



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال هشتم / شماره سوم / ۱۴۰۰ (۲۴۴ - ۲۲۵)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2021.5227

تغییرات سیستم دفاعی گندم بهاره با کاربرد عنصر روی و بذره‌های زی‌فرونی‌شده با این عنصر در شرایط تنش خشکی

امین عباسی^{۱*}، محمود علی‌قلی‌پور شربانی^۲، محمد صدقی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۱۰

چکیده

تنش خشکی و کمبود عنصر روی همواره به‌عنوان مشکلات تأثیرگذار بر عملکرد غلات به‌خصوص گندم مطرح بودند. به‌منظور تأثیر کاربرد عنصر روی و میزان درونی این عنصر بر روی تغییرات رشدی و سیستم دفاعی گندم در شرایط مختلف رطوبتی پژوهشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه اردبیل اجرا و شاخص‌های بیوشیمیایی آن در دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۶ اندازه‌گیری شد. عوامل مورد بررسی در این آزمایش شامل بذور زی‌فرونی‌شده، کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بودند. نتایج این پژوهش مشخص کرد که برهم‌کنش سه جانبه مورد آزمایش بر روی ارتفاع ساقه، سطح برگ، کلروفیل، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، آیزوزیم Cu/Zn-SOD، آسکورات پراکسیداز، کاتالاز و محتوای پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. با توجه به مقایسات میانگین صورت گرفته بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، آیزوزیم Cu/Zn-SOD، آسکورات پراکسیداز، کاتالاز در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در تیمار بذور زی‌فرونی‌شده به‌روش خاکی ثبت گردید که برآیند آن را می‌توان در تعدیل محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در این تیمار مشاهده کرد. همچنین بر اساس این نتایج میزان کلروفیل، سطح برگ و ارتفاع گیاه نیز در این تیمار نسبت به تیمار کاربرد بذور عدم زی‌فرونی‌شده در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش معنی‌دار نشان داد. به‌عنوان نتیجه نهایی می‌توان چنین اذعان داشت که کاربرد بذور زی‌فرونی‌شده به‌روش خاکی در کشت‌زارهای مادری به‌همراه کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در کشت‌زارهای اصلی در شرایط متفاوت رطوبتی، می‌تواند به‌عنوان تیمار انتخابی مناسب برای پژوهش در مزرعه معرفی گردد.

واژه‌های کلیدی: آسکورات پراکسیداز، پراکسید هیدروژن، پراکسیداسیون لیپیدی، کاتالاز و عملکرد

۱- a.abbasi25@yahoo.com

۱- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران.

۲- arabyani.mahmod@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- m_sedghi@uma.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*نویسنده مسئول: a.abbasi25@yahoo.com

مقدمه

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی می‌باشد که در تغذیه مردم دنیا به‌ویژه کشورهای در حال توسعه از جایگاه خاصی برخوردار است اما یکی از عمده‌ترین مشکلات تاثیرگذار بر عملکرد این گیاه در کشت‌زارهای سراسر دنیا، بروز تنش خشکی می‌باشد (Lobell et al., 2008). کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌گردد. کمبود رطوبت و وقوع تنش خشکی در گیاهان زراعی با کاهش سطح برگ، کاهش تقسیم سلولی، کاهش فعالیت پروتوپلاسمی، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل، سبب تقلیل فتوسنتز می‌گردد (Lamaoui et al., 2018). یکی از اثرات مهم کاهش فتوسنتز، به‌هم‌خوردن تعادل میان تولید و جمع‌آوری گونه‌های اکسیژن فعال و بروز تنش اکسیداتیو می‌باشد (Laxa et al., 2019). انواع اکسیژن فعال از جمله محصولات اجتناب‌ناپذیر فرآیندهای حیاتی سلول نظیر تنفس، فتوسنتز و تنفس نوری می‌باشند (Luis et al., 2006). احیای ناقص اکسیژن اتمسفری در طی انجام فرآیندهای فوق سبب انحراف الکترون از مسیر اصلی و قرارگیری آن بر روی اکسیژن می‌گردد که سبب احیای ناقص اکسیژن و تولید انواع اکسیژن فعال می‌گردد (Mittler., 2002). در این شرایط با قرارگیری الکترون اول بر روی اکسیژن رادیکال پراکسید هیدروژن، با قرارگیری الکترون دوم رادیکال سوپراکسید و با قرارگیری الکترون سوم رادیکال خطرناک هیدروکسیل تولید می‌شود (Mhamdi and Breusegem, 2018). انواع اکسیژن فعال بر خلاف اکسیژن اتمسفری از میل ترکیبی بسیار زیادی جهت واکنش با پروتئین‌ها، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای نوکلئیک سلول برخوردارند و سبب تخریب آن‌ها می‌گردند (Bailey-Serres and Mittler, 2006). سلول‌های گیاهی جهت مقابله با انواع اکسیژن فعال تولید شده در سلول از یکسری مکانیسم‌های دفاعی بهره می‌برند که با جمع‌آوری کامل انواع اکسیژن فعال و احیای آن‌ها به آب از آسیب‌های ذکرشده پیشگیری می‌نمایند. آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، آسکوربات پراکسیداز از جمله مهم‌ترین مکانیسم‌های دفاعی سلول هستند که در کاهش اثرات سو انواع اکسیژن فعال دخالت مستقیم دارند (Kapoor et

al., 2019). در شرایط معمول سیستم دفاعی گیاهان با تولید انواع اکسیژن فعال به‌راحتی مقابله می‌کنند و از اثرات تخریبی آن‌ها پیشگیری می‌کنند. اما در شرایط وقوع تنش خشکی افزایش تولید رادیکال‌های آزاد سبب برهم‌خوردن این تعادل و تخریب سلول‌های گیاهی می‌گردد (Laxa et al., 2019). گزارش‌های متعددی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط وقوع تنش خشکی با کاربرد عناصر غذایی وجود دارد (Abbasi and Enayati, 2013; Abbasi et al., 2017).

عنصر روی جزو تشکیل‌دهنده بیش از ۲۰۰ نوع آنزیم و پروتئین در گیاهان زراعی می‌باشد (Castillo-González et al., 2018). این عنصر به‌صورت مستقیم در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، سنتز اکسین، حفظ غشاهای زیستی و مقاومت به تنش‌های محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کند (Alloway, 2008). از بین کمبود عناصر غذایی کم-مصرف، کمبود عنصر روی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Alloway, 2009). با این که میزان روی کل در خاک می‌تواند تا ۲۰۰ پی‌پی‌ام نیز برسد ولی، در خاک‌های قلیایی که اکثریت خاک‌های ایران را نیز شامل می‌گردد این میزان از ۲۰ پی‌پی‌ام تجاوز نمی‌نماید (Salardini, 2008). در همین راستا، بر اساس اظهارات ملکوتی و همکاران (Malakouti, 2007) بیش از ۴۰ درصد از کشت‌زارهای گندم آبی کشور درگیر کمبود عنصر روی می‌باشند. کمبود این عنصر در دیم‌زارها و شرایط بروز تنش خشکی به‌مراتب پررنگ‌تر از کشت‌زارهای آبی می‌باشد، زیرا وقوع تنش خشکی با کاهش توسعه ریشه، کاهش تعرق، کاهش جابجایی و افت حلالیت عنصر روی به‌صورت مستقیم بر روی مقدار جذب آن تاثیر می‌گذارد. از طرفی با توجه به یافته‌های رنگل و همکاران (Rengel et al., 1998) در شرایطی کمبود عنصر روی غلظت عنصر آهن در گیاه افزایش می‌یابد. حضور عنصر آهن سبب انجام واکنش هابر-ویس می‌شود که در طی آن پراکسید هیدروژن به خطرناک‌ترین نوع اکسیژن فعال یعنی هیدروکسیل تبدیل می‌شود (Kehrer, 2000) که قابلیت آسیب به انواع ماکرومولکول‌های حیاتی را دارد (Sharma et al., 2012).

شده به همراه کاربرد کودهای حاوی عنصر روی در کشتزارهای کشورمان می‌تواند در حل مشکل کمبود عنصر روی تاثیر گذار باشد. همچنین آیا نوع و روش زی‌فزونی در کشتزارهای مادری گندم می‌تواند بر روی استقرار گیاهان زراعی به‌خصوص در شرایط تنش خشکی در کشتزارها تاثیرگذار باشد. در همین راستا در پژوهش کنونی تلاش گردیده تا تغییرات رشدی و سیستم دفاعی گیاهچه‌های گندم بوجودآمده از بذور زی‌فزونی‌شده با مصرف کودهای حاوی عنصر روی در شرایط متفاوت رطوبتی مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور تعیین تغییرات سیستم دفاعی گیاه گندم با کاربرد عنصر روی و بذور زی‌فزونی‌شده با این عنصر در شرایط مختلف رطوبتی در سال ۱۳۹۶ در گلخانه شماره ۲ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده، کشاورزی دانشگاه اردبیل اجرا گردید و کلیه پارامترهای بیوشیمیایی این کار در آزمایشگاه پژوهشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه اندازه‌گیری شد. برای انتخاب خاک مناسب، نخست نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۲۵ سانتی‌متری کشتزارهای مختلف تهیه و بعد از اندازه‌گیری عنصر روی، خاکی که کم‌ترین میزان عنصر روی را داشت انتخاب گردید. غلظت برخی از عناصر غذایی و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری و در جدول شماره ۱ قید گردیده است (Ali-Ehyae and Behbahanzadeh, 1993).

این پژوهش با بهره‌گیری از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در آزمایش حاضر، سه عامل شامل بذور مورد استفاده گندم (بذور گواهی‌شده به‌عنوان بذور شاهد، بذور زی‌فزونی‌شده با کاربرد خاکی سولفات روی، بذور زی‌فزونی‌شده با افشانه‌کردن سولفات روی)، کاربرد عنصر روی (عدم کاربرد عنصر روی، افشانه‌کردن نیم درصد سولفات روی، کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و پیش‌تیمار بذور با محلول دو درصد سولفات روی) و شرایط مختلف رطوبتی خاک (آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت

استقرار یکنواخت و سریع گیاهان زراعی سبب بهره‌گیری بهتر این گیاهان از منابع رشدی نظیر آب، نور خورشید و عناصر غذایی می‌شود (Foti et al., 2002). بر پایه گزارش‌های هریس و همکاران (Harris et al., 2000) مدت زمان بین کاشت تا استقرار گیاهچه، تأثیر چشم‌گیری بر عملکرد مزرعه‌ای گیاهان زراعی دارد. در طول استقرار اولیه گیاهان زراعی، قسمتی از مواد از طریق بذر و قسمتی دیگر از طریق خاک تامین می‌شود. بر همین اساس، تناسب مواد غذایی درون بذر برای توسعه ریشه و استقرار اولیه گیاهان زراعی مهم می‌باشد. گزارش‌های متعددی (Abbasi et al., 2016; Hassan et al., 2019) نشان می‌دهند که در دسترس بودن عنصر روی در زمان جوانه‌زنی مخصوصاً در مناطقی با کمبود این عنصر به‌عنوان کود شروع‌کننده عمل نموده و در استقرار یکنواخت گیاهان تاثیر به‌سزایی دارد. طبق یافته‌های اسریواستاوا و همکاران (Srivastava et al., 2016) جذب حداکثری عنصر روی در گیاهان زراعی در اوایل فصل رشد صورت می‌گیرد و این مقدار به مرور زمان کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش‌های متعددی نشان می‌دهد که با مصرف عنصر روی در مزارع گندم می‌توان بذوری با میزان عنصر روی بالا تولید کرد (Yilmaz et al., 1997). لازم به ذکر است که افزایش میزان عنصر روی دانه با بهره‌گیری از راهبردهای زیست‌شناختی و به‌زراعی تحت عنوان زی‌فزونی^۱ شناخته می‌شود. در همین راستا، این احتمال مطرح می‌گردد که افزایش میزان عنصر روی دانه می‌تواند بر روی جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار اولیه گیاهان زراعی تاثیرگذار باشد. کاندان و همکاران (Candan et al., 2019)، رنجل و گراهام (Rengel and Graham, 1995) و رشید و همکاران (Rashid et al., 2019) اظهار داشتند که افزایش میزان عنصر روی دانه می‌تواند بر روی بهبود رشد گیاهان زراعی مختلف و حتی عملکرد آن‌ها تاثیر گذار باشد.

با توجه به اهمیت مشکل کمبود عنصر روی در اکثر کشتزارهای مادری گندم، زی‌فزونی بذور با عنصر روی انجام می‌گیرد، از طرفی کاربرد کودهای حاوی عنصر روی نیز به‌شدت به کشاورزان توصیه می‌گردد. در این میان این مسئله مطرح می‌گردد که آیا استفاده از بذور زی‌فزونی-

¹Biofortification

زراعی و آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) در سه تکرار

مورد تحقیق قرار گرفت.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده پیش از کاشت

Table 1. Results of physical and chemical analysis of soil before planting

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش Soil Characteristics Measured in the Soil	مقادیر Values	ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک مورد آزمایش Soil Characteristics Measured in the Soil	مقادیر Values
بافت خاک (Soil Textures)	Clay	نیترژن کل (Total Nitrogen)	0.09
اسیدیته گل اشباع (Soil Clay Acidity)	8.22	فسفر قابل جذب (روش اولسون) (P availability)	3.22
قابلیت هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) (Electrical Conductivity)	0.38	پتاسیم قابل جذب (استات آمونیوم) (K availability)	321
کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate equivalent)	10.27	روی قابل جذب (DTPA) (Zn availability)	0.25
کربن آلی (Organic Carbon)	0.21	منگنز قابل جذب (DTPA) (Mn availability)	1.27
رطوبت اشباع (Saturation Moisture)	38	آهن قابل جذب (DTPA) (Fe availability)	2.12

مایع هموزن شد و پس از سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه (Sairam *et al.*, 1998) اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و آیزوزیم‌های آن توسط روش سایروم و همکاران (Sairam *et al.*, 2002) انجام شد و میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر (UV-2100-vis) قرائت شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش ابی (Abi, 1984) انجام و جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آسکوربات پراکسیداز^۶ در طول موج ۲۹۰ نانومتر قرائت شد (Sairam *et al.*, 1998). همچنین به منظور اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز روش آرورا و همکاران (Arora *et al.*, 2002) جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر به دست آمد. میزان مالون‌دی‌آلدئید^۷ بر اساس روش استوارتو بولی (Stewart and Bewley, 1980) و میزان پراکسید هیدروژن با روش مورد اشاره چن و همکاران (Chen *et al.*, 2000) اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل کل طبق معادله آرنون (Arnon, 1949) محاسبه گردید. به این منظور نمونه‌های برگ‌ها به مدت چهار ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در ۴ میلی‌لیتر از دی‌متیل سولفوکسید (DMSO) غوطه‌ور گردید. سپس میزان جذب آن‌ها در طول موج‌های ۶۶۵، ۶۴۹ و ۴۸۰ نانومتر ثبت شد. برای استخراج پرولین نیز از روش بیتز و همکاران (Bates *et al.*, 1973) استفاده گردید. پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع داده‌ها و خطاها بررسی گردید. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد صورت

بذور انتخابی به تعداد ده عدد در ۱۰۸ عدد گلدان با ابعاد ۵۰*۳۰*۳۰ سانتی‌متر به ترتیب طول، عرض کشت شد. تیمار کاربرد خاکی عنصر روی بر اساس جدول ۱ محاسبه و در اختیار گیاهان قرار گرفت. تیمار افشانه کردن عنصر روی در دو مرحله دو و چهار برگی انجام شد. برای اعمال تنش خشکی از دستگاه رطوبت‌سنج استفاده شد. بذور گواهی‌شده گندم بهاره تجن از مرکز تحقیقات کشاورزی مغان تهیه شد و بذور زی‌زونی‌شده با سولفات روی از بذور حاصل از پژوهش محمدی دیزج و شکاری (Mohamadi Dizaj and Shekari, 2016) انتخاب شد. میزان عنصر روی در دانه‌های مورد استفاده، با بهره‌گیری از روش Wet Ashing با استفاده از دستگاه جذب اتمی شیمادزو^۲ انجام شد (Jon and Loon, 1980). سنجش غلظت روی بذور در دو مرحله پیش از کاشت و پس از برداشت اندازه‌گیری شد. بر اساس سنجش قبل از کاشت، میزان غلظت عنصر روی بذور گندم تجن گواهی‌شده ۶/۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم، بذور گندم تجن زی‌زونی‌شده با کاربرد خاکی ۱۲/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم و بذور گندم زی‌زونی‌شده با افشانه کردن عنصر روی ۱۷/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد.

برای اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک از برگ‌های جوان و کاملاً بالغ نمونه برگ‌ها تهیه و بلافاصله در نیترژن مایع غوطه‌ور شدند و برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر به دانشگاه مراغه انتقال یافتند. جهت استخراج آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز^۳، کاتالاز^۴ و گایاکول پراکسیداز^۵، ۰/۵ گرم از نمونه برگ‌ها با استفاده از نیترژن

²SHIMADZU

³Superoxide dismutase (SOD)

⁴Catalase (CAT)

⁵Glutathione reductase (GR)

⁶Ascorbate Peroxidase (APX)

⁷Malondialdehyde (MDA)

گرفت. برای انجام تجزیه‌ی داده‌ها و رسم نمودارها از نرم-افزارهای SPSS17، GenStat 12 و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج پژوهش حاضر آشکار ساخت که شماری از تیمارهای کاربرد سولفات روی و بذور زی‌فزونی‌شده در شرایط مختلف رطوبتی قادر به بهبود برخی از مولفه‌های مورد بررسی نسبت به تیمارهای شاهد بودند. برهم‌کنش سه جانبه مربوط به انواع بذور مورد بررسی، کاربرد عنصر روی و تنش خشکی بر روی ارتفاع ساقه، سطح برگ، کلروفیل، فعالیت آنزیم سوپراکسیددیس‌موتاز، آیزوزیم Cu/Zn-SOD، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسید هیدروژن، مالون‌دی‌آلدئید و پرولین در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بوده است (جداول ۲ و ۳). در همین رابطه برهم‌کنش دو جانبه انواع بذر مورد بررسی و تنش خشکی برای صفات آیزوزیم‌های Fe-SOD، Mn-SOD و گلوتاتیون ردوکتاز در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جداول ۲ و ۳).

ارتفاع ساقه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که برهم‌کنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی ارتفاع ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد

(جدول ۲). بیش‌ترین ارتفاع ساقه با مقدار ۶۴/۰۱ سانتی‌متر مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به روش خاکی و کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد. کم‌ترین مقدار این صفت نیز با مقدار ۳۶/۶۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار استفاده از بذور عدم زی‌فزونی-شده با پیش‌تیمار دو درصد سولفات روی در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (جدول ۴).

در این پژوهش، تیمار بذور زی‌فزونی‌شده به روش خاکی و کاربرد ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (بذور زی‌فزونی‌نشده و عدم کاربرد کود حاوی روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) سبب افزایش ۱۵/۸۱ درصدی ارتفاع گیاه گردید. همچنین، تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به روش خاکی و کوددهی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط تنش خشکی شدید توانست مقدار ارتفاع گیاهان را نسبت به تیمار شاهد قرار گرفته در شرایط تنش خشکی شدید ۱۱/۲۳ درصد بهبود بخشد (جدول ۴). کاکیر (Cakir, 2004) در گیاهان مختلف کاهش ارتفاع گیاهان را گزارش و دلیل آن را کاهش جذب عناصر ریز مغذی و کاهش مقدار فتوسنتز در گیاهان معرفی کرد.

جدول ۲- تجزیه‌ی واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گندم‌های مورد مطالعه تحت تأثیر کاربرد عنصر روی و بذور زی‌فزونی

شده در شرایط متفاوت رطوبتی

Table 2. Analysis of Variance of measured parameters under influence of zinc application and zinc Biofortified seed in different moisture conditions

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)						
		سطح برگ ارتفاع ساقه Plant Height	سطح برگ Leaf Area	کلروفیل Chlorophyll	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیس‌موتاز Superoxide dismutase Activity	فعالیت آیزوزیم Cu/Zn-SOD Isozyme Activity	فعالیت آیزوزیم Mn-SOD Isozyme Activity	فعالیت آیزوزیم Fe-SOD Isozyme Activity
تکرار (Replication)	2	204.29	0.56	0.6345	4.7	0.051	0.24	5.52
انواع بذر (Seed Types)	2	88.43**	23.45**	25.54**	92.5**	2.87**	1.09**	56.81**
تنش (Drought Stress)	2	1590.6**	142.85**	139.94**	0.68**	5.86**	1.89**	3.22**
پیش‌تیمار (Priming)	3	133.54**	7.17**	9.55**	1.8**	1.21**	0.018 ^{ns}	0.04 ^{ns}
انواع بذر*تنش (S*D)	4	14.8 ^{ns}	6.14**	4.17**	0.76**	0.53**	0.047**	0.444**
انواع بذر*پیش‌تیمار (S*P)	6	106.15**	8.59**	5.68**	0.48**	0.28**	0.014 ^{ns}	0.058 ^{ns}
تنش*پیش‌تیمار (D*P)	6	40.4**	8.094**	8.6**	0.93**	0.97**	0.009 ^{ns}	0.015 ^{ns}
انواع بذر*تنش*پیش‌تیمار (S*D*P)	12	43.59**	6.93**	5.8**	0.14**	0.14**	0.006 ^{ns}	0.019 ^{ns}
اشتباه Error	70	11.08	0.126	0.146	0.038	0.003	0.007	0.021
ضریب تغییرات (درصد) (CV)		6.4	3.9	4.3	3.2	3.6	3	5.5

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- تجزیه‌ی واریانس صفات اندازه‌گیری شده در گندم‌های مورد مطالعه تحت تأثیر کاربرد عنصر روی و بذور زی‌فرونی شده در شرایط متفاوت رطوبتی

Table 3. Analysis of Variance of measured parameters under influence of zinc application and zinc Biofortified seed in different moisture conditions

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)						غلظت عنصر روی Zinc Concentration
		فعالیت آنزیم آسکوربات Ascorbate Peroxidase Activity	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase Enzyme Activity	فعالیت آنزیم گلوتاتیون ردوکتاز Glutathione reductase Activity	میزان پراکسید هیدروژن Hydrogen Peroxide content C	میزان مالون دی آلدئید Malondialdehyde Content	میزان پرولین Proline Content	
تکرار (Replication)	2	0.301	0.0807	0.177	0.22	15.98	4.48	0.00002
انواع بذر (Seed Types)	2	8.344**	8.764**	0.099**	18.47**	262.73**	108.76**	0.0027**
تنش (Drought Stress)	2	1.688**	5.07**	0.319 ns	31.7**	3203.72**	1323.71**	0.00022**
پیش تیمار (Priming)	3	0.177**	0.19**	0.018*	0.62**	97.95**	20.2**	0.0004**
انواع بذر*تنش (S*D)	4	0.13**	0.34**	0.125*	2.97**	99.48**	39.72**	0.00005 ns
انواع بذر*پیش تیمار (S*P)	6	0.244**	0.034**	0.105 ns	0.172**	3.06 ns	9.46**	0.00016 ns
تنش*پیش تیمار (D*P)	6	0.17**	0.038**	0.026 ns	0.122**	36.82**	7.46**	0.0003 ns
انواع بذر*تنش*پیش تیمار (S*D*P)	12	0.105**	0.07**	0.049 ns	0.026**	8.84**	7.46**	0.000029*
اشتباه Error	70	0.017	0.005	0.031	0.008	1.43	0.86	0.000019
ضریب تغییرات درصد (CV)		9.2	7.5	14.2	4	3.6	3.9	16.2

ns, *, ** و ***: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

گیاهچه‌های گندم سبب تولید گیاهچه‌های قوی‌تر و سالم‌تر شد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش کاندان و همکاران (Candan *et al.*, 2019) و رشید و همکاران (Rashid *et al.*, 2019) همراستا با این پژوهش می‌باشند. آن‌ها ادعان داشتند که با بکارگیری بذور دارای عنصر روی بالا در شرایط تنش خشکی می‌توان رشد و نمو گیاهان زراعی مختلف را تقویت کرد.

سطح برگ

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که در رابطه با سطح برگ گیاهچه‌ها گندم، برهمکنش سه جانبه فاکتورهای مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیش‌ترین میزان سطح برگ به صورت مشترک با مقادیر ۱۴/۱۹ و ۱۴/۱ سانتی‌متر مربع مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فرونی‌شده به روش خاکی و کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و تیمار بذور زی‌فرونی‌شده به روش خاکی و افشانه‌کردن نیم درصد سولفات روی در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد. کم‌ترین میزان ثبت‌شده سطح برگ نیز با مقدار ۵/۵ سانتی‌متر مربع مربوط به تیمار کاربرد بذور عدم

ایمیتاز و همکاران (Imtiaz *et al.*, 2003) کاهش ارتفاع گیاهان را در اثر کمبود عنصر روی گزارش و دلیل آن را کاهش فاصله میان‌گره‌ها دانستند. چاکماک و همکاران (Cakmak *et al.*, 2010) علت کاهش ارتفاع گیاهان را در شرایط کمبود عنصر روی تأثیر مستقیم این عنصر در سنتز اسیدایندول‌اسیتیک بیان کردند. از طرفی، براون و همکاران (Khan *et al.*, 2008) فراهمی عنصر روی در گندم را علاوه بر ارتفاع گیاه عامل اصلی افزایش شمار پنجه و سرعت پنجه‌زنی معرفی کردند. اسد و همکاران (Asad *et al.*, 2000) و خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌های گندم را به ترتیب در اثر کاربرد عناصر کم‌مصرف به طریق افشانه‌کردن برگی و خاکی گزارش نمودند. فلینتام و همکاران (Flintham *et al.*, 1997) نشان دادند که با فراهمی عنصر روی برای بذور کشت‌شده، ارتفاع گندم می‌تواند از ۷۶/۹۳ تا ۸۵/۱۳ افزایش می‌یابد. با توجه به کمبود عنصر روی در خاک مورد انتخابی، فراهمی عنصر روی از طریق بذور زی‌فرونی‌شده یا کوددهی سولفات روی سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن گردید. از طرفی فراهمی این عنصر با تامین نیازهای متابولیسمی

شرایط آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴).
زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی و مصرف ۲۵ کیلوگرم در
هکتار سولفات روی در شرایط تنش خشکی شدید می‌توان
۹/۲۷ درصد سطح برگ بیش‌تری نسبت به شرایط عدم
استفاده از کود حاوی روی و بذور شاهد در همان شرایط
(تنش خشکی شدید) به‌دست آورد (جدول ۴).

زی‌فزونی‌شده و پیش‌تیمار دو درصد سولفات روی در
در این پژوهش، استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به روش
خاکی و اضافه نمودن ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی
در شرایط آبیاری نرمال نسبت به تیمار شاهد در شرایط
تنش خشکی شدید سبب افزایش ۳۴/۵۳ درصدی ارتفاع
بوته گردید. همچنین بر اساس مقایسه‌های میانگین
صورت گرفته می‌توان اذعان داشت که با استفاده از بذور

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد آزمایش تحت تأثیر کاربرد عنصر روی و بذور زی‌فزونی شده‌ی گندم

در شرایط وقوع تنش خشکی

Table 4. Comparison of mean traits under study as affected by zinc application and wheat Biofortified Seed under drought stress conditions

انواع بذر Seed Types	تنش خشکی Drought Stress	پیش‌تیمار Priming	ارتفاع ساقه (سانتی متر) Plant Height (Cm)	سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf Area (Cm ²)	کلروفیل (میلی مول بر گرم وزن تر) Chlorophyll Mmol/gfw ⁻¹	فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین) Superoxide dismutase activity (U/mgProtein)	فعالیت آنزیم Cu/Zn-SOD (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین) Isozyme Activity (U/mgProtein)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین) Ascorbate Peroxidase Activity (U/mgProtein)	فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین) Catalase Enzyme Activit (U/mgProtein)
بذر عدم زی‌فزونی شده Non-Biofortified Seed	آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	53.89 bcdefgh	9.295 ghij	8.758 ghij	8.59 o	1.154 mno	0.443 o	0.0127o
		افشانه کردن	60.98 ab	10.067	9.737 efg	9.09 no	1.609 fgh	0.474 o	0.0419o
		کاربرد خاکی	61.32 ab	12.413 b	12.853 ab	9.7 lm	2.152 c	0.68 no	0.0727no
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	55.96 abcdef	10.235	9.931 efg	9.47 mn	1.84 de	0.872mno	0.0933no
		افشانه کردن	52.21bcdefghij	8.625 ij	8.422 hijk	9.16 no	1.108 no	0.815 no	0.1153no
		کاربرد خاکی	53.33abcdefghi	8.523 j	8.759 ghij	9.48 mn	1.429 hijk	0.934 lm	0.2589mno
	آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	54.09 abcdefgh	8.323 jk	8.423 hijk	10.22 l	1.901 d	1.06 jklmn	0.3267mn
		افشانه کردن	42.37 ijk	5.502 o	5.401 o	9.69 lm	1.287 klmn	1.275 hijklm	0.3754m
		کاربرد خاکی	41.24 jk	5.872 no	5.973 mno	9.57 lm	0.809 pq	1.013 klmn	0.849k
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	47.22 defghijk	6.275 mno	6.209 mno	10 lm	0.976 op	1.078 ijklmn	0.9575jk
		افشانه کردن	46.34 fghijk	6.107 mno	6.073 mno	9.88 lm	0.79 pq	1.003 klmn	0.9798ijk
		کاربرد خاکی	36.65 k	5.805 no	5.637 no	10.01 lm	0.641 q	1.075 ijklmn	0.9666jk
بذر زی‌فزونی شده با کاربرد خاکی روی Biofortified Seed by application of zinc fertilizer	آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	56.18 abcdef	9.765 fghi	9.597 efg	11.67 jk	1.603 fgh	1.717 bcdefgh	0.8817k
		افشانه کردن	62.43 ab	11.407 bcd	11.98 bc	12.63 bcdefg	2.222 c	1.517 cdefghi	0.9848hijk
		کاربرد خاکی	64.01 a	14.193 a	14.159 a	13.38 a	3.21 a	1.618 cdefgh	0.9958hijk
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	55.74 abcdef	10.201	10.402 def	13.1 ab	2.856 b	1.539 cdefgh	1.2361gh
		افشانه کردن	56.59 abcdef	10.873	10.436 def	11.97 ghijk	1.352 jkl	1.484 defghij	1.1714ghij
		کاربرد خاکی	61.48 ab	14.1 a	12.653 bc	12.16 efg	1.478 ghij	1.706 bcdefgh	1.2668fg
	آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	54.22 abcdefg	9.059 ghij	9.16 fghi	12.43 cdefgh	1.875 de	1.948 bc	1.3679defg
		افشانه کردن	46.86 defghijk	8.086 jkl	8.389 hijk	12.34 defghi	1.623 fg	1.899 bcde	1.6313abc
		کاربرد خاکی	47.88 cdefghij	8.389 jk	8.691 ghij	12.26 defghij	1.277 klmn	1.703 bcdefgh	1.4975bcdef
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	47.3 defghijk	6.679 mno	6.645lmno	12.78 abcd	1.711 ef	2.112 b	1.6931ab
		افشانه کردن	46.46 efg	6.476 mno	6.813 lm	12.52bcdefgh	1.366 jkl	2.842 a	1.6677ab
		کاربرد خاکی	44.05 ghijk	6.073 mno	6.174lmno	12.74 abcde	1.573 fghi	1.673 bcdefgh	1.5535bcde
بذر زی‌فزونی شده با اسپری کردن Biofortified Seed by application of zinc Spray	آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	52.86	8.825 ij	8.657 ghij	11.51 k	1.254 klmn	1.321 hijklm	0.5081lm
		افشانه کردن	58.89 abc	11.309 bcd	11.477 cd	11.7 ijk	1.389 ijk	1.363 ghijkl	0.7554kl
		کاربرد خاکی	61.52 ab	11.509 bc	11.375 cd	13.03 abc	2.678 b	1.38 fghijkl	0.7571kl
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	58.21 abcd	10.939	10.537 de	11.89 hijk	1.616 fgh	1.37 ghijkl	0.8523k
		افشانه کردن	52.02 bcdefghi	8.625 ij	8.993 ghi	12.66 bedef	1.829 de	1.699 bcdefgh	1.2228ghi
		کاربرد خاکی	42.16 ijk	7.181 klm	7.483 jkl	11.99 ghijk	1.118 no	1.921 bcd	1.8436a
	آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی	عدم تیمار	55.8 abcdef	11.141 cde	11.541 cd	12.1 efg	1.135 no	1.597 cdefgh	1.3252efg
		افشانه کردن	57.78 abcde	11.241 cde	11.443 cd	12.04 fghijk	1.152 mno	1.814 bcdefg	1.2261ghi
		کاربرد خاکی	42.7 hijk	6.879 lmn	7.146 klm	12.5 bcdefgh	1.335 jklm	1.802 bcdefg	1.5124bcdef
	پیش‌تیمار ۲ درصد	عدم تیمار	49.47 cdefghij	8.422 j	8.187 ijk	12.35 defghi	1.247 klmn	1.832 bcdef	1.3793cdefg
		افشانه کردن	43.78 ghijk	6.778 mn	6.811 lm	12.21 defghij	1.193 lmn	1.655 cdefgh	1.584bcd
		کاربرد خاکی	49.56 cdefghij	8.926 hij	8.153 ijk	12.02 fghijk	1.145 no	1.45 efg	1.5444bcde

سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسات میانگین این صفت نشان داد که بیش‌ترین میزان آن با مقدار ۱۴/۱۵ میلی‌مول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به روش خاکی و کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی و کم‌ترین میزان آن نیز با مقدار ۵/۴ میلی‌مول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار بذور عدم زی‌فزونی‌شده و پیش‌تیمار دو درصد سولفات روی در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی می‌باشد (جدول ۴). کاهش سنتز و تخریب کلروفیل برگ از جمله تاثیرات مستقیمی می‌باشد که در شرایط کمبود رطوبت در گیاهان اتفاق می‌افتد (Fahad *et al.*, 2017). یکی از محل‌های تولید انواع اکسیژن فعال در شرایط بروز تنش خشکی و بسته‌شدن روزنه‌ها کلروپلاست می‌باشد. تشدید میزان خسارت وارده به کلروفیل، کارتنوئید و پروتئین‌های موجود در کلروپلاست در اثر اکسیداسیون آن‌ها توسط انواع اکسیژن فعال دور از انتظار نیست (Foyer, 2018). عنصر روی با تاثیر بر تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی عناصر (Kaur *et al.*, 2009) و تاثیر در جذب و انتقال سایر عناصر همچون آهن و منیزیم می‌تواند به‌صورت غیر مستقیم بر روی افزایش محتوای رنگدانه‌های برگ تاثیرگذار باشد (Kaya *et al.*, 2002). عنصر روی از طریق اتصال به گروه سولفیدریل باعث سنتز کلروفیل می‌گردد. از طرفی پورفوبیلینوژن پیش‌ماده کلروفیل می‌باشد که بدون دو عنصر منیزیم و روی سنتز نمی‌شود (Samreen *et al.*, 2017). کاهش سنتز و تخریب کلروفیل برگ از واکنش‌هایی است که در شرایط کمبود عنصر روی تسریع می‌گردد (Roosta *et al.*, 2018). حافظ و همکاران (Hafeez *et al.*, 2013) در آزمایشی به این نتیجه رسیدند که افشانه‌کردن عنصر روی می‌تواند موجب افزایش کلروفیل در گیاهان مختلف گردد که این امر می‌تواند به‌علت نقش این عنصر در متابولیسم نیتروژن و ساخت کلروفیل باشد. در این میان از نقش عنصر روی در حفظ و نگهداری ساختار کلروفیل برگ‌ها در اثر نقش آنتی‌اکسیدانت این عنصر نمی‌توان غافل شد.

فعالیت آنزیم سوپر اکسیددیسموتاز و آیزوزیم‌های آن

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برهمکنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار

کاهش مقدار رشد در شرایط تنش خشکی می‌تواند ناشی از کاهش توسعه سلول باشد. کاهش توسعه سلولی در شرایط تنش خشکی به‌علت کاهش فشار تورژسانس، کاهش تقسیم سلولی و بسته‌شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز می‌باشد. با کاهش رشد سلول اندازه اندام‌ها محدود می‌گردد از این رو می‌توان اولین اثر محسوس کم آبی را در گیاهان به‌صورت کوچک‌شدن اندام‌ها به‌خصوص برگ‌های آن‌ها مشاهده کرد. پاتانگوت و مادوره (Pattanagul and Madore, 1999) کاهش ارتفاع گیاه و کاهش سطح برگ را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. عنصر روی با تاثیرگذاری مستقیم بر روی افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی و تاثیر مستقیم بر روی سنتز اکسین می‌تواند تا تاثیرات منفی بروز تنش خشکی را تعدیل بخشد. در همین رابطه خان و همکاران (Khan *et al.*, 2008) اظهار داشتند که کاربرد سولفات روی در اوایل مرحله رشدی گندم موجب افزایش مقدار هورمون ایندول استیک اسید و افزایش شاخص سطح برگ گردید. لازم به ذکر است که در پژوهش‌های قدیمی‌تر از بین عناصر کم‌مصرف، عنصر روی بیش‌ترین ارتباط را با شاخص سطح برگ دارد (Khan *et al.*, 1999). بر اساس گزارش عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2016) افزایش میزان عنصر روی دانه نقش به‌سزایی در افزایش فعالیت آنزیم آلفا‌امیلاز و به تبع آن تسریع جوانه‌زنی و استقرار یکسان بوته‌های به‌وجودآمده از این بذرها دارد. آن‌ها اذعان داشتند که نتیجه افزایش سرعت جوانه‌زنی و سرعت سبزشدن سبب بالارفتن میزان سطح برگ گردید. افزایش شاخص سطح برگ سبب بهره‌گیری بهتر گیاهان از منابع رشدی نظیر نور خورشید می‌گردد که نتیجه آن را می‌توان در افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بالارفتن عملکرد برداشتی مشاهده کرد. وراذواج و همکاران (Weraduwegeet *al.*, 2015) طی پژوهشی اعلام کردند که بین فتوسنتز ظاهری هر بوته با سطح برگ آن ارتباط معنی‌داری وجود دارد. افزایش سطح برگ گیاهان مختلف با کاربرد بذور غنی شده با عنصر روی توسط رشید و همکاران (Rashid *et al.*, 2019) نیز گزارش شده است.

مقدار کلروفیل

بررسی تاثیر کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده، کاربرد سولفات روی و سطح رطوبتی مختلف بر مقدار کلروفیل در

شد (جدول ۲). بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز با مقدار ۱۳/۳۸ واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی شده به روش خاکی و پیش تیمار دو درصد سولفات روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می باشد. کمترین مقدار فعالیت این آنزیم نیز با مقدار ۸/۵۹ واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین مربوط به تیمار کاربرد بذور عدم زی‌فزونی شده در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). در این پژوهش مشخص گردید که با کاربرد بذور زی‌فزونی شده با عنصر روی به روش خاکی و کاربرد همزمان ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در هکتار می توان میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز را ۳۵/۷۹ درصد نسبت به تیمار کاربرد بذور شاهد و عدم کاربرد کودهای حاوی روی در همان شرایط رطوبتی افزایش داد (جدول ۴). شاید دلیل این افزایش بیش از ۳۵ درصدی حضور مستقیم عنصر روی در ساختمان آیزوزیم های این آنزیم باشد. آنزیم سوپراکسیددیسموتاز یکی از آنزیم های کلیدی سیستم دفاعی گیاهان زراعی جهت مقابله با اکسیداسیون ماکرومولکول های سلولی می باشد. با فعالیت این آنزیم رادیکال سوپراکسید به پراکسید هیدروژن تبدیل می گردد (Alscher et al., 2002). در اثر کاهش فعالیت این آنزیم، میزان رادیکال سوپر اکسید در سلول های گیاهی به شدت افزایش می یابد. رادیکال سوپراکسید با توان اکسیداسیون بالا به راحتی می تواند سبب تخریب ساختمان اسیدهای آمینه تریپتوفان، هیستیدین و متیونین شده و باعث از بین رفتن بیومولکول های حیاتی و بروز اختلالات متابولیسمی شود (Alscher et al., 2002). قابل ذکر است هرکدام از اسیدهای آمینه فوق به نوبه خود نقش حیاتی در سلول ایفا می کنند (Rai, 2002). با تجمع رادیکال سوپراکسید در سلول های گیاهی این رادیکال به راحتی و در حضور عناصر چند ظرفیتی می تواند به رادیکال هیدروکسیل تبدیل گردد. از طرفی مقادیر بالای سوپراکسید سبب توقف فعالیت برخی از آنزیم های آنتی-اکسیدانت نیز می شود. بنا به گزارش هرناندز و همکاران (Hernandez et al., 2001) فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در ارقام مقاوم به تنش خشکی بیش تر از ارقام حساس به خشکی می باشد. آیزوزیم ها به آنزیم های یکسان اطلاق می گردند که در ترکیب اسیدهای

آمینو و محل فعالیت با هم تفاوت دارند، اما واکنش یکسان شیمیایی را انجام می دهند. در میان آیزوزیم های آنزیم سوپراکسیددیسموتاز، عنصر روی به صورت مستقیم در ساختمان آیزوزیم Cu/Zn-SOD حضور دارد. این آیزوزیم در سیتوسول و غشای تیلاکوئیدی واکنش تبدیل رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن انجام می دهد (Blokhina and Fagerstedt, 2010). در شرایط تنش رطوبتی و به دلیل بسته شدن روزنه های گیاهان زراعی در حضور نور خورشید، تولید رادیکال سوپراکسید به شدت در غشای تیلاکوئیدی افزایش می یابد. آیزوزیم Cu/Zn-SOD با حضور در این ناحیه سبب تبدیل سوپراکسید و آغاز چرخه مهلر می گردد. لیو همکاران (Li et al., 2017) با کاهش این آیزوزیم در شرایط تنش خشکی افزایش تنش اکسیداتیو و از بین رفتن سریع تر گیاهان را گزارش کردند. در پژوهش حاضر، بیشترین میزان فعالیت آیزوزیم Cu/Zn-SOD با مقدار ۳/۲۱ واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی شده به روش خاکی با پیش تیمار دو درصد سولفات روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی می باشد. کمترین مقدار فعالیت این آیزوزیم نیز با مقدار ۰/۶۴ واحد آنزیمی بر میلی گرم پروتئین مربوط به تیمار کاربرد بذور عدم زی‌فزونی شده در همان شرایط می باشد (جدول ۴). آیزوزیم Mn-SOD و آیزوزیم Fe-SOD به ترتیب در میتوکندری، پراکسیزوم و استرومای کلروپلاست فعالیت می کنند (Lomonte et al., 2010). بر اساس نتایج برگرفته از این پژوهش برهمکنش دو جانبه مربوط به انواع بذر مورد استفاده و مقادیر آبیاری برای هر دو آیزوزیم معنی دار شدند، در مورد هر دو آیزوزیم بیشترین فعالیت مربوط به تیمار کاربرد بذور زی‌فزونی شده به روش خاکی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس داده ها این آزمایش نشان داد که برهمکنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با مقدار ۲/۸۴ واحد آنزیمی بر میلی-گرم پروتئین مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی-شده به روش خاکی با کوددهی ۲۵ کیلوگرم در هکتار در

مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش افشانه‌کردن و کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم سولفات روی در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کم-ترین مقدار فعالیت این آنزیم نیز با مقدار ۰/۰۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به تیمار کاربرد بذور زی‌فزونی‌نشده و عدم کاربرد کودهای حاوی عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). کاربرد همزمان بذور زی‌فزونی‌شده با عنصر روی به‌صورت خاکی و کوددهی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط عدم تنش خشکی و تنش ملایم توانست میزان فعالیت این آنزیم را به‌ترتیب ۹۷/۹۱ و ۵۰/۲۹ درصد نسبت به تیمار شاهد در همین شرایط بهبود بخشید. آنزیم کاتالاز از مهم‌ترین مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانت به-خصوص در شرایط تنش خشکی می‌باشد. آنزیم کاتالاز از گروه آنزیم‌های اکسیدردوکتاز و از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود که عمدتاً در پراکسی‌زوم سلول‌های گیاهی یافت شده و واکنش تبدیل پراکسید هیدروژن به آب را انجام می‌دهد. از آنجایی که میزان جذب عنصر آهن به‌واسطه حضور عنصر روی افزایش می‌یابد. انتظار بر این است که با فراهمی عنصر روی میزان فعالیت این آنزیم افزایش یابد. ران و همکاران (Ren et al., 2006) افزایش میزان فعالیت این آنزیم را با محدودشدن رطوبت در دسترس گزارش نمودند که منطبق بر نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌باشد. همچنین افزایش میزان فعالیت این آنزیم با کاربرد کودهای حاوی عنصر روی به‌خصوص در شرایط بروز تنش‌های محیطی نیز توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2016) گزارش گردیده است که منطبق بر این پژوهش می‌باشد.

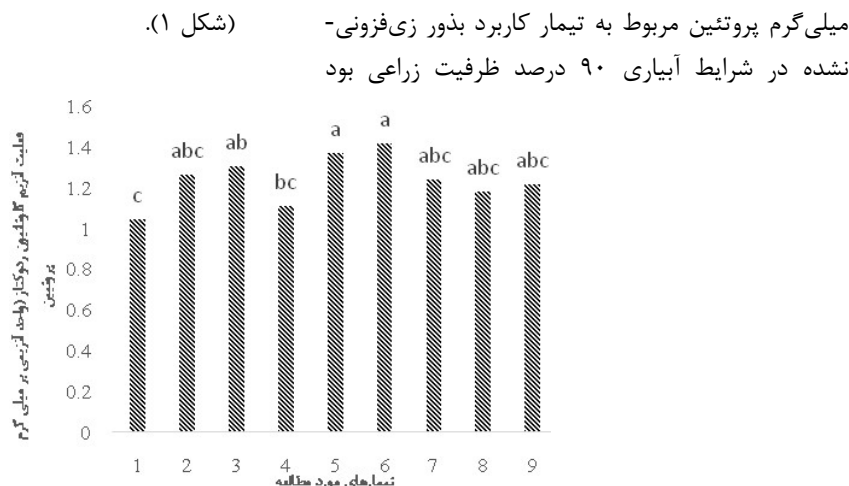
فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز

نتایج تجزیه واریانس حاصل از کاربرد صفات مورد بررسی نشان داد که برهمکنش دوجانبه کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده و تنش خشکی بر روی فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم با مقدار ۱/۴۲ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. کم‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم نیز با مقدار ۱/۲۳ واحد آنزیمی بر

شرایط تنش خشکی شدید بود. کم‌ترین مقدار فعالیت این آنزیم نیز با مقدار ۰/۴۴ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین مربوط به تیمار کاربرد بذور عدم زی‌فزونی‌شده و عدم کاربرد کودهای حاوی عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). کوددهی سولفات روی به‌تنهایی توانست فعالیت این آنزیم را نسبت به تیمار شاهد به‌میزان ۷۴/۲۶ درصد بهبود بخشد. کاربرد همزمان بذور زی‌فزونی‌شده با عنصر روی به‌صورت خاکی و کوددهی ۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در شرایط تنش خشکی شدید توانست میزان فعالیت این آنزیم را ۶۴/۴۳ درصد نسبت به تیمار شاهد در همین شرایط بهبود بخشد (جدول ۴). آنزیم آسکوربات پراکسیداز از مهم‌ترین آنزیم‌های دفاعی است که نقش بسیار مهمی در جمع‌آوری و احیای کامل پراکسید هیدروژن دارد. با فعالیت این آنزیم پراکسید هیدروژن به آب تبدیل می‌شود (Ozyigit et al., 2016). آنزیم آسکوربات پراکسیداز در اکثر اندامک‌های سلول نظیر کلروپلاست، میتوکندری، پراکسی‌زوم و سیتوسول فعالیت می‌کند (Lomonte et al., 2010). طبق گزارشات کاورزان و همکاران (Caverzan et al., 2012) کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز سبب افزایش میزان خسارت انواع اکسیژن فعال در گیاهان زراعی می‌گردد. شواهد مختلفی نشان می‌دهند که آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط بروز تنش خشکی و بروز تنش اکسیداتیو نسبت به آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ناپایدارتر می‌باشد (Chagas et al., 2008). به‌همین دلیل تغییرات میزان فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی نیز به دفعات مکرر توسط پژوهشگران متعددی گزارش گردیده است. افزایش فعالیت این آنزیم با کاربرد عنصر روی توسط لی و همکاران (Li et al., 2013a) نیز گزارش شده است. افزایش تغییرات فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی با فراهمی عنصر روی نیز توسط ما و همکاران (Ma et al., 2006) گزارش گردیده است.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که برهمکنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با مقدار ۱/۸۳ واحد آنزیمی بر میلی‌گرم پروتئین



شکل ۱- تغییرات میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز با کاربرد بذور زی فزونی شده‌ی گندم در شرایط تنش خشکی
Figure 1. Changes in Guaiacol Peroxidase Activity using enriched wheat seeds under drought stress conditions

- ۱: بذور زی فزونی نشده در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۲: بذور زی فزونی نشده در شرایط آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۳: بذور زی فزونی نشده در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۴: بذور زی فزونی شده به روش خاکی در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۵: بذور زی فزونی شده به روش خاکی در شرایط آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۶: بذور زی فزونی شده به روش خاکی در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۷: بذور زی فزونی شده به روش افشانه در شرایط آبیاری در ۹۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۸: بذور زی فزونی شده به روش افشانه در شرایط آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی
- ۹: بذور زی فزونی شده به روش افشانه در شرایط آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که برهمکنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی میزان پراکسید هیدروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان تجمع این ماده با مقدار ۴/۵۱ میلی مول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار استفاده از بذور زی فزونی نشده و عدم کاربرد کودهای حاوی عنصر روی در شرایط آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود. کمترین مقدار تجمع پراکسید هیدروژن با مقدار ۱/۰۶ میلی مول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار کاربرد بذور زی فزونی شده به روش خاکی و افشانه کردن نیم درصد عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد (شکل ۲). پراکسید هیدروژن یکی از سمی‌ترین فرم‌های احیای ناقص اکسیژن می‌باشد که توان اکسیده نمودن گروه‌های تیول و وارد نمودن صدمه به تعداد زیادی از ماکرومولکول‌ها را دارد. از طرفی تجمع بالای این ماده در سلول سبب از کار افتادن فعالیت برخی از آنزیم‌های چرخه کالوین نظیر ریبولوز ۵-فسفات کیناز و بی فسفاتازها می‌شود. به علاوه آیزوزیم‌های Mn-SOD و

برای جلوگیری از اثرات منفی تولید انواع اکسیژن فعال مکانیسم‌های متعددی در گیاه ایفای نقش می‌کنند. چرخه مهلر، چرخه گزانتوفیل، تنفس نوری، چرخه آسکوربات-گلوکاتایون از جمله مهم‌ترین مکانیسم‌های موجود در گیاهان زراعی می‌باشند. آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز یکی از آنزیم‌های مهم می‌باشد که مسئول تبدیل گلوکاتایون اکسید شده به گلوکاتایون احیاء شده می‌باشد (Yousuf *et al.*, 2012). گلوکاتایون در چرخه‌های مهلر، گزانتوفیل و آسکوربات گلوکاتایون نقش مهمی در جمع‌آوری پراکسید هیدروژن و حفظ گلوکاتایون احیا بازی می‌کند. افزایش میزان فعالیت این آنزیم در شرایط تنش ملایم و کاهش فعالیت آن در شرایط تنش خشکی شدید توسط سایروم و همکاران (Sairam *et al.*, 2002) گزارش شده است اما هیچ گزارشی مبنی بر تغییر میزان فعالیت این آنزیم در شرایط کاربرد بذور زی فزونی شده وجود ندارد.

میزان پراکسید هیدروژن

که در حضور انواع اکسیژن فعال سرعت بیش‌تری پیدا می‌کند، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است که باعث تولید آلدئیدهایی مانند مالون‌دی‌آلدئید و محصولات مثل اتیلن می‌شود. آیالا و همکاران (Ayala *et al.*, 2014) افزایش میزان این ترکیب را نشان‌دهنده اکسیدشدن اسیدهای چرب غشا و پراکسیده‌شدن لیپیدها می‌دانند. افزایش پراکسیداسیون لیپیدی توسط پژوهشگران متعددی در شرایط تنش خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است. بسیاری از پژوهشگران معتقداند که افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش اکسیداتیو می‌شود، زیرا با بالارفتن فعالیت این آنزیم‌ها میزان انواع اکسیژن موجود در سلول‌های گیاهی کنترل‌شده و از شدت صدمات به بیومولکول‌های حیاتی و اختلالات متابولیسمی فوق‌الذکر کاسته می‌شود (El-Beltagi and Mohamed, 2013). لی و همکاران (Li *et al.*, 2013b) کاهش شدید تخریب سلول‌های اندام هوایی و ریشه‌های گندم را با کاربرد عنصر روی گزارش کردند و خاطر نشان شدند که این کاهش به دلیل نقش مستقیم عنصر روی در سیستم دفاعی گیاهان زراعی می‌باشد.

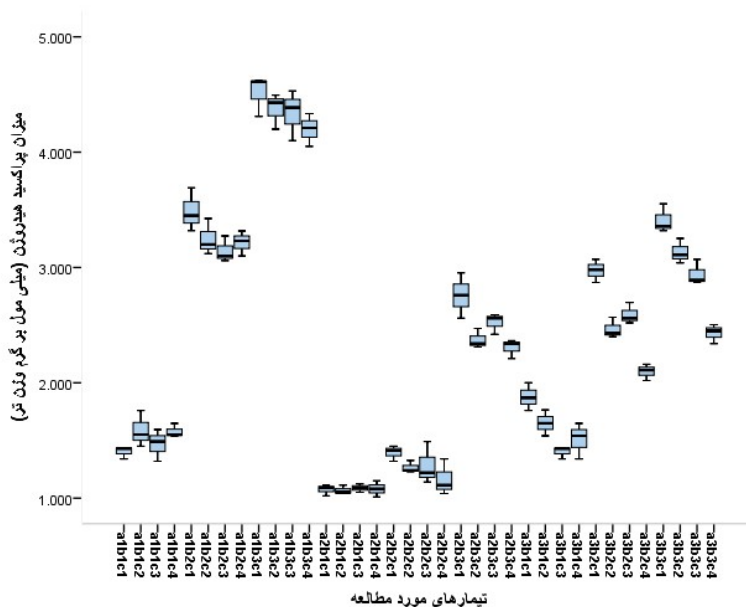
میزان پرولین

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که برهمکنش سه جانبه صفات مورد بررسی بر روی میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان تجمع این ماده با مقدار ۴۲/۸ میلی‌گرم در لیتر مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی و مصرف ۲۵ کیلوگرم کود سولفات روی در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. کم‌ترین مقدار تجمع پراکسید هیدروژن نیز با مقدار ۲۴/۱ مربوط به تیمار کاربرد بذور زی‌فزونی به‌روش خاکی و کاربرد خاکی عنصر روی در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۴). محتوای آب نسبی جذب آب به‌وسیله بافت‌ها و سلول‌ها را نشان می‌دهد. سعید و همکاران (Saeid *et al.*, 2010) اظهار داشتند محتوای آب نسبی منعکس‌کننده فعالیت متابولیک در بافت‌های گیاه بوده و به‌عنوان شاخصی مناسب به‌منظور شناسایی گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌باشد. گیاهان متحمل به خشکی با روش‌های مختلف آب بیش‌تری را می‌توانند جذب کنند.

Cu/Zn-SOD به مقادیر بالای این ماده حساس بوده و فعالیت خود را از دست می‌دهند. طی پژوهش حاضر با توجه به کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در تیمارهایی با بذور زی‌فزونی‌نشده و عدم کاربرد عنصر روی، شاهد تجمع معنی‌دار پراکسید هیدروژن هستیم. با توجه به جدول ۴ می‌توان دریافت کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده و کوددهی توام سولفات روی سبب افزایش فعالیت میزان آنزیم‌های اندازه‌گیری‌شده و نهایتاً کاهش معنی‌دار میزان تجمع پراکسید هیدروژن گردید. طبق گزارشات سایرام و همکاران (Sairam *et al.*, 2002) تیمار تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار میزان پراکسید هیدروژن داخل سلول می‌گردد. کاهش مقدار پراکسید هیدروژن با کاربرد فرم‌های مختلف عنصر روی توسط مائو و همکاران (Mao *et al.*, 2013) گزارش شده است. سایرام و همکاران (Sairam *et al.*, 2002) در رابطه با تجمع پراکسید هیدروژن اظهار داشتند که این تجمع سبب افزایش میزان پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش شاخص پایداری غشا در سلول‌های برگ‌گی گندم می‌شود.

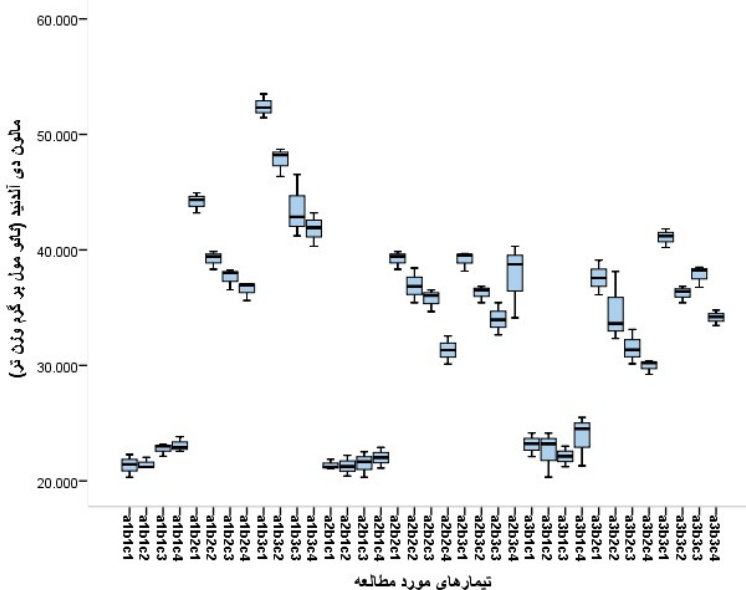
میزان مالون‌دی‌آلدئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان تجمع مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که برهمکنش سه جانبه فاکتورهای مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان تجمع این ماده با مقدار ۵۲/۴۲ نانو مول بر گرم وزن تر مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌نشده و عدم کاربرد کودهای حاوی عنصر روی در شرایط آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود. کم‌ترین مقدار تجمع پراکسید هیدروژن نیز مربوط به تیمارهای کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده و استفاده از عنصر روی به‌صورت کود در شرایط آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳). تنش رطوبتی و افزایش تولید انواع اکسیژن فعال سبب بروز تنش اکسیداتیو می‌گردد. انواع اکسیژن فعال باعث آسیب سلولی و پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای سلولی می‌گردد. مالون-دی‌آلدئید محصول نهایی این آسیب‌ها می‌باشد. مالون‌دی‌آلدئید بیومارکری با ترکیبی آلدئیدی، فعال و بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد. البلتاکی و محمد (El-Beltagi and Mohamed, 2013) بیان داشتند که یکی از واکنش‌هایی



شکل ۲- تغییرات میزان پراکسید هیدروژن با کاربرد بذور زی فزونی شده گندم و پیش تیمار سولفات روی در شرایط تنش خشکی

Figure 2. Changes in hydrogen peroxide content using enriched wheat seeds and zinc sulfate priming under drought stress conditions

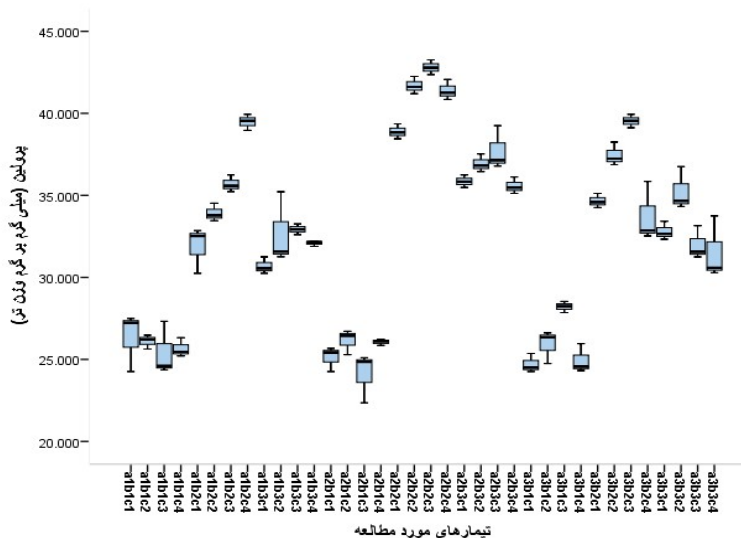


شکل ۳- تغییرات میزان مالون دی آلدئید با کاربرد بذور زی فزونی شده گندم و پیش تیمار سولفات روی در شرایط تنش خشکی

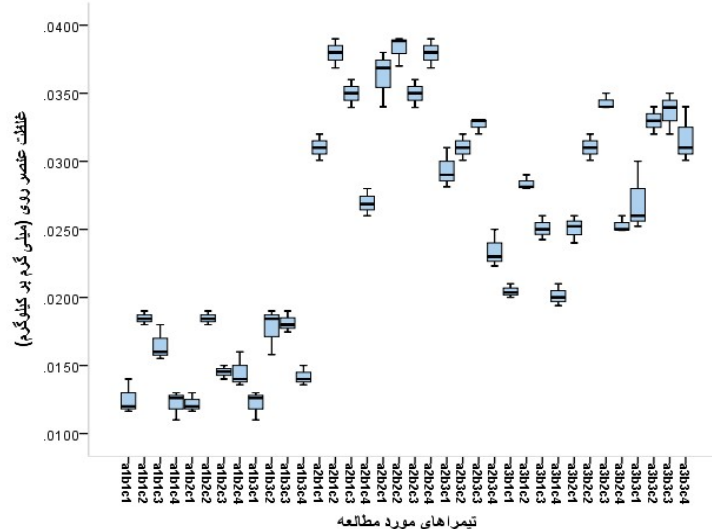
Figure 3. Changes in malondialdehyde content using enriched wheat seeds and zinc sulfate priming under drought stress conditions

a1: بذر شاهد a2: بذور زی فزونی شده با کاربرد خاکی a3: بذور زی فزونی شده با افشانه کردن b1: آبیاری هر ۴ روز یکبار b2: آبیاری هر ۸ روز یکبار b3: آبیاری هر ۱۲ روز یکبار

عنصر روی عنصر روی عنصر روی c1: بدون کاربرد عنصر روی c2: افشانه کردن نیم درصد عنصر روی c3: کاربرد خاکی سولفات روی ۲۵ کیلوگرم در هکتار c4: پرایم با سولفات روی دو درصد



شکل ۴- تغییرات میزان پرولین با کاربرد بذور زی فزونی شده گندم و پیش تیمار سولفات روی در شرایط تنش خشکی
 Figure 4. Changes in proline content using enriched wheat seeds and zinc sulfate priming under drought stress conditions



شکل ۵- تغییرات غلظت عنصر روی با کاربرد بذور زی فزونی شده یگندم و پیش تیمار سولفات روی در شرایط تنش خشکی

Figure 5. Changes in zinc concentration using enriched wheat seeds and zinc sulfate priming under drought stress conditions

a1: بذر شاهد a2: بذور زی فزونی شده با کاربرد خاکی a3: بذور زی فزونی شده با افشانه کردن b1: آبیاری هر ۴ روز یکبار b2: آبیاری هر ۸ روز یکبار b3: آبیاری هر ۱۲ روز یکبار

عنصر روی عنصر روی عنصر روی عنصر روی

c1: بدون کاربرد عنصر روی c2: افشانه کردن نیم درصد عنصر روی c3: کاربرد خاکی سولفات روی ۲۵ کیلوگرم در هکتار c4: پرایم با سولفات روی دو درصد

ارزیابی گیاهان تحت تنش خشکی می‌باشد. تجمع پرولین در گیاهان تحت تنش به واسطه سنتز پرولین و غیرفعال شدن تخریب آن اتفاق می‌افتد. افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش خشکی باعث افزایش قدرت جذب آب و

تنظیم اسمزی به عنوان یکی از سازوکارهای سازگاری گیاهان زراعی در برابر تنش خشکی می‌باشد (Farooq et al., 2009). پرولین یکی از تنظیم‌کننده‌های مهم اسمزی در شرایط بروز تنش‌های محیطی و یکی از شاخص‌های

رشد رویشی گیاهان زراعی معمولا غلظت عنصر روی در بافت‌های اندام‌های می‌تواند افزایش نشان دهد.

نتیجه‌گیری کلی

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان چنین ادعان داشت که با توجه به افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، آیزوزیم Cu/Zn-SOD، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز در تیمارهای کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده و کوددهی سولفات روی میزان پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید به‌صورت معنی‌داری کاهش و سبب تعدیل در شرایط رشد گیاه گردید که نتیجه آن را می‌توان در افزایش میزان ارتفاع ساقه، سطح برگ، کلروفیل این تیمارهای مشاهده نمود. در شرایط اعمال تنش خشکی شدید (آبیاری در ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی نسبت به بذور شاهد سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، آیزوزیم Cu/Zn-SOD، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز گردید که نتیجه آن را می‌توان در کاهش میزان تولید پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید مشاهده نمود. افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل و ارتفاع گیاه از نتایج تعدیل شرایط تنش خشکی شدید در تیمار کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی می‌باشد. این نکته قابل ذکر است که در تیمارهای کاربرد خاکی ۲۵ کیلوگرم سولفات روی نیز نتایج مشابهی ثبت شد. به‌عنوان نتیجه کاربردی می‌توان چنین اظهار داشت که تیمار کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی به‌همراه افزودن کود خاکی حاوی عنصر روی در کشت‌زارها در شرایط متفاوت رطوبتی به‌عنوان تیمار برتر این آزمایش انتخاب و برای انجام پژوهش‌های مزرعه‌ای معرفی می‌گردد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئول گلخانه شماره ۲ گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی تشکر می‌گردد.

کاهش اثرات تنش خشکی می‌شود. بنابراین از جمله پاسخ‌های گیاهان در برابر تنش کم‌آبی، افزایش سطح پرولین و ارسال پیام فعال‌شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت می‌باشد. تاثیر عنصر روی در افزایش غلظت پرولین توسط هایات و همکاران (Hayat et al., 2012) و دوز سانتوس و همکاران (Dos Santos et al., 2019) گزارش شده است. افزایش میزان پرولین توسط سینک و همکاران (Singh et al., 2014) با کاربرد عنصر روی گزارش شده است.

غلظت عنصر روی دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش سه جانبه کاربرد بذور زی‌فزونی‌شده، تیمار عنصر روی و محدودیت رطوبتی بر میزان غلظت عنصر روی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). در این پژوهش، بیش‌ترین میزان تجمع این عنصر با مقدار ۰/۰۴۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار استفاده از بذور زی‌فزونی‌شده به‌روش خاکی و افشانه‌کردن عنصر روی در شرایط آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. کم‌ترین مقدار تجمع عنصر روی نیز با مقدار ۰/۰۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار کاربرد بذور عدم زی‌فزونی‌شده و عدم کاربرد عنصر روی در شرایط آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۵). افشانه‌کردن برگی عنصر روی بسیار بیش‌تر از کاربرد خاکی آن در افزایش غلظت روی اندام‌های گیاهان زراعی می‌تواند موثر باشد (Ozturk et al., 2006; Cakmak et al., 2010). بالا رفتن میزان عنصر روی در اندام‌های هوایی به‌خصوص در مراحل ظهور برگ پرچم می‌تواند غلظت عنصر روی دانه را تا ۱۴۰ درصد افزایش دهد (Cakmak, 2012). همچنین در بین فرم‌های مختلف عنصر روی بیش‌ترین میزان جذب برای کاربرد سولفات‌روی ثبت گردیده است (Cakmak et al., 2008). پیش‌تر ذکر گردید که در شرایط کمبود رطوبت میزان تحرک و جذب عنصر روی پایین می‌آید اما از کاهش رشد گیاهان و افزایش غلظت عناصر غذایی در واحد حجم نمی‌توان غافل شد. با افزایش

منابع

- Abbasi, A. and Enayati, W. 2013. Decrease of cell defense mechanisms efficiency and oxidative stress accruing in lake of Mg condition. Iranian Journal of Dryland Agriculture, 1, 4: 41-52. (In Persian)(Journal)
- Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S.B., Sabaghnia, N. and Javanmard, A. 2017. Effect of zinc sulfate in

- the quantity and quality of wheat grain under soil zinc deficiency and drought stress. *Cereal Research*, 7(1): 1-18. (In Persian). **(Journal)**
- Abbasi, A., Shekari, F., Mosavi, S.B., Sabaghnia, N., and Javanmard, A. 2016. The Partitioning Trend of Resources and Alpha-Amylase Enzyme Activity with Zinc Priming in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed. *Iranian Journal of Seed Research*, 3, 2: 1-13. (In Persian)**(Journal)**
- Abi, H. 1984. Catalase in vitro. *Method of Enzymology*, 105:121-126.
- Ali Ehyae, M, and Behbahanizadeh, A.A. 1993. Describe the Methods of Soil Analysis. Soil and Water Research Institute, No. 893. (In Persian)**(Book)**
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition: Second edition, published by IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France. **(Book)**
- Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, 31(5), 537-548. **(Journal)**
- Alscher, R.G., Erturk, N. and Heath, L.S., 2002. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal of experimental botany*, 53(372): 1331-1341. **(Journal)**
- Amiri, A., Baninasab, B., Ghobadi, C. and Khoshgoftarmanesh, A.H. 2016. Zinc soil application enhances photosynthetic capacity and antioxidant enzyme activities in almond seedlings affected by salinity stress. *Photosynthetica*, 54(2): 267-274. **(Journal)**
- Arnon D.T. 1949. Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24: 1-15. **(Journal)**
- Arora, Ajay, R.K. Sairam, and G.C. Srivastava. 2002. Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current science*, 1227-1238. **(Journal)**
- Asad, A. and Rafique, R. 2000. Effect of zinc, copper, iron, manganese and boron on the yield and yield components of wheat crop in Tehsil Peshawar. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(10): 1615-1620. **(Journal)**
- Ayala, A., Muñoz, M.F. and Argüelles, S. 2014. Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2014. **(Journal)**
- Bailey-Serres, J., and Mittler, R. 2006. The roles of Reactive Oxygen Species in Plant Cells. **(Book)**
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), pp.205-207. **(Journal)**
- Blokhina, O. and Fagerstedt, K.V. 2010. Oxidative metabolism, ROS and NO under oxygen deprivation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(5): 359-373. **(Journal)**
- Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89: 1-16. **(Journal)**
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? *Plant and soil*, 302(1-2):1-17. **(Journal)**
- Cakmak, I., 2012. Harvest Plus zinc fertilizer project: Harvest Zinc. *Better Crops*, 96(2): 17-19. **(Journal)**
- Cakmak, I., Pfeiffer, W.H. and McClafferty, B., 2010. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal chemistry*, 87(1): 10-20. **(Journal)**
- Candan, N., Cakmak, I., and Ozturk, L. 2018. Zinc biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181(3): 388-395. **(Journal)**
- Castillo-González, J., Ojeda-Barrios, D., Hernández-Rodríguez, A., González-Franco, A.C., Robles-Hernández, L. and López-Ochoa, G.R. 2018. Zinc metalloenzymes in plants. *Interciencia*, 43(4): 242-248. **(Journal)**
- Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S.B., Ribeiro, C.W., Lazzarotto, F. and Margis-Pinheiro, M. 2012. Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. *Genetics and molecular biology*, 35(4): 1011-1019. **(Journal)**
- Chagas, R.M., Silveira, J.A., Ribeiro, R.V., Vitorello, V.A. and Carrer, H. 2008. Photochemical damage and comparative performance of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in sugarcane leaves exposed to paraquat-induced oxidative stress. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90(3): 181-188. **(Journal)**
- Chen, L.M., Lin, C.C. and Kao, C.H. 2000. Copper toxicity in rice seedlings: Changes in antioxidative enzyme activities, H₂O₂ level, and cell wall peroxidase activity in roots. *Botanical Bulletin of*

- Academia Sinica, 41: 99-103. **(Journal)**
- Dos Santos, J.O., Andrade, C.A., De Souza, K.R.D., De Oliveira Santos, M., Brandão, I.R., Alves, J.D. and Santos, I.S., 2019. Impact of Zinc Stress on Biochemical and Biophysical Parameters in *Coffea Arabica* Seedlings. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(3): 253-264. **(Journal)**
- El-Beltagi, H.S. and Mohamed, H.I., 2013. Reactive oxygen species, lipid peroxidation and antioxidative defense mechanism. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1): 44-57. **(Journal)**
- Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S. and Ihsan, M.Z. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 8(1): 1147. **(Journal)**
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D.B.S.M.A. and Basra, S.M.A. 2009. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Springer, Dordrecht. **(Book)**
- Flintham, J.E., Angus, W.J. and Gale, M.D. 1997. Heterosis, over dominance for grain yield, and alpha-amylase activity in F1 hybrids between near-isogenic Rht dwarf and tall wheats. *Journal of Agricultural Science*, 129:371-378. **(Journal)**
- Foti, S., Cosentino, S.L., Patane, C. and D'agosta, G.M. 2002. Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under low temperatures. *Seed Science and Technology*, 30(3): 521-533. **(Journal)**
- Foyer, C.H. 2018. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and experimental botany*, 154: 134-142. **(Journal)**
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition-a review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 374-391. **(Journal)**
- Harris, D., Tripathi, R.S., and Joshi, A. 2002. On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. Direct seeding: Research Strategies and Opportunities, International Research Institute, Manila, Philippines, 231-240. **(Conference)**
- Hassan, N., Irshad, S., Saddiq, M.S., Bashir, S., Khan, S., Wahid, M.A., Khan, R.R. and Yousra, M. 2019. Potential of zinc seed treatment in improving stand establishment, phenology, yield and grain biofortification of wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 42(14): 1676-1692. **(Journal)**
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Wani, A.S., Pichtel, J. and Ahmad, A. 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant signaling and behavior*, 7(11):1456-1466. **(Journal)**
- Hernandez-Ruiz, J., Arnao, M.B., Hiner, A.N., garcía-cánovas, F. and ACOSTA, M. 2001. Catalase-like activity of horseradish peroxidase: relationship to enzyme inactivation by H₂O₂. *Biochemical Journal*, 354(1):107-114. **(Journal)**
- Imtiaz, M., Alloway, B.J., Shah, K.H., Siddiqui, S.H., Memon, M.Y., Aslam, M. and Khan, P. 2003. Zinc nutrition of wheat: I: Growth and zinc uptake. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(2): 152-155. **(Journal)**
- Jon, C. and Loon, V. 1980. Analytical atomic absorption spectroscopy. Academic Press Inc. 5:158-220. **(Journal)**
- Kapoor, D., Singh, S., Kumar, V., Romero, R., Prasad, R. and Singh, J. 2019. Antioxidant enzymes regulation in plants in reference to reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS). *Plant Gene*, 19: 100182. **(Journal)**
- Kaur, R., Arora, S. and Thukral, A.K. 2009. Enhancing seed germination of *Chlorophytum borivilianum* Sant. Et Fernand. with PGRs, steroidal hormones and zinc. *Research Journal of Seed Science*, 2(2): 32-39. **(Journal)**
- Kaya, Y., Kaya, Y., Arisoy, R.Z. and Göcmen, A. 2002. Variation in grain yield and quality traits of bread wheat genotypes by zinc fertilization. *Pakistan Journal of Agronomy*, 1(4):142-144. **(Journal)**
- Kehrer, J.P. 2000. The Haber-Weiss reaction and mechanisms of toxicity. *Toxicology*, 149(1), 43-50. **(Journal)**
- Khan, B., Baloch, M.S. and Hussain, S.M. 1999. Micro-Nutritional Studies in Pigeon pea. *Sciences*, 2(2): 399-401. **(Journal)**
- Khan, M., Fuller, M. and Baloch, F. 2008. Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. *Cereal Research Communications*, 36(4): 571-582. **(Journal)**

- Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R. and Bekkaoui, F. 2018. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in chemistry*, 6: 26. **(Journal)**
- Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K. and Dietz, K.J. 2019. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants*, 8(4): 94. **(Journal)**
- Li, C.R., Liang, D.D., Li, J., Duan, Y.B., Li, H.A.O., Yang, Y.C., Qin, R.Y., Li, L.I., Wei, P.C. and Yang, J.B. 2013a. Unravelling mitochondrial retrograde regulation in the abiotic stress induction of rice alternative oxidase 1 genes. *Plant, cell and environment*, 36(4): 775-788. **(Journal)**
- Li, X., Yang, Y., Jia, L., Chen, H. and Wei, X. 2013b. Zinc-induced oxidative damage, antioxidant enzyme response and proline metabolism in roots and leaves of wheat plants. *Ecotoxicology and environmental safety*, 89: 150-157. **(Journal)**
- Li, Z., Han, X., Song, X., Zhang, Y., Jiang, J., Han, Q., Liu, M., Qiao, G. and Zhuo, R. 2017. Overexpressing the *Sedum alfredii* Cu/Zn superoxide dismutase increased resistance to oxidative stress in transgenic *Arabidopsis*. *Frontiers in plant science*, 8:1010. **(Journal)**
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and Naylor, R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319: 607-610. **(Journal)**
- Lomonte, C., Sgherri, C., Baker, A.J., Kolev, S.D. and Navari-Izzo, F. 2010. Antioxidative response of *Atriplex codonocarpa* to mercury. *Environmental and experimental botany*, 69(1): 9-16. **(Journal)**
- Luis, A., Sandalio, L.M., Corpas, F.J., Palma, J.M., and Barroso, J.B. 2006. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant physiology*, 141(2): 330-335. **(Journal)**
- Ma, Q.Q., Wang, W., Li, Y.H., Li, D.Q. and Zou, Q. 2006. Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum*) by foliar-applied glycinebetaine. *Journal of Plant Physiology*, 163(2): 165-175. **(Journal)**
- Malakouti, M.J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. *Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 1(1): 1-12. **(Journal)**
- Mao, L., Chen, J., Peng, Q., Zhou, A. and Wang, Z. 2013. Effects of different sources and levels of zinc on H₂O₂-induced apoptosis in IEC-6 cells. *Biological trace element research*, 155(1): 132-141. **(Journal)**
- Mhamdi, A. and Van Breusegem, F. 2018. Reactive oxygen species in plant development. *Development*, 145(15): dev164376. **(Journal)**
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9): 405-410. **(Journal)**
- Mohamadi Dizaj, H. and Shekari, F. 2016. The Effect of Zinc Sulfate on Biofortification and Morphological Changes in Spring Wheat. *Water and Soil Science*, 26(3): 277-292. **(Journal)**
- Ozturk, L., Yazici, M.A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H.J., Sayers, Z. and Cakmak, I. 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, 128(1): 144-152. **(Journal)**
- Ozyigit, I.I., Filiz, E., Vatanserver, R., Kurtoglu, K.Y., Koc, I., Öztürk, M.X. and Anjum, N.A. 2016. Identification and comparative analysis of H₂O₂-scavenging enzymes (ascorbate peroxidase and glutathione peroxidase) in selected plants employing bioinformatics approaches. *Frontiers in plant science*, 7 (1): 301. **(Journal)**
- Pattanagul, W. and Madore, M.A. 1999. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. *Plant Physiology*, 121(3): 987-993. **(Journal)**
- Rai, V.K., 2002. Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia plantarum*, 45(4): 481-487. **(Journal)**
- Rashid, A., Ram, H., Zou, C.Q., Rerkasem, B., Duarte, A.P., Simunji, S., Yazici, A., Guo, S., Rizwan, M., Bal, R.S. and Wang, Z. 2019. Effect of zinc biofortified seeds on grain yield of wheat, rice, and common bean grown in six countries. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5): 791-804. **(Journal)**
- Ren, J., Sun, L.N., Zhang, Q.Y. and Song, X.S. 2016. Drought tolerance is correlated with the activity of antioxidant enzymes in *Cerasus humilis* seedlings. *BioMed research international*, 2016. **(Conference)**
- Rengel, Z. and Graham, R.D. 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil: II. Grain yield. *Plant and Soil*, 173(2): 259-266. **(Journal)**

- Rengel, Z., Römheld, V. and Marschner, H. 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*, 152(4-5): 433-438. **(Journal)**
- Roosta, H.R., Estaji, A. and Niknam, F. 2018. Effect of iron, zinc and manganese shortage-induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. *Photosynthetica*, 56(2): 606-615. **(Journal)**
- Saeid, M. and Zabihi-e-Mahmoodabad, R. 2009. Evaluation of drought stress on relative water content and chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. *Res J Environ Sci*, 3: 345-350. **(Journal)**
- Sairam, R.K., Deshmukh, P.S. and Saxena, D.C. 1998. Role of antioxidant systems in wheat genotypes tolerance to water stress. *Biologia plantarum*, 41(3): 387-394. **(Journal)**
- Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant science*, 163(5): 1037-1046. **(Journal)**
- Samreen, T., Shah, H.U., Ullah, S. and Javid, M. 2017. Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mungbeans plant (*Vigna radiata*). *Arabian journal of Chemistry*, 10: S1802-S1807. **(Journal)**
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. and Pessarakli, M. 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012. **(Journal)**
- Singh, J., Padmalochan, H. and Jolly, B. 2014. Potential of *Vigna unguiculata* as a Phytoremediation Plant in the Remediation of Zn from Contaminated Soil. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 1156-1162. **(Journal)**
- Srivastava, P.C., Rawat, D., Pachauri, S.P. and Shukla, A.K. 2016. Seedling Zinc-Uptake in Wheat Cultivars of Varying Zinc-Use Efficiency. *Journal of Crop Improvement*, 30(6): 684-702. **(Journal)**
- Stewart, R.R.C. and Bewley, J.D. 1980. Lipid peroxidation associated aging of soybean axes. *Advances in Plant Physiology*, 65: 245-248. **(Journal)**
- Weraduwege, S.M., Chen, J., Anozie, F.C., Morales, A., Weise, S.E. and Sharkey, T.D. 2015. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in plant science*, 6(1): 167. **(Journal)**
- Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlik, S., Bagci, S.A. and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils. *Journal of plant nutrition*, 20(4-5): 461-471. **(Journal)**
- Yousuf, P.Y., Hakeem, K.U.R., Chandna, R. and Ahmad, P. 2012. Role of Glutathione Reductase in Plant Abiotic Stress. In *Abiotic Stress Responses in Plants* (pp. 149-158). Springer, New York, NY. **(Book)**



Changes in spring wheat defense system using zinc and biofortified seeds with this element under drought stress

Amin Abbasi^{*1}, Mahmood Aligholipour sharabyani², Mohammad Sedghi³

Received: November 30, 2020

Accepted: March 8, 2021

Abstract

Drought stress and zinc deficiency have always been considered as problems affecting the yield of cereals, especially wheat. In order to influence of zinc application and its internal amount on growth and defense system in different moisture conditions, a factorial research was conducted based on a completely randomized design at Ardabil University and its biochemical parameters were measured at Maragheh University in 2017. Factors studied included biofortified seeds, application of zinc and drought stress. The results of this study showed that the three-way interaction on stem height, leaf area, chlorophyll, superoxide dismutase activity, Cu/Zn-SOD isozyme, ascorbate peroxidase, catalase and hydrogen peroxide, malondialdehyde, proline was significant at 1 and 5% probability levels. According to the mean comparisons, the highest activity of superoxide dismutase, Cu/Zn-SOD isozyme, ascorbate peroxidase and catalase in 30% of field capacity was recorded in the treatment of increased seeds by soil method. The result can be seen in modulating the amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde in this treatment. Also, based on these results, the amount of chlorophyll, leaf area and plant height in this treatment showed a significant increase compared to the treatment of control seed application in irrigation conditions of 30% of field capacity. As a final result, it can be acknowledged that the application of soil-biofortified seeds in the Registered Seed fields along with the application of 25 kg/ha of sulfate zinc in the main fields in different moisture conditions, can be introduced as a suitable treatment for field research.

Keywords: Ascorbate peroxidase; Catalase; Hydrogen peroxide; Lipid peroxidation; Yield

How to cite this article

Abbasi, A., Aligholipour sharabyani, M. and Sedgi, M. 2021. Changes in spring wheat defense system using zinc and biofortified seeds with this element under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 8(3): 225-244. (In Persian)(Journal)
DOI: [10.22124/jms.2021.5227](https://doi.org/10.22124/jms.2021.5227)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research
The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. Assistant Professor of Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, Maragheh University, Maragheh, Iran. a.abbasi25@yahoo.com
2. M.Sc. Graduate, Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. arabyani.mahmod@yahoo.com
3. Professor of Plant Production and Genetics Department, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. m_sedghi@uma.ac.ir

*Corresponding author: a.abbasi25@yahoo.com