به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲٤ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱٤۰۱
صفحه‌های ۲۸۱-۲٦۹
DOI: 10.22059/jci.2021.307461.2429

مقاله پژوهشی:

تأثیر محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی بر وزن دانه و برخی صفات بیوشیمیایی گندم در شرایط شوری خاک

حامد نریمانی[۱*]، رئوف سیدشریفی[۲]، فاطمه آقایی[۳]
۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی بر وزن دانه و برخی صفات بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط شوری خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل سطوح شوری خاک (سطح شاهد و اعمال شوری‌های ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌مولار در خاک) و چهار روش کاربرد روی (شاهد یا عدم کاربرد روی، مصرف خاکی سولفات‌روی، محلول‌پاشی نانواکسیدروی و مصرف خاکی و محلول‌پاشی روی) بود. نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک، به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، محتوای آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول را به‌ترتیب ۲۰/۲٤، ۱۷/٦۸، ۱۳/۱٦، ۳۲/۸۸ و ۱٤/۰۸ درصد نسبت به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک افزایش داد. هم‌چنین، کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط عدم اعمال شوری، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید در مقایسه با عدم کاربرد روی در بالاترین سطح از شوری خاک کاهش داد. کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی تحت شرایط عدم اعمال شوری دارای بیش‌ترین وزن دانه (۱/۰۱٦ گرم در بوته) نسبت به کاربرد این ترکیب تیماری در سایر سطوح شوری بود. به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی می‌تواند وزن دانه‌ی گندم در شرایط شوری را، به‌دلیل بهبود صفات بیوشیمیایی افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: پرولین، قندهای محلول، کاتالاز، مالون‌دی‌آلدهید، نانواکسید روی.

Effect of Foliar and Soil Application of Zinc on Grain Weight and Some Biochemical Traits of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress

Hamed Narimani[1*], Raouf Seyed Sharifi[2], Fatemeh Aghaei[3]
1. Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Proffesor, Department Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
Received: August 2, 2020 Accepted: January 26, 2021

Abstract

In order to study the effect of foliar and soil application of Zinc on grain weight and some biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity, an experiment has been conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of University of Mohaghegh Ardabili in 2018-2019. Experimental factors include soil salinity levels [control and salinity of 30, 60, and 90 mM] and four methods of zinc application [no zinc as control, soil application zinc as $ZnSO_4$, foliar application nano zinc oxide, and combination of soil and foliar application of zinc]. Results show that both application of $ZnSo_4$ and foliar application nano Zn oxide under 90 mM soil salinity condition increase the catalase and peroxidase enzymes activity, anthocyanin, proline, and soluble sugars content by 20.24%, 17.68%, 13.16%, 32.88%, and 14.08%, respectively, in comparison with no application of zinc under 90 mM soil salinity condition. Also, both soil application of $ZnSo_4$ and foliar application of nano Zn oxide under non-salinity condition decrease hydrogen peroxide and malondialdehyde content in comparison with no application of Zinc under 90 mM soil salinity. Both soil application ZnSo4 and foliar application nano Zn oxide under non-salinity condition has had the highest grain weight (1.016 g per plant), compared to the application of this treatment combination at other salinity levels. It seems that both application of $ZnSo_4$ and nano Zn oxide can increase weight yield of wheat under salinity condition due to their ability in improving biochemical traits.

Keywords: Catalase, malondialdehyde, nano Zn oxide, proline, soluble sugars.

* نویسنده مسئول
Email: hamed.narimani.72@uma.ac.ir

۱. مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که با تأثیر سوء بر فرایند استقرار بوته، توزیع یون‌ها، فتوسنتز، قابلیت دسترسی گیاه به آب، اختلال در فرایندهای آنزیمی و بیوشیمیایی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن، موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Okcu *et al*., 2005). گیاهان سازوکارهای متفاوتی برای کاهش اثر مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند از جمله آن‌ها، تولید ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی است؛ بدین صورت که مقدار گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی به‌وسیله فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها کنترل می‌شود (Selote & Khanna-Chopra, 2004). از دیگر سازوکارهای مؤثر، تنظیم اسمزی است. تنظیم اسمزی، یک نوع سازگاری به تنش آبی است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند منجر به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرایندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب شود (Vinocur *et al*., 2005). این تنظیم از طریق تولید بیش‌تر انواع مختلف مواد آلی مانند پرولین، پروتئین، بتائین و قندهای محلول در ریشه و اندام‌های هوایی، به جلوگیری از اتلاف آب کمک می‌کند (Liang *et al*., 2013). هم‌چنین گیاهان با استفاده از برخی سازوکارها مانند تشدید فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هم‌چون سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پلی‌فنل اکسیداز (Xu *et al*., 2006) با تنش شوری مقابله می‌کنند.

برای انجام فعالیت‌های طبیعی فیزیولوژیک گیاهان، عناصر کم‌مصرف همانند عناصر پرمصرف اهمیت دارند (Singh *et al*., 2017). عنصر روی از جمله عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است و نقش‌های متعدد فیزیولوژیکی مانند سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم رنگدانه‌های فتوسنتزی، محافظت غشا، ایجاد سیستم دفاع سلولی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش توان فتوسنتزی و اعمال متابولیکی گیاه را عهده‌دار است (Karami *et al*., 2016). اگرچه نیاز گیاهان به این عناصر کم است، با این وجود چنانچه مقدار کافی از آن‌ها در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیک حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در امان نخواهند بود، طوری‌که در شرایط کمبود عنصر روی، بروز خسارت‌های اکسایشی ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد مانند اکسیژن فعال با ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال هیدروکسیل و سوپراکسید به سلول خسارت می‌زند (Bybordi & Mamedov, 2010). عنصر روی جزء تشکیل‌دهنده برخی از پروتئین‌های غیرآنزیمی و هم‌چنین کوفاکتور برخی از آنزیم‌هاست. در متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین‌هایی هم‌چون آلدولازها، ایزومراز، ترانس فسفوریلاز، DNA و RNA پلیمراز و دهیدروژناز و هم‌چنین در تنظیم بیان ژن در تحمل به تنش‌های محیطی دخیل است (Broadley *et al*., 2007). هم‌چنین این عنصر به‌دلیل افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، افزایش ثبات در ساختار غشای سلول، شرکت در ساختار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، و مهارکننده آنزیم NADPH اکسیداز، نقش مهمی در پایداری غشای سلولی دارد (Cakmak, 2000; Prasad, 2010). Boorboori *et al*. (2012) اظهار داشتند که محلول‌پاشی روی در شرایط تنش با فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن به اسیدآمینه پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین شد. Farsi *et al*. (2017) گزارش کردند که کاربرد روی در شرایط تنش، ضمن بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد. هم‌چنین Hejazi Mehrizi (2010) بیان کرد که کاربرد روی در شرایط شوری ضمن حفظ سطح کافی عناصر غذایی موردنیاز گیاه نظیر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و جلوگیری از جذب بیش‌از حد عناصری نظیر کلر و سدیم، منجر به بهبود فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی

شد و با پالایش گونه‌های فعال اکسیژنی، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید شد.

در ایران همانند بسیاری از نقاط جهان نان حاصل از گندم مهم‌ترین ماده غذایی روزانه مردم را تشکیل می‌دهد. از این‌رو به‌منظور دستیابی به حداکثر عملکرد در واحد سطح، کاربرد گسترده کودهای شیمیایی پر مصرف نظیر نیتروژن و فسفر، کشت مداوم و عدم مصرف کودهای حاوی عناصر ریزمغذی و کودهای آلی، موجب کاهش ذخیره ریز مغذی روی (Zn) در خاک و در نتیجه کاهش عملکرد شده است ضمن آن‌که این گیاه حساسیت شدیدی به کمبود روی دارد (Brenna, 1992). این موارد به همراه شرایط حاکم بر خاک‌های آهکی از جمله وجود مقادیر زیاد کربنات کلسیم، pH قلیایی و شوری خاک که در غالب خاک‌های تحت کشت گندم مشاهده می‌شود از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر کاربرد روش‌های محتلف مصرف ریزمغذی روی (اعم از مصرف خاکی و محلول‌پاشی) به‌همراه سطوح مختلف شوری بر روی رقم گندم رقم زاگرس که از تیپ رشدی بهاره، زودرس، قدرت رویش مناسب، با متوسط ارتفاع بوته ۸۸ سانتی‌متر و وزن هزاردانه ۳۸ گرم، مقاوم به تنش‌های زنده و غیرزنده و برخوردار از کیفیت خوب نانوایی برخوردار است مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی بر وزن دانه و برخی صفات بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط شوری خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد.

فاکتورهای موردبررسی شامل شوری خاک در چهار سطح (سطح شاهد یا خاک با قابلیت هدایت الکتریکی در حد پایین (معادل ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر) (S_0) و اعمال شوری‌های ۳۰ (S_1)، ۶۰ (S_2) و ۹۰ (S_3) میلی‌مولار در خاک به‌ترتیب معادل ۲/۷۶، ۵/۵۳ و ۸/۳۱ دسی‌زیمنس بر متر)، با کلریدسدیم و کاربرد روی در چهار سطح (شاهد یا عدم کاربرد روی (Z_1)، مصرف خاکی سولفات‌روی (Z_2)، محلول‌پاشی نانواکسیدروی (Z_3) و کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی (Z_4)) بود. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در جدول (۱) آورده شده است. نانواکسیدروی تولید کشور چین بود که از شرکت جهان کیمیای ارومیه تهیه شد و مشخصات آن در جدول (۲) درج شده است.

کاربرد خاکی سولفات‌روی به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار (Seilsepour, 2006) در زمان کاشت و محلول‌پاشی نانواکسیدروی به میزان یک گرم در لیتر (Seyed Sharifi & Kamari, 2015) طی دو نوبت در مرحله سه الی چهار برگی و قبل از ظهور برگ پرچم (به‌ترتیب معادل با کد ۱۳ و ۳۷ از مقیاس BBCH) اعمال شد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). زمان محلول‌پاشی در هر مرحله، ساعت ۱۰-۸ قبل از ظهر بود و محلول‌پاشی طوری انجام می‌شد که تمام قسمت‌های هوایی بوته‌های موجود در هر گلدان به‌طور کامل مرطوب شود و برای این منظور مقدار ۱۲۰ میلی‌لیتر در هر گلدان محلول‌پاشی شد.

جدول ۱. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده

مشخصه	pH	عصاره اشباع (%)	شوری خاک ($dS.m^{-1}$)	بافت	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربن آلی (%)	N (%)	Zn (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
مقدار	۷/۸	٤۷	۱/۸	سیلت	۱۹	٤۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰٤	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

جدول ۲. مشخصات نانواکسید روی

وزن	۱۰۰ (g)
خلوص	۹۹ (%)
میانگین اندازه ذرات	< ۳۰ (nm)
سطح ویژه ذرات	> ۳۰ (m^2/gr)

مقدار نمک موردنیاز برای هر یک از سطوح شوری در خاک، با استفاده از برنامه Salt calc محاسبه شد. در این برنامه به استناد هدایت الکتریکی و درصد عصاره اشباع خاک، مقدار نمک موردنیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه شده (Hagh Bahari & Seyed Sharifi, 2014) و در دو مرحله یعنی یک هفته بعد از کاشت و مرحله سه الی چهار برگی همراه با آب آبیاری اعمال شد (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). برای حفظ شوری در طول دوره رشد در زیر هر گلدان زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، دوباره نمک‌های احتمالی وارد شده به زیرگلدانی، در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی گلخانه و نیاز گیاه زراعی انجام شد.

در گلدان‌های به قطر ۳٤ سانتی‌متر برای رسیدن به تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع که تراکم مطلوب و توصیه‌شده این رقم است، ۳۱ عدد بذر کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵–۱٦ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. در طول اجرای آزمایش کود خاصی به گلدان‌ها اضافه نشد. طول دوره کاشت تا برداشت حدود ۹۰ روز بود.

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا ۰/۲ گرم نمونه تر برگی در هاون چینی در مجاورت نیتروژن مایع پودر شد و با یک میلی‌لیتر بافر تریس–کلریدریک ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ هموژن شد. همگنای حاصل را به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول شناور رویی برای اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنولاز مورداستفاده قرار گرفت (Sudhakar *et al*., 2001)، برای اندازه‌گیری میزان قندهای محلول برگ به‌روش Dubios *et al*. (1956)، مقدار ۰/۲ گرم از نمونه‌های برگ پرچم را با دو میلی‌لیتر بافر سدیم فسفات (pH=۷) ساییده و با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شدند. از محلول رویی ۱۰ میکرولیتر برداشته و به آن ۹۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. به ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول حاصل، ۰/۵ میلی‌لیتر فنل ۵ درصد (محلول آبی) و ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک (۹۸ درصد) افزوده شد. پس از تثبیت رنگ به‌مدت ۱۵–۱۰ دقیقه، در دمای ۳۰–۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ٤۹۰ نانومتر قرائت شد. مقدار آنتوسیانین برگ پرچم با روش Wagner (1979) اندازه‌گیری شد. ۰/۱ گرم از بافت تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متانول خالص کلریدریک اسید به نسبت حجمی ۹۹ به ۱) به‌طور کامل ساییده و عصاره حاصل به‌مدت ۲٤ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب محلول روشناور در طول موج ۵۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد.

محتوای پراکسیدهیدروژن برگ پرچم با روش Alexieva *et al.* (2001) اندازه‌گیری شد. به این‌صورت که ۱ گرم نمونه برگ، خرد کرده درون فالکن‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرواستیک یک درصد اضافه شد. نمونه هموژنیزه شده با سرعت ۹۰۰۰ دور بر دقیقه به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۵

میلی‌لیتر از محلول رویی به میکروتیوپ‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به آن‌ها ۰/۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر محلول یک مولار یدید پتاسیم اضافه شد. میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Alexieva *et al*., 2001). میزان پراکسیداسیون لیپیدی برگ پرچم نیز براساس روش Stewart & Bewley (1980) اندازه‌گیری شد. در حدود ۰/۵ گرم از برگ پرچم گندم در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ درصد تری‌کلرواستیک اسید همگن و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. دو میلی‌لیتر از محلول روشناور حاصل با ٤ میلی‌لیتر از محلول ۲۰ درصد تری‌کلرواستیک اسید محتوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط شد. کمپلکس حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به حمام آب سرد منتقل شد. نمونه‌ها دوباره ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر ثبت شد.

برای اندازه‌گیری محتوای پرولین برگ پرچم از روش Bates *et al*. (1973) استفاده شد، به این‌صورت که مقدار یک گرم بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلک‌اسید سه درصد ساییده و با سرعت ٤۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین که ۱/۲۵ گرم پودر اسید نین‌هیدرین را در ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال حل نموده و سپس ۲ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٦ مولار با آن اضافه کرده و سپس دو میلی‌لیتر استیک‌اسید گلاسیال خالص اضافه شد. لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شد و سپس ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌ها اضافه و به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه توسط دستگاه ورتکس خوب به هم زده شد. فاز رنگی بالایی با دقت جدا و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل یو وی ۲۱۰۰ ساخت یونیکو آمریکا) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین برحسب میکروگرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. از هر گلدان پنج بوته به‌منظور تعیین وزن دانه از سطح خاک برداشت شد. سپس به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱، دانه‌های جداشده از سنبله توزین و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. محتوای پرولین و قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هم‌زمان شوری و کاربرد روی بر محتوای پرولین و قندهای محلول برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای پرولین برگ پرچم (۱۱/۸ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی تحت شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک بود (جدول ٤)، که این ترکیب تیماری موجب افزایش ۹۸/٦۵ درصدی محتوای پرولین نسبت به شرایط عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ٤). البته بین این ترکیب تیماری با کاربرد نانواکسیدروی در همین سطح از شوری احتلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود نداشت. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک موجب افزایش ٥٤/٦۳ درصدی محتوای قندهای محلول نسبت به شرایط عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ٤).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		محتوای پرولین	محتوای قندهای محلول	محتوای آنتوسیانین	محتوای پراکسید هیدروژن	محتوای مالوندی‌آلدهید	کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل‌اکسیداز	عملکرد دانه
بلوک	۲	۴۹/۸۷**	۷۶۵۵/۸**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۰۰۴ns	۰/۰۰۰۰۰۰۰۴ns	۲۷۶۶/۷**	۲۰۹۲/۲**	۱۹۳۲/۹**	۰/۳**
شوری (S)	۳	۱۹/۲۳**	۱۷۶۹/۹**	۰/۰۰۰۰۸**	۰/۰۳۲**	۰/۰۲۲**	۵۵۴/۶**	۲۷۳/۸**	۵۷۷/۳**	۰/۰۹۳**
روی (Zn)	۳	۲۵/۴۷**	۱۲۸۱/۴**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۶۶**	۰/۰۰۵**	۱۰۲/۲**	۴۶۱/۹**	۷۸/۹**	۰/۰۲**
S×Zn	۹	۰/۴۳**	۳۳/۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۹**	۴۹/۴**	۴/۸**	۱/۹ns	۰/۰۰۰۸*
خطا	۳۰	۰/۱۲	۸/۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۱	۱/۳۶	۰/۶۱	۱/۸	۰/۰۰۰۳۱

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر برخی صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه گندم

ترکیب تیماری	محتوای پرولین (µg/g FW)	محتوای قندهای محلول (mg/g FW)	محتوای آنتوسیانین (µmol/g FW)	محتوای پراکسید هیدروژن (µmol/g FW)	محتوای مالوندی‌آلدهید (µmol/g FW)	کاتالاز (OD µg protein/min)	پراکسیداز (OD µg protein/min)	عملکرد دانه (g per plant)
S_1×Zn_1	۵/۹۴g	۸۶/۱۴i	۰/۰۱۸۳k	۰/۲۷۷l	۰/۰۷۹l	۴۸/۶l	۶۰/۷۳l	۰/۹۳۸de
S_1×Zn_2	۷f	۸۷/۰۸i	۰/۰۱۹۵j	۰/۲۶۲n	۰/۰۶۶m	۴۹/۸۲l	۶۱/۳۸l	۰/۹۷۹bc
S_1×Zn_3	۷/۸۵e	۹۸/۱۷g	۰/۰۲۰۱i	۰/۲۳۸o	۰/۰۴۴o	۵۲/۰۵k	۶۹/۳۶h	۰/۹۹۸ab
S_1×Zn_4	۹/۶۶c	۱۱۱/۵۵e	۰/۰۲۱۵g	۰/۲۲۲p	۰/۰۱۶p	۵۵/۶۶j	۷۴/۴۹f	۱/۰۱۶a
S_2×Zn_1	۶/۹۷f	۹۲/۳۸h	۰/۰۲۰۲i	۰/۳۲۳g	۰/۱۱h	۶۴/۷۴ef	۶۳/۳۸k	۱/۰۶۲a
S_2×Zn_2	۸/۰۱e	۱۰۳/۲۸f	۰/۰۲۰۹h	۰/۲۹۹j	۰/۰۹۶j	۵۳/۵۲k	۶۵/۹۲j	۰/۹۱۲ef
S_2×Zn_3	۹/۱۳cd	۱۰۵/۴۱f	۰/۰۲۳۱e	۰/۲۸۷k	۰/۰۸۷k	۵۷/۰۶ij	۷۱/۷۲g	۰/۹۵۴cd
S_2×Zn_4	۱۰/۷۴b	۱۱۹/۰۸cd	۰/۰۲۳۱e	۰/۲۶۶m	۰/۰۶۴n	۶۰/۸۸g	۷۷/۸۶d	۰/۹۸۱bc
S_3×Zn_1	۷/۷۵e	۹۳/۲۷h	۰/۰۲۲۲f	۰/۳۶۵d	۰/۱۴d	۶۵/۹۱de	۶۴/۶۳jk	۰/۷۹۴jk
S_3×Zn_2	۸/۰۸e	۱۰۴/۶۷f	۰/۰۲۳۴e	۰/۳۳۶f	۰/۱۲۶f	۵۷/۷۳hi	۶۷/۶۸i	۰/۸۱۷ij
S_3×Zn_3	۹/۲۳cd	۱۱۰/۵۶e	۰/۰۲۴۵d	۰/۳۱۱h	۰/۱۱۶g	۶۳/۳۴f	۷۳/۷۵f	۰/۸۸۴fg
S_3×Zn_4	۱۰/۹۲b	۱۲۳/۰۹bc	۰/۰۲۵۴c	۰/۳۰۳i	۰/۱i	۶۸/۵۵bc	۷۹/۲۶c	۰/۸۸۸fg
S_4×Zn_1	۸/۸۸d	۱۱۶/۷۵d	۰/۰۲۴۳d	۰/۳۹۱a	۰/۱۷۶a	۵۹/۵۲gh	۷۰/۶۷g	۰/۷۵۵l
S_4×Zn_2	۱۰/۴۲b	۱۲۳/۸۸bc	۰/۰۲۵۸c	۰/۳۸۳b	۰/۱۶۲b	۶۷/۳۸cd	۷۶/۳۹e	۰/۷۶l
S_4×Zn_3	۱۱/۶a	۱۲۵/۵۷b	۰/۰۲۶۷b	۰/۳۶۸c	۰/۱۴۳c	۷۰/۲۸ab	۸۱/۱۶b	۰/۷۷۷kl
S_4×Zn_4	۱۱/۸a	۱۳۳/۲a	۰/۰۲۷۵a	۰/۳۴۸e	۰/۱۳۳e	۷۱/۵۷a	۸۳/۱۷a	۰/۸۹۳hi
LSD	۰/۵۸۳	۴/۸۳۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۷	۱/۹۵	۱/۳۰۹	۰/۰۲۹

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ۶۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، کاربرد سولفات‌روی، نانواکسید روی، کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسید روی.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD هم ندارند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر کاربرد روی و سطوح شوری بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم گندم

کاربرد روی	پلی‌فنل‌اکسیداز (OD µg protein/min)	سطوح شوری	پلی‌فنل‌اکسیداز (OD µg protein/min)
Zn1	۵۱/۴۹d	S1	٤٦/١٦d
Zn2	۵٤/١٤c	S2	۵۲/۵۱c
Zn3	۵۵/٦٨b	S3	۵۸/۰۸b
Zn4	۵۷/۵٦a	S4	٦۲/١۳a
LSD	۱/۱٤۱	LSD	۱/۱٤۱

S_1، S_2، S_3 و S_4 به‌ترتیب عدم شوری، شوری ۳۰، ٦۰، ۹۰ میلی‌مولار.

Zn_1، Zn_2، Zn_3 و Zn_4 به‌ترتیب عدم مصرف، کاربرد سولفات‌روی، نانواکسید روی، کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسید روی.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD هم ندارند.

Lamas *et al.* (2002) دلیل افزایش تجمع پرولین در شرایط تنش را به تحریک سنتز پرولین از گلوتامیک‌اسید، کاهش انتقال پرولین از طریق آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و تخریب و اختلال در فرایند سنتز پروتئین‌ها نسبت دادند. هم‌چنین افزایش فعالیت آنزیم اورنیتین آمینوترانسفراز (OAT)، آنزیم سنتزکننده پرولین، یا ممانعت از آنزیم‌های کاتالیزکننده پرولین هم‌چون پرولین اکسیداز و پرولین هیدروژناز، می‌تواند از دلایل دیگر افزایش محتوای پرولین در چنین شرایطی باشد (Babaei *et al*., 2017).

عنصر روی جزء تشکیل‌دهنده برخی از پروتئین‌های غیرآنزیمی و هم‌چنین کوفاکتور برخی از آنزیم‌هاست. در متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین‌هایی هم‌چون آلدولازها، ایزومراز، ترانس فسفوریلاز، DNA و RNA پلیمراز و دهیدروژناز و هم‌چنین در تنظیم بیان ژن در تحمل به تنش‌های محیطی دخیل می‌باشد (Broadley *et al*., 2007). Boorboori *et al.* (2012) اظهار داشتند که محلول‌پاشی روی در شرایط تنش با فعال‌سازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و تبدیل آن به اسیدآمینه‌های پرولین، موجب افزایش محتوای پرولین جو شد.

مواد فتوسنتزی پس از تولید در برگ (منابع) به طرف دانه‌ها یا مخازن انتقال می‌یابد، بنابراین تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ معرف عدم انتقال آن‌ها به مخازن به‌واسطه پایین‌بودن ظرفیت مخازن (دانه)، عدم نیاز دانه‌ها به کربوهیدرات‌های محلول یا بالابودن قدرت برگ در تولید این ترکیبات و یا نیاز به کربوهیدرات‌های محلول در تنظیم اسمزی برگ است.

افزایش قند محلول ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به‌دلیل کاهش رشد، سنتز این ترکیبات از مسیر غیرفتوسنتزی و هم‌چنین تخریب قندهای نامحلول باشد که موجب افزایش قندهای محلول می‌شود (Ehdaei *et al*., 2006). در شرایط شوری قندهای نامحلول (نشاسته) تجزیه شده و قندهای محلول را ایجاد می‌کنند که سلول به این طریق قادر به حفظ پتانسیل اسمزی شده و موجب کاهش خطر دهیدراتاسیون می‌شود (Parvaiz & Satyawati, 2008).

کاربرد روی نیز منجر به افزایش محتوای قندهای محلول شد. Ginzberg *et al.* (1998) دلیل افزایش محتوای قندها در شرایط تنش شوری را به نقش مؤثر عنصر روی در کوفاکتور آنزیمی و در متابولیسم قندها نسبت دادند. هم‌چنین روی با شرکت در سنتز اکسین از طریق تحریک سنتز اسیدآمینه تریپتوفان (به‌عنوان پیش‌ماده سنتز هورمون اکسین) و تنظیم

نشاسته در سلول می‌تواند محتوای قند را افزایش دهد (Said-Al Ahl & Hussein, 2010). نتایج مشابهی نیز توسط Farsi *et al.* (2017) مبنی بر افزایش میزان قندهای محلول و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی با کاربرد روی در شرایط تنش گزارش شده است.

۳. ۲. محتوای آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هم‌زمان شوری و کاربرد روی بر محتوای آنتوسیانین برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک موجب افزایش ۵۰/۲۷ درصدی محتوای آنتوسیانین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ٤). بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین برگ پرچم (۰/۰۲۷۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی تحت شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار و کم‌ترین محتوای آن (۰/۰۱۸۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد (جدول ٤).

سیستم دفاع غیرآنزیمی در گیاهان شامل ترکیبات آنتی‌اکسیدان مانند آنتوسیانین، کاروتنوئیدها، توکوفرول‌ها، آسکوربیک‌اسید و ترکیبات فنلی می‌باشد. فلاونوئیدهای آنتوسیانینی از مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند. این ترکیبات نه تنها رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند، بلکه از تولید بیش‌تر آن‌ها در گیاه نیز جلوگیری می‌کنند. آنتوسیانین‌ها به احتمال زیاد موجب تسهیل ورود نمک به واکوئل سلول‌ها و در نتیجه جمع‌آوری آن‌ها از سایر بخش‌ها می‌شوند (Saadatmand & Enteshari, 2013). به بیانی دیگر سنتز آنتوسیانین‌ها در شرایط تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد و گیاه را در برابر رادیکال‌های آزاد محافظت می‌کند (Sperdouli & Moustakas, 2012). Farsi *et al.* (2017) اظهار داشتند که کاربرد روی در شرایط تنش با بهبود محتوای قندهای محلول و فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شد.

در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط تنش شوری با افزایش محتوای قندهای محلول (جدول ٤) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) (جدول‌های ٤ و ٥) موجب افزایش محتوای آنتوسیانین (جدول ٤) شد.

نتایج برخی بررسی نشان می‌دهند که محلول‌پاشی روی احتمالاً از طریق تحریک بیان برخی ژن‌ها که مسئول نسخه‌برداری از آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز ترکیبات آلی در گیاهان هستند موجب افزایش سنتز آنتوسیانین می‌شوند (Song *et al*., 2015). می‌توان این فرضیه را بیان کرد که افزایش بیوسنتز آنتوسیانین در ریشه و ساقه و به‌ویژه برگ گیاهان موجب افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی می‌شود.

بین افزایش میزان آنتوسیانین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همبستگی معنی‌داری گزارش شده است (Eryilmaz, 2006). هم‌چنین، تشکیل آنتوسیانین‌ها در گیاهان معمولاً با تجمع قند صورت می‌پذیرد و هر عاملی که موجب افزایش قند در گیاه شود، اغلب ساخته‌شدن آنتوسیانین را بهبود می‌بخشد (Dolatiyan, 2013).

۳. ۳. محتوای پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید

برهم‌کنش هم‌زمان شوری و کاربرد روی بر محتوای پراکسید هیدروژن و محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک موجب

افزایش ۷۶/۱۲ درصدی محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم نسبت به شرایط کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ٤). هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم (به‌ترتیب ۰/۱۷٦ و ۰/۰۱٦ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب در عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک و کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد (جدول ٤).

نتایج مشابهی نیز توسط Rohman *et al.* (2010) گزارش شده است. آن‌ها اظهار داشتند که تنش شوری با اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتزی، منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که رادیکال‌های آزاد سوپراکسید، هیدروکسیل، اکسیژن منفرد و پراکسید هیدروژن از عمده‌ترین گونه‌های فعال اکسیژنی است.

در واقع شوری با ایجاد گونه‌های فعال اکسیژنی در سلول، موجب صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشا شده و می‌توانند به واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها سرعت بخشند. مالون‌دی‌آلدهید به‌عنوان شاخص مناسبی برای پراکسیداسیون لیپید غشا محسوب می‌شود (Ashraf, 2009). می‌توان عنوان نمود که عنصر روی به‌دلیل افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از جمله تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (جدول‌های ٤ و ٥)، شرکت در ساختار آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و هم‌چنین به‌عنوان مهارکننده آنزیم NADPH اکسیداز نقش مهمی در ثبات غشای سلول دارد (Cakmak, 2000; Prasad, 2010).

روی جزء ساختمانی و فعال‌کننده آنزیم کاتالاز محسوب می‌شود. این آنزیم نقش حیاتی در حفظ گیاه در برابر آسیب‌های اکسیداتیو ایجادشده در شرایط تنش شوری دارند. در این راستا Hacisalihoglu *et al.* (2003) اظهار داشتند که کمبود روی موجب کاهش فعالیت این آنزیم‌ها و افزایش آسیب‌های اکسیداتیو وارده به لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده که در نهایت افزایش نفوذپذیری غشای سلولی را در شرایط شوری به‌همراه دارد. هم‌چنین روی از طریق واکنش با فسفولیپیدها و گروه‌های سولفیدریل غشا موجب حفظ ساختار غشا در شرایط شور می‌شود (Alloway, 2006).

Hejazi Mehrizi (2010) بیان کرد که کاربرد روی در شرایط شوری ضمن حفظ سطح کافی عناصر غذایی موردنیاز گیاه نظیر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و جلوگیری از جذب بیش‌از حد عناصری نظیر کلر و سدیم، موجب افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی شد که با تنظیف گونه‌های فعال اکسیژنی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید شد.

بخشی از کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید در کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی را می‌توان به نقش این عنصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز (جدول ٤) نسبت داد. در این زمینه Bowler *et al.* (1992) اظهار داشتند که افزایش غلظت پراکسید هیدروژن به‌عنوان سیگنالی برای افزایش بیان ژن آنزیم کاتالاز عمل کرده و در نتیجه، فعالیت آنزیم کاتالاز در گیاه در شرایط تنش‌زا افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین ROSهای تولیدشده طی تنش‌های غیرزیستی می‌توانند سیگنالی برای بیان گلوتامات دهیدروژناز آنیونی باشند که تشکیل گلوتامات (پیش‌ساز پرولین) را کاتالیز می‌کند (Skopelitis *et al.*, 2006). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در بالاترین سطح شوری خاک (۹۰ میلی‌مولار) با افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز (جدول ٤) و محتوای پرولین ضمن

کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (جدول ٤) موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید (جدول ٤) شد.

۳. ٤. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز)

نتایج نشان داد که کاربرد روی، سطوح شوری بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش هم‌زمان این دو عامل بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی تحت شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک موجب افزایش ٤٧/٢٦ و ٣٦/٩٥ درصدی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز برگ پرچم نسبت به شرایط عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری شد (جدول ٤). بیش‌ترین و کم‌ترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم (به‌ترتیب ٦٢/١٣ و ٤٦/١٦ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) به‌ترتیب در شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک و عدم اعمال شوری مشاهده شد (جدول ٥). هم‌چنین کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی موجب افزایش درصدی ١١/٧٨ فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد روی شد (جدول ٥).

شوری موجب اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتزی و تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله رادیکال‌های آزاد سوپراکسید، هیدروکسیل، اکسیژن منفرد و پراکسید هیدروژن می‌شود (Rohman *et al*., 2010). در این راستا گیاهان سازوکارهای متفاوتی از جمله تولید ترکیبات آنزیمی و غیرآنزیمی برای کاهش اثر مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند؛ بدین صورت که مقدار گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی به‌وسیله فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها کنترل می‌شود (Selote & Khanna-Chopra, 2004).

آنزیم‌هایی مانند کاتالاز و پراکسیداز با کاهش میزان H_2O_2 و تبدیل آن به آب، نقش اساسی در دفع مسمومیت گونه‌های فعال اکسیژن ایفا می‌کنند (Munns & Tester, 2008). هم‌چنین، آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، اکسیدوردوکتازهایی هستند که نقش بسیار مهمی را در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری دارند و در سم‌زدایی اشکال مختلف اکسیژن فعال تولیدشده در سلول دارند که در هنگام بروز تنش، موجب جمع‌آوری رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده می‌شوند (Mittler, 2002).

از این‌رو به‌نظر می‌رسد تشدید بخشی از فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی در شرایط شوری می‌تواند ضمن تنظیف گونه‌های فعال اکسیژن در کاهش پراکسید هیدروژن تولیدشده (جدول ٤) و در نتیجه از آن در کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید (جدول ٤) و بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش مؤثر عمل نماید.

۳. ٥. وزن دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هم‌زمان شوری و کاربرد روی بر وزن دانه سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن دانه به کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در عدم اعمال شوری (١/٠١٦ گرم در بوته) و کم‌ترین آن (٠/٧٥٥ گرم در بوته) به عدم کاربرد روی در شرایط شوری ۹۰ میلی‌مولار خاک مربوط می‌شد (جدول ٤).

Saeidi Aboueshaghi *et al.* (2014) گزارش کردند که محلول‌پاشی روی با تنظیم اسمزی از طریق بهبود اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) و هم‌چنین تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

می‌تواند با حفظ و افزایش پایداری غشاءهای سلولی و توان فتوسنتزی (افزایش ظرفیت فتوسنتزی و بهبود دوام سطح برگ)، صدمات ناشی از تنش اکسیداتیو را کاهش و موجب افزایش عملکرد دانه لوبیا قرمز شود.

Baniabbass *et al.* (2012) افزایش عملکرد با کاربرد روی را به اهمیت این عنصر در بیوسنتز مواد رشدی همانند اکسین در گیاه نسبت دادند که موجب می‌شود ماده خشک بیش‌تری تولید و در دانه به‌عنوان مخزن ذخیره شود. از طرفی این عنصر در ساختمان فسفواینول‌پیروات‌کربوکسیلاز نیز نقش اساسی دارد و به این ترتیب در حضور عنصر روی توان فتوسنتزی و در نتیجه میزان کربوهیدرات‌های گیاه افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد بخشی از بهبود عملکرد در کاربرد روی در شرایط تنش شوری ناشی از افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی، افزایش محتوای قندهای محلول (Farsi *et al.*, 2017) و پرولین (Boorboori *et al.*, 2012) و کمک به تنظیم اسمزی و جذب بهتر آب از گیاه تحت چنین شرایطی باشد. در این بررسی نیز کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط عدم اعمال شوری با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (جدول‌های ٤ و ٥) و محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) (جدول ٤) موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن (جدول ٤) و محتوای مالون‌دی‌آلدهید (جدول ٤) و در نهایت موجب افزایش ٣٤/٥٦ درصدی وزن دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد روی تحت شرایط شوری ٩٠ میلی‌مولار خاک شد.

٤. نتیجه‌گیری

کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی تحت شرایط شوری ٩٠ میلی‌مولار خاک موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) و محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) شد. هم‌چنین این ترکیب تیماری با کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و محتوای مالون‌دی‌آلدهید، موجب افزایش ٣٤/٥٦ درصدی وزن دانه گندم نسبت به شرایط عدم کاربرد روی در شرایط عدم اعمال شوری شد. از این‌رو به‌نظر می‌رسد به‌منظور بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش شوری، استفاده از سولفات‌روی و محلول‌پاشی نانواکسیدروی، روشی مناسب باشد.

٥. تشکر و قدردانی

از مساعدت‌های صمیمانه و خالصانه یکایک همکاران ارجمند در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف مزرعه‌ای و آزمایشگاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

٧. منابع

Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environment*, *24*(12), 1337-1344. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x

Alloway, B. J. (2006). Zinc In Soils And Crop Nutrition, Online book published by the International Zinc Association, Brussels, Belgium. http://www.zinc-crops.org/

Ashraf, M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, *27*(1), 84-93. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.003

Babaei, K., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, *12*(1), 381-389. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798

Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology*, *6*(2), 518-525.

Bates, L. S., Walderen, R. D., & Taere, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, *39*, 205-207. DOI: 10.1007/BF00018060

Bybordi, A., & Mamedov, G. (2010). Evaluation of application methods efficiency of zinc and iron for Canola (*Brssica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, *2*(1), 94-103. DOI: 10.15835/nsb213531

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*(2), 740746.

Bowler, C., Van Montagu, M., & Inze′, D. (1992). Superoxide dismutase and stress tolerance. *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *43*, 83-116. DOI: 10.1146/annurev.pp.43.060192.000503

Brenna, R. F. (1992). The effect of zinc fertilizer on take-all and the grain yield of wheat grown on zinc – deficient soil of the Esperance region, Western Australia, *Fertizer Research, 31*, 215-219.

Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist*, *173*(4), 677-702.

Cakmak, l. (2000). Role of Zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New phytology*, *146*(2), 185-205. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00630.x

Dolatiyan, N. (2013). *The effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics of strawberry (Fragaria ananassa var Selva), in greenhouse*. MSc Thesis. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Khorasan Razavi, Iran. (In Persian)

Dubios, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Roberts, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Annals of Chemistry*, *28*(3), 350-356. https://doi.org/10.1021/ac60111a017

Ehdaei, B., Alloush, G. A., Madore M. A., & Waines, J. G. (2006). Genotype variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. *Crop Science*, *46*(5), 2093-2103. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.01.0013

Eryilmaz, F. (2006). The relationship between salt stress and anthocyanin content in higher plants. *Biotechnology*, *26*, 100112. https://doi.org/10.1080/13102818.2006.10817303

Farsi, M., Abdollahi, F., Salehi, A., & Ghasemi, Sh. (2017). Study of physiological characteristics of marjoram (*Origanum majorana*), as a medicinal plant in response to zinc levels under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Science*, *10*(4), 559-570. DOI: 10.22077/escs.2017.68.1017 (In Persian)

Ginzberg, I., Stein, H., Kapulnik, Y., Szabados, L., Strizhov, N., Schell, J., Koncz, C., & Zilberstein, A. (1998). Isolation and characterization of two different cDNAs of Δ1-pyrroline-5-carboxylate synthase in alfalfa, transcriptionally induced upon salt stress. *Plant Molecular Biology*, *38*(5), 755-764. DOI: 10.1023/A:1006015212391

Hacisalihoglu, G., Hart, J.J., Wang, J. Y. H., Cakmak, I., & Kochian, L.V. (2003). Zinc efficiency is correlated with enhanced expression and activity of zinc-requiring enzymes in wheat. *Plant Physiology*, *131*(2), 595-602. DOI: 10.1104/pp.011825

Hagh Bahari, M, & Seyed Sharifi, R. (2014). Effects of seed inoculation with growth promoting bacteria (PGPR) on yield, rate and grain filing at various levels of soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Science*, *6*(1), 65-75. (In Persian)

Hejazi Mehrizi, M. (2010). *The Effects of zinc and copper nutrition on physiological, biochemical and antioxidant properties of rosemary under saline condition*. Ph.D Thesis. Faculty of Agriculture. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)

Karami, S., Modarres-Sanavy, M., Ghanehpour, S., & Keshavarz, H. (2016). Effect of foliar zinc application on yield and, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. *Notulae Scientia Biologicae*, *8*(2), 181-191. DOI: 10.15835/nsb.8.2.9793

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. Journal of Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, *44*(1), 116-124.

Lamas, A., Ullrich, C.I., & Sanz, A. (2002). Cadmium effects on transmembrance electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. *Plant and Soil*, *219*(1), 21-28. DOI: 10.1023/A:1004753521646

Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K., & Becker, D. F. (2013). Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxidants and Redox Signaling*, *19*(9), 998-1011. DOI: 10.1089/ars.2012.5074

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Science*, *7*(9), 405-410. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms o f salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, *59*(1), 651-681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Okcu, G., Kaya, M.D., & Atak, M. (2005). Effect of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum*). *Turkish Journal of Agriculture*, *29*, 137-243.

Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant, Soil and Environment*, *54*(3), 89-99. DOI: 10.17221/2774-PSE

Prasad, R. (2010). Zinc biofortification of food grains in relation to food security and alleviation of zinc malnutrition. *Current Science*, *98*(10), 1300-1304.

Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W. R., Utami, R., & Mulatsih, W. (2010). Antioxidant activity, total phenolic, and total flavaonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam). *International Food Research Journal*, *17*, 97-106.

Saadatmand, M., & Enteshari, S. (2013). The effects of pretreatment duration with silicon on salt stress in Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch & C.A. mey). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *3*(4), 45-57. (In Persian)

Saeidi Aboueshaghi, R., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., & Baluchi, H. (2014). Effect of irrigation intervals and foliar application of iron and zinc on some physiological and morphological characteristics of red bean (*Phaseolous vulgaris* L.). *Journal of Plant Process and Function*, *3*(7), 27-42. (In Persian)

Said-Al Ahl, H.A.H., & Hussein M.S. (2010). Effect of drought stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. *Ozean Journal of Applied Sciences*, *3*(1), 125-141.

Seilsepour, M. (2006). Study of Zinc effects on quantitative and qualitative traits of winter wheat in saline soil condition. *Desert Journal*, *11*(2), 17-23. (In Persian)

Selote, D. S. & Khanna-Chopra, R. (2004). Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defense in rice panicles. *Plant Physiology*, *121*(3), 462-471. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2004.00341.x

Seyed Sharifi, R., & Kamari, H. (2015). Effects of nano-zinc oxide and seed inoculation of Triticale. *Journal of Plant Process and Function*, *4*(13), 97-112. (In Persian)

Singh, G., Sarvanan, S., Rajwat, K. S., Rathore, J. S., & Singh, G. (2017). Effect of different micronutrient on plant growth, yield and flower bud quality of broccoli (*Brassica oleracea*). *Current Agriculture Research Journal*, *5*(1), 108-115. http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.5.1.12

Skopelitis, D. S., Paranychianakis, N. V., Paschalidis, K. A., Pliakonis, E. D., Delis, I. D., Yakoumakis, D. I. (2006). Abiotic stress generates ROS that signal expression of anionic glutamate dehydrogenases to form glutamate for proline synthesis in tobacco and grapevine. *The Plant Cell*, *18*(10), 2767-2781. DOI: 10.1105/tpc.105.038323

Song, C. Z., Liu, M. Y., Meng, J.F., Chi, M., Xi, Z.M., & Zhang, Z. W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of Vitis vinifera cv, Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, *20*(2), 2536-2554. DOI: 10.3390/molecules20022536

Sperdouli, I., & Moustakas, M. (2012). Interaction of proline, sugars, and anthocyanins during photosynthetic acclimation of Arabidopsis thaliana to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 169, 577-585.

Stewart, R. C., & Beweley, J. D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, *65*(2), 245-248. DOI: 10.1104/pp.65.2.245

Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridara Kumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, *161*(3), 613-619. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2

Vinocur, B., & Altman و A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, *16*, 123-132. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.001

Wagner, G. J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. *Plant Physiology*, *64*(1), 88-93. DOI: 10.1104/pp.64.1.88

Xu Y. C., Zhang, J. B., Jiang, Q. A., Zhou, L. Y., & Miao, H. B. (2006). Effects of water stress on the growth of Lonicera japonica and quality of honeysuckle. *Zhong Yao Cai*, *29*(5), 420-423.