۱ و ۱ میلی گرم در کیلوگرم است (Tabatabaei, 2013). کشت به روش دستی و در عمق سه سانتی متری خاک انجام گردید. رقم گندم مورد کشت چمران که از ویژگی‌های آن می‌توان به تیپ رشد بهاره، میانگین ارتفاع بوته ۹۵ سانتی متر، میانگین وزن هزار دانه ۳۹ گرم، میانگین عملکرد دانه ۶/۵ تن در هکتار، زودرس و متحمل بودن به دمای بالا اشاره کرد (Modhej and Fathi, 2008). آبیاری، کوددهی، مبارزه با علف‌های هرز و آفات به گونه‌ای انجام شد که گیاه با تنش دیگری غیر از تنش گرمای انتهایی ناشی از تأخیر در کاشت مواجه نگردد. آبیاری مطابق با نیاز گیاه و شرایط اقلیمی منطقه در هفت نوبت (خاک‌آب، سبز آب، پنجه آب، ساق آب، خوش آب، گل آب و دانه آب) و به صورت جوی و پشته انجام گرفت. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از سطح یک مترمربع هر کرت اندازه‌گیری و شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک، به صورت درصد، محاسبه شد.

آهن، روی و منگنز به ترتیب از کلات آهن ۶ درصد، کلات روی ۷/۵ درصد و کلات منگنز ۷ درصد به میزان ۳ لیتر در هزار لیتر آب در هکتار (محصولات شرکت زرافشان) استفاده شد. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی با نفوذپذیری کم و از مشخصات آن می‌توان به پایین بودن میزان پتاسیم، آهن، روی، منگنز، ماده آلی و بالا بودن میزان فسفر، اسیدیته و شوری خاک اشاره کرد (جدول ۱). میانگین حداقل و حداکثر دمای محل آزمایش در طی مراحل گرده‌افشانی تا پر شدن دانه در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری به ترتیب ۱۷/۰ و ۳۱/۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۱/۸ و ۳۷/۵ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۲). کرت‌های آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت سه متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از همدیگر و تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. بر اساس نتایج آزمون خاک، اوره، سولفات پتاسیم و گوگرد به ترتیب، مقدار ۳۰۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. کود اوره به صورت یک سوم پایه و در زمان کاشت همراه با تمام سولفات پتاسیم و گوگرد، یک سوم در مرحله پایان پنجه‌زنی و یک سوم در مرحله گل‌دهی به عنوان سرک مصرف شد. به دلیل بالا بودن میزان فسفر از کودهای فسفره استفاده نشد. غلظت

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental location

E.C dS.m ⁻¹	pH	بافت خاک Soil texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	مواد آلی O.C	فسفر P	پتاسیم K	مس Cu	آهن Fe			منگنز Mn
										Zn			
			----- (%) -----			----- (mg.kg ⁻¹) -----							
5.64	7.56	Silty clay	48	38	14	0.86	16.63	186	0.93	2.16	0.75	0.83	

جدول ۲. آمار هواشناسی رامهرمز در طی دوره آزمایش

Table 2. Weather statistics of Ramhormoz during the experimental period

Month	ماه	میانگین دمای هوا Mean of air temperature (°C)		رطوبت نسبی RH (%)	بارندگی Precipitation (mm)
		حداکثر Maximum	حداقل Minimum		
		حداکثر	حداقل		
November	آبان	30.2	18.6	40	18.3
December	آذر	26.6	10.6	57	63.7
January	دی	17.9	9.8	66	59.9
February	بهمن	20.8	8.2	60	46.1
March	اسفند	23.3	13.9	51	41.5
April	فروردین	31.4	17.1	46	26.8
May	اردیبهشت	37.8	22.4	44	18.2

روش اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و محتوای

پروتئین دانه

شاخص کلروفیل برگ

برای تعیین شاخص کلروفیل برگ در شرایط مزرعه، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی در مرحله پر شدن دانه، به‌طور تصادفی برداشت و از هر بوته ۵ برگ و از هر برگ ۳ نقطه با دستگاه کلروفیل سنج دیجیتال عدد را قرائت و عدد میانگین به‌عنوان شاخص کلروفیل برگ ثبت شد.

محتوای پروتئین برگ

محتوای پروتئین برگ از طریق روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) و بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر برگ از جدول استاندارد تعیین شد.

شاخص پایداری غشای سلول

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشای سلول از رابطه ۱ استفاده شد (Lutts et al., 1996).

$$[1] \quad \text{CMSI} = (1 - (\text{EC1} / \text{EC2})) \times 100$$

در رابطه ۱، CMSI: شاخص پایداری غشای سلول، EC1: هدایت الکتریکی اولیه (نشت اولیه) و EC2: هدایت الکتریکی ثانویه (نشت ثانویه) است.

محتوای پروتئین دانه

محتوای پروتئین دانه با استفاده از دستگاه کجلدال اندازه‌گیری شد (A.A.C.C., 2000). به‌طوری‌که ابتدا درصد نیتروژن دانه تعیین و سپس با حاصل ضرب درصد نیتروژن دانه در عدد ۵/۷، محتوای پروتئین دانه به‌صورت درصد به دست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسات میانگین در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F با آزمون LSD و در سطح احتمال خطای ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر شاخص کلروفیل برگ گندم در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص

کلروفیل برگ گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۶۲/۳۵) و تنش گرمای انتهایی فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۵۷/۰۰) از تیمار محلول‌پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۵۰/۷۳) و تنش گرمای انتهایی فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۴۸/۷۲) از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). نتایج نشان می‌دهد، تاریخ کاشت دیر هنگام اثر کاهشی بر شاخص کلروفیل برگ گندم دارد، ولی در چنین شرایطی استفاده از عنصر غذایی روی سبب افزایش شاخص کلروفیل برگ می‌شود. به‌طوری‌که در تاریخ کاشت دیر هنگام (۳۰ آذر) عنصر غذایی روی توانست به میزان ۱۴/۵۲ درصد شاخص کلروفیل برگ گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. مدحج و همکاران (Modhej et al., 2008) گزارش دادند که تنش گرما موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ در ژنوتیپ‌های مختلف گندم شد. دلیل این کاهش را می‌توان به تولید ROS تحت شرایط تنش گرما نسبت داد (Wahid et al., 2007). اضمحلال و کاهش شاخص کلروفیل برگ تحت شرایط تنش بر اثر افزایش آنزیم کلروفیل‌آز (Chlorophyllase) رخ می‌دهد که در شرایط تنش بیان این آنزیم القاء می‌شود (Ranjan et al., 2001)؛ بنابراین می‌توان افزایش آنزیم کلروفیل‌آز تحت شرایط تنش را با تولید ROS مرتبط دانست. اثر متقابل کاربرد روی و تنش گرما بر شاخص سبزی‌نگی برگ معنی‌دار نبود، اگرچه با افزایش غلظت روی این شاخص افزایش نشان داد (Graham and McDonald, 2001). این یافته آن‌ها مغایر با نتایج این آزمایش بود. در آزمایش حاضر مشاهده شد که کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری شد که با توجه به نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز و تشکیل کلروفیل (Ghasemian et al., 2010; Waraich et al., 2012; Reddy, 2004) قابل توجیه است.

محتوای پروتئین برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر متقابل تاریخ کاشت و محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز بر محتوای پروتئین برگ گندم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مورد اندازه گیری تحت تأثیر عوامل آزمایشی

Table 3. Analysis of variance measured traits affected by experimental factors

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	شاخص پایداری غشای سلول		
			شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	محتوای پرولین برگ Leaf proline content	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index
Block	بلوک	3	2.14 ^{ns}	0.79 ^{ns}	6.36 ^{ns}
Planting date (D)	تاریخ کاشت	1	74.75 ^{**}	195.45 ^{**}	522.06 ^{**}
Error a	خطای a	3	7.22	2.25	35.96
Foliar (F)	محلول پاشی	5	35.25 ^{**}	22.51 ^{**}	168.27 ^{**}
D × F	اثر متقابل	5	26.85 ^{**}	16.42 ^{**}	120.18 [*]
Error b	خطای b	30	4.18	0.06	22.99
CV%	ضریب تغییرات (%)		4.93	10.78	8.61

Table 3. Continued

جدول ۳. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی d.f	محتوای پروتئین دانه		
			عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
Block	بلوک	3	186223.7 ^{ns}	645865.2 ^{ns}	2.04 ^{ns}
Planting date (D)	تاریخ کاشت	1	1185874.1 ^{**}	4105671.1 ^{**}	11.89 [*]
Error a	خطای a	3	666022.1	3078779.1	4.01
Foliar (F)	محلول پاشی	5	3119353.2 ^{**}	1469338.0 ^{**}	17.36 ^{**}
D × F	اثر متقابل	5	242529.7 ^{**}	1164511.3 ^{**}	13.31 [*]
Error b	خطای b	30	220211.8	2708571.9	3.42
CV%	ضریب تغییرات (%)		11.86	13.93	5.27

ns, * و **: به ترتیب، غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال خطای ۵ و ۱ درصد
ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively

می شود. به طوری که در تاریخ کاشت دیر هنگام (۳۰ آذر) عنصر غذایی روی توانست به میزان ۲۸/۹۴ درصد محتوای پرولین برگ گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. دیانی و همکاران (Dhyani et al., 2013) افزایش محتوای پرولین برگ گندم را با تأخیر در کاشت و قرار گرفتن در معرض تنش گرمای انتهایی گزارش دادند. سانادا و همکاران (Sannada et al., 1995) علت افزایش محتوای پرولین برگ گندم و جو را بیوسنتز پرولین، کاهش اکسیداسیون پرولین به گلوتامات و یا تبدیل پروتئین به اسید آمینه پرولین به دلیل افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین تحت شرایط تنش ذکر کردند. کرملاجعب و قرینه (Karmollachaab and gharineh, 2013) کاهش محتوای پرولین برگ در نتیجه کاربرد عنصر غذایی روی را در هر دو شرایط تنش و عدم تنش

مقایسه میانگین ها نشان داد، بیشترین میزان محتوای پرولین برگ پرچم گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۹/۹۲) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۱۶/۹۳) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار محلول پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۶/۸۳) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) و تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۱۲/۰۳) میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم محلول پاشی (شاهد) به دست آمد (جداول ۴ و ۵).

نتایج نشان می دهد، تاریخ کاشت دیر هنگام اثر افزایشی بر محتوای پرولین برگ گندم دارد، علاوه بر این، استفاده از عنصر غذایی روی نیز سبب افزایش محتوای پرولین برگ

فتواکسیداسیون و حفظ یکپارچگی غشای کلروپلاست (Marschner, 1995)، لذا می‌توان علت بهبود شاخص پایداری غشای سلول در نتیجه محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز (Waraich et al., 2012) مرتبط دانست.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف بر عملکرد دانه گندم در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان عملکرد دانه گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۶۶۷۳/۲۰ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۵۰۳۶/۵۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۴۵۱۵/۵۷ کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۳۰۴۳/۷۷ کیلوگرم در هکتار) از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). نتایج نشان می‌دهد، تاریخ کاشت دیرهنگام در مقایسه با تاریخ کاشت مناسب، موجب کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود، ولی در چنین شرایطی استفاده از عنصر غذایی روی سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. به طوری که در تاریخ کاشت دیرهنگام (۳۰ آذر) عنصر غذایی روی توانست به میزان ۳۹/۵۶ درصد عملکرد دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد در همین تاریخ کاشت افزایش دهد. اکبری‌مقدم و همکاران (Akbari Moghaddam et al., 1998) علت کاهش عملکرد دانه گندم با تأخیر در کاشت را تسریع مراحل رشد و نمو، مواجهه مراحل حساس رشد گیاه (تقسیم میوز، ظهور سنبله، گرده‌افشانی و پر شدن دانه) با تنش گرمای انتهای فصل و متعاقب آن افزایش میزان عقیمی گلچه‌ها و کاهش تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله ذکر کردند. ندیم و همکاران (Nadim et al., 2011) گزارش دادند که کاربرد مجزا و تلفیقی آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود. گزارش شده است که تشکیل ROS ناشی از تنش گرمای انتهای فصل با تولید اتیلن، پراکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه سیالیت غشاء مرتبط است (Wang et al., 2012). همچنین مطالعات پیشین نشان داده، افزایش اتیلن در گندم، باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، کاهش

گزارش کردند. این یافته آن‌ها با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. محققان بسیاری علت افزایش تجمع پرولین در نتیجه محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز را به نقش این عناصر در فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن‌ها به اسیدآمینو پرولین نسبت دادند (Babaeian et al., 2011; Boorboori et al., 2012; Waraich et al., 2012) که می‌تواند توجیه‌کننده نتایج آزمایش حاضر باشد.

شاخص پایداری غشای سلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم در سطح احتمال خطای ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۷۹/۲۵ درصد) و تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۶۷/۱۷ درصد) از تیمار محلول‌پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۶۴/۳۳ درصد) و تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۵۷/۹۵ درصد) از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). نتایج نشان می‌دهد، تاریخ کاشت دیرهنگام اثر کاهشی بر شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم دارد، ولی در چنین شرایطی استفاده از عنصر غذایی روی سبب افزایش شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم می‌شود. به طوری که در تاریخ کاشت دیرهنگام (۳۰ آذر) عنصر غذایی روی توانست به میزان ۹/۲۲ درصد شاخص پایداری غشای سلول برگ پرچم گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. لی و همکاران (Lee et al., 2005) گزارش دادند که تحت شرایط درجه حرارت بالا، تولید و انباشتگی ROS به اکسایش و تخریب پروتئین‌ها و لیپیدهای غشاء و در نهایت به افزایش نشت الکترولیت‌ها (کاهش شاخص پایداری غشای سلول) منجر می‌شود. عنصر روی نقش بسیار مهمی در اعمال متابولیسمی سلول، محافظت غشاء در مقابل ROS و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نشان داد (Marschner, 1995). از آنجاکه یکی از راه‌های مقابله با ROS ناشی از تنش‌های محیطی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان است (Raza et al., 2013) و با توجه به نقش این آنتی‌اکسیدان‌ها در جاروب کردن ROS، کاهش

وزن هزار دانه، تسریع بلوغ، پیری زودرس و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود (Beltrano et al., 1999)؛ بنابراین می‌توان علت افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد آهن، روی و منگنز را با نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر محلول پاشی عناصر غذایی بر صفات مورد اندازه‌گیری در تاریخ کاشت مناسب

Table 4. Comparison of mean the effect of nutrients foliar application on measured traits in optimum planting date

محلول پاشی Foliar application	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	محتوای پرولین برگ Leaf proline content ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{fw}$)	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index (%)	عملکرد دانه Grain yield -----(kg.h^{-1})-----	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای پروتئین دانه Grain protein content (%)
شاهد (Control)	50.73 ^e	6.83 ^e	64.33 ^e	4515.6 ^e	11522.2 ^f	39.19 ^e	10.04 ^e
آب (Water)	53.61 ^d	7.60 ^d	67.49 ^d	5090.2 ^d	12647.3 ^e	40.24 ^d	10.34 ^d
آهن (Fe)	56.61 ^c	8.73 ^{bc}	75.02 ^b	5626.4 ^c	13971.5 ^{bc}	40.27 ^d	10.63 ^c
روی (Zn)	62.35 ^a	9.92 ^a	79.25 ^a	6673.2 ^a	15249.8 ^a	43.75 ^a	11.19 ^a
منگنز (Mn)	56.52 ^c	8.35 ^c	74.47 ^{bc}	5578.7 ^c	13467.4 ^{cd}	41.42 ^{bc}	10.62 ^c
Fe+ Zn+Mn	59.40 ^b	9.17 ^b	75.10 ^b	6103.4 ^b	14451.7 ^b	42.23 ^b	10.91 ^b
LSD 5%	2.76	0.72	3.08	365.49	783.54	0.98	0.25

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر محلول پاشی عناصر غذایی بر صفات مورد اندازه‌گیری در تاریخ کاشت تأخیری

Table 4. Comparison of mean the effect of nutrients foliar application on measured traits in late planting date

محلول پاشی Foliar application	شاخص کلروفیل برگ Leaf chlorophyll index	محتوای پرولین برگ Leaf proline content ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{fw}$)	شاخص پایداری غشای سلول Cell membrane stability index (%)	عملکرد دانه Grain yield -----(kg.h^{-1})-----	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوای پروتئین دانه Grain protein content (%)
شاهد (Control)	48.72 ^e	12.03 ^f	57.95 ^d	3043.8 ^e	9421.3 ^e	32.30 ^f	12.06 ^f
آب (Water)	51.97 ^{bcd}	13.34 ^e	60.07 ^{bcd}	3527.6 ^d	10253.4 ^d	34.40 ^e	12.37 ^{cde}
آهن (Fe)	53.72 ^b	15.68 ^c	61.70 ^{bc}	4071.6 ^c	11156.5 ^c	36.49 ^c	12.59 ^{bc}
روی (Zn)	57.00 ^a	16.93 ^a	67.17 ^a	5036.6 ^a	12832.6 ^a	39.24 ^a	12.98 ^a
منگنز (Mn)	53.07 ^{bc}	14.53 ^d	61.59 ^{bc}	4005.7 ^c	11090.5 ^c	36.11 ^{cd}	12.51 ^{bcd}
Fe+ Zn+Mn	53.77 ^b	16.82 ^{ab}	62.67 ^b	4551.9 ^b	11990.8 ^b	37.96 ^b	12.67 ^b
LSD 5%	3.21	1.12	4.33	472.27	815.00	1.03	0.29

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد به روش LSD ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level using of LSD.

بیولوژیک گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۱۵۲۴۹/۸۲) کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۱۲۸۳۲/۵۶) کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۱۱۵۲۲/۱۸) کیلوگرم در هکتار) و تاریخ کاشت تأخیری ۳۰ آذر (۹۴۲۱/۲۸) کیلوگرم در هکتار)

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف بر عملکرد بیولوژیک گندم در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان عملکرد

که با توجه به نقش این عناصر در سهم بیشتر عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه) از کل ماده خشک تجمع یافته نسبت به شاهد (Ziaeian and Malakouti, 2001) و قرار گرفتن آن در صورت کسر معادله شاخص برداشت قابل توجه است.

محتوای پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف بر محتوای پروتئین دانه گندم در سطح احتمال خطای ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان محتوای پروتئین دانه گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۱۱/۱۹ درصد) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۱۲/۹۸ درصد) از تیمار محلول‌پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۱۰/۰۴ درصد) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۱۲/۰۶ درصد) از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). نتایج نشان می‌دهد، تاریخ کاشت دیر هنگام اثر افزایشی بر محتوای پروتئین دانه گندم دارد، علاوه بر این، استفاده از عنصر غذایی روی نیز سبب افزایش محتوای پروتئین دانه گندم می‌شود. به طوری که در تاریخ کاشت دیر هنگام (۳۰ آذر) عنصر غذایی روی توانست به میزان ۰/۹۲ درصد محتوای پروتئین دانه گندم را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دهد. اسلامی و همکاران (Eslami et al., 2014) گزارش کردند که با تأخیر در کاشت محتوای پروتئین دانه ژنوتیپ‌های گندم افزایش یافت. دمای بالای ناشی از تأخیر در کاشت در مراحل پس از گرده‌افشانی موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه، کوچک‌تر شدن آندوسپرم، کاهش وزن دانه و متعاقب آن افزایش محتوای پروتئین دانه گندم گردید (Ahmed et al., 1994). در آزمایش حاضر، محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز موجب افزایش محتوای پروتئین دانه در هر دو تاریخ کاشت گردید که با توجه به نقش این عناصر در جذب و متابولیسم نیتروژن (مهم‌ترین عنصر در افزایش محتوای پروتئین دانه) و بیوسنتز پروتئین‌ها از طریق تنظیم فعالیت پپتیدازها و کنترل متابولیسم آن‌ها (Hänsch and Mendel, 2009) قابل توجه است.

نتیجه‌گیری نهایی

تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای آخر فصل سبب افزایش محتوای پرولین برگ و پروتئین دانه شد اما صفات دیگر مانند، شاخص کلروفیل برگ، شاخص پایداری غشای سلول، عملکرد

از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). ممتازی و امام (Momtazi and Emam, 2006) کاهش عملکرد بیولوژیک گندم را با تأخیر در کاشت گزارش دادند. این محققین دلیل آن را به کاشت زودتر و برخورد مراحل رشد رویشی بوته‌ها با شرایط مساعدتر محیطی در تاریخ کاشت مناسب نسبت دادند که منجر به افزایش طول دوره رشد و نمو و بهبود تولید و تجمع ماده خشک گیاهی شد. زیدان و نوفل (Zeidan and Nofal, 2002) گزارش دادند که کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود. در آزمایش حاضر کاربرد آهن، روی و منگنز موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری شد که با توجه به نقش این عناصر در افزایش عملکرد دانه، عملکرد کاه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله گندم (Ziaeian and Malakouti, 2001) قابل توجه است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهمکنش تاریخ کاشت و کاربرد عناصر غذایی کم‌مصرف بر شاخص برداشت گندم در سطح احتمال خطای ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان شاخص برداشت گندم در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۴۳/۷۵ درصد) و تاریخ کاشت تأخیری ۳۰ آذر (۳۹/۲۴ درصد) از تیمار محلول‌پاشی روی و کمترین آن در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۳۹/۱۹ درصد) و تاریخ کاشت ۳۰ آذر (۳۲/۳۰ درصد) از تیمار عدم محلول‌پاشی (شاهد) به دست آمد (جدول ۴ و ۵). مشتقی و همکاران (Moshatati et al., 2010) گزارش دادند که با تأخیر در کاشت به دلیل مواجه شدن بیشتر مراحل رشد زایشی با تنش گرمای انتهایی فصل نسبت به مراحل رشد رویشی شاخص برداشت گندم کاهش می‌یابد. عبدلی و همکاران (Abdoli et al., 2014) اظهار داشتند که با محلول‌پاشی روی افزایشی در شاخص برداشت گندم مشاهده نشد. این محققین علت را به افزایش ذخیره مواد فتوسنتزی در اندام‌های رویشی و کاهش انتقال مجدد این مواد به اندام‌های زایشی در نتیجه کاربرد روی و متعاقب آن بیشتر شدن سهم کاه و کلش از مواد فتوسنتزی نسبت به عملکرد دانه نسبت دادند. یافته‌های این محققین با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. در آزمایش حاضر، محلول‌پاشی آهن، روی و منگنز در تاریخ کاشت مناسب و تأخیری موجب افزایش شاخص برداشت شد

تأخیری داشت. به طور کلی می توان از تاریخ کاشت مناسب (۱۵ آبان) و محلول پاشی آهن، روی و منگنز به ویژه روی به منظور کاهش اثرات زیان بار تنش گرمای انتهایی فصل ناشی از تاریخ کاشت تأخیری در مناطق گرم همچون شهرستان رامهرمز بهره برد.

دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم را کاهش داد. محلول پاشی آهن، روی و منگنز بر تمام صفات اندازه گیری شده در دو تاریخ کاشت مناسب و تأخیری اثر مطلوبی نشان داد. در بین سطوح مختلف محلول پاشی، کاربرد روی بیشترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژیک و زراعی و محتوای پروتئین دانه گندم نان (رقم چمران) در هر دو تاریخ کاشت مناسب و

منابع

- A.A.C.C., 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists 10th ed. AACC, St. Paul. Minnesota.
- Abdoli, M., Esfandiari, E., Mousavi, 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 (cv. Kohdasht). *Azarian Journal of Agriculture*. 1, 11-17.
- Ahmed, M., Arain, M.A., Siddiqui, K.A., 1994. Effect of contemporary rotation simulation on the grain weight, protein and lysine content of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 26(2), 311-339.
- Akbari Moghaddam, H., Kambuzia, J., Sangtarash, M., 1998. Study of variation in grain yield and yield components in two wheat cultivars Hirmand and Falat cross in different planting dates, Pp. 321. In: The proceedings of the 5th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran. [In Persian].
- Babaeian, M., Tavassoli, A., Ghanbari, A., Esmaeilian, Y., Fahimifard, M., 2011. Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (*Alstar cultivar*) under water stress at three stages. *African Journal of Agricultural Research*. 6, 1204-1208.
- Bates, L.S., Waldern, R.P., Teare, E.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
- 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.
- Boorboori, M.R., EradatmandAsli, D., Tehrani, M., 2012. The Effect of dose and different methods of iron, zinc, manganese and copper application on yield components, morphological traits and grain protein percentage of barley plant (*Hordeum vulgare* L.) in greenhouse conditions. *Journal of Advances in Environmental Biology*. 6, 740-746.
- Cakmak, I., Sary, N., Marschner, H., Kalayci, M., Yilmaz, A., Eker, S., Gulut, K.Y., 1996. Dry matter production and distribution of Zn in bread and durum wheat genotypes differing in Zn efficiency. *Plant and Soil*. 180, 173-181.
- Dhyani, K., Ansari, M.V., Roa, Y., Verma, R.S., Shukla, A., Tuteja, N., 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling and Behavior*. 8(6) e24564, 1-6.
- Eslami, H., Mir Hadi, S.M.J., Kalateh Arabi, M., 2014. Effect of planting date on protein content of wheat varieties. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 3(4), 362-364.
- Ghasemian, V., Ghalavand, A., Soroosh zadeh, A., Pirzad, A., 2010. The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology*. 2, 73-79.
- Graham, A.W., McDonald, G.K., 2001. Effect of zinc on photosynthesis and yield of wheat under heat stress, Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference 2001, Australian Society of Agronomy, Hobart, Tasmania, Australia.
- Hänsch, R., Mendel, R.R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion of Plant Biology*. 12, 259-266.
- Karmollachaab, A., Gharineh, M.H., 2013. Effect of Zinc Element on Growth, Yield Components and some Physiological Characteristics of Maize under NaCl Salinity Stress. *Iranian*

- Journal of Field Crops Research. 11(3), 446-453. [In Persian with English Summary].
- Kobraee, S., Shamsi, K., Rasekhi, B., 2011. Effect of micronutrients application on yield and yield components of soybean. *Annals of Biological Research*. 2(2), 476-482.
- Lee, D.G., Ahsan, N., Lee, S.H., Kang, K.Y., 2005. A proteomic approach in analyzing heat-responsive proteins in rice leaves. *Proteomics*. 7, 3369-3383.
- Lutts, S., Kinet, J.M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*. 78, 389-398.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Modhej, A., Fathi, Gh., 2008. Wheat Physiology. Islamic Azad University Publication (Shushtar branch). 317p. [In Persian].
- Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., 2008. Effects of post-anthesis heat stress and nitrogen levels on grain yield in wheat (*T. durum* and *T.aestivum*) cultivars. *International Journal of Plant Production*. 2, 254-267.
- Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M., 2015. Effect of heat stress during grain filling on photosynthesis and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 17(1), 1-17. [In Persian with English Summary].
- Momtazi, F., Emam, Y., 2006. Effect of planting date and seed rate on yield and yield components in bread wheat (*Shiraz cultivar*). *Iranian Journal of crop Sciences*. 37, 1-11. [In Persian with English Summary].
- Moshatati, A., AlamiSaeid, Kh., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M., Jalal-Kamali, M.R., 2010. Effect of terminal heat stress on yield and yield components of spring bread wheat cultivars in Ahvaz. *Journal of Crop Production*. 3(4), 195-203.
- 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(3), 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.
- Radmehr, M., 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. 201p. [In Persian].
- Ranjan, R., Bohra, S.P., Jeet, A.M., 2001. Plant senescence, Jodhpur, Agrobios New York, 18-42.
- Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Shah, G.M., Jamil, M., Khan, I.H., 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 13(1), 175-185.
- Reddy, S.R., 2004. Principles of Crop Production-Growth Regulators and Growth Analysis, 2nd Ed. Kalyani Publishers, Ludhiana, India.
- Sannada, Y., Ueda, H., Kuribayashi, K., Andoh, T., Hayashi, F., Tamai, N., Wada, K., 1995. Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Journal of Plant Cell Physiology*. 36, 965-970.
- Seifi Nadergholi, M., Yarnia, M., Rahimzade Khoei, F., 2011. Effect of zinc and manganese and their application method on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Khomein). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 5, 859-865.
- Sun, B., Jing, Y., Chen, K., Song, L., Chen, F., Zhang, L., 2007. Protective effect of nitric oxide on iron deficiency-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Physiology*. 164, 536-543.
- Tabatabaei, S.J., 2013. Principles of mineral nutrition of plants. Tabriz University Press. 544p. [In Persian].
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Foolad, M.R., 2007. Review heat tolerance in plants: an overview, *Environmental and Experimental Botany*. 61, 199-223.
- Wang, J.M., Zhao, H., Huang, D., Wang, Z., 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research*. 135, 89-96.

- 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 micronutrients. *Journal of American Science*. 6 (9), 14-22.
- Zain, M., Khan, I., Khan Qadri, R.W., Ashraf, U., Hussain, S., Minhas, S., Siddique, A., Muzammil Jahangir, M., Bashir, M., 2015. Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. *American Journal of Plant Sciences*. 6, 864-869.
- Zeidan M.S., Nofal, O.A., 2002. Effect of urea on the efficiency of spraying iron, manganese, zinc and copper on wheat. *Egyptian Journal of Agronomy*. 24, 121-131.
- Ziaieian, A.H., Malakouti, M.J., 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization on the yield and grain quality of wheat in the calcareous soils of Iran. *Food Security and Sustainability of Agro-Ecosystems*. pp. 840-841.