نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۲ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۵۰-۲۳۳

تأثیر نانوذره اکسید روی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی گندم در شرایط خشکی

سیده یلدا رئیسی ساداتی[۱]، سدابه جهانبخش گده کهریز[۲*]، علی عبادی[۲]، محمد صدقی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۷

۱-دانشجوی دکتری ژنتیک مولکولی، 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
* مسئول مکاتبه: Email: jahanbakhsh@uma.ac.ir

چکیده

اهداف: هدف از این پژوهش بررسی برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و مورفولوژیکی و امکان تخفیف اثرات تنش خشکی توسط محلول‌پاشی نانواکسید روی بر عملکرد گندم است.

مواد و روش‌ها: آزمایشی در سال ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی انجام گرفت. فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح (۳۵، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، فاکتور دوم ارقام گندم (میهن، حیدری، سای‌سونز و گاسگوژن) و فاکتور سوم شامل محلول‌پاشی با نانوذره اکسید روی با غلظت‌های (صفر، ۰/۵ و یک گرم در لیتر) در نظر گرفته شد. محلول‌پاشی در مرحله سه برگچه‌ای صورت گرفت و سه روز پس از محلول‌پاشی، تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه اعمال شد و ده روز بعد از تنش، نمونه‌برداری انجام گرفت.

یافته‌ها: تحت تیمار نانواکسید روی میزان پروتئین محلول، قند محلول، پرولین، ارتفاع بوته و وزن دانه افزایش یافت. با افزایش شدت تنش خشکی میزان پروتئین کاهش یافته اما میزان پرولین و قند محلول افزایش نشان داد. همچنین تنش موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن خشک و تر ریشه و نیز عملکرد دانه شد. محلول‌پاشی با نانواکسید روی در تعدیل و تخفیف اثرات تنش خشکی در ارقام میهن و حیدری معنی‌داری بود و موجب افزایش سازوکارهای دفاعی گیاه در مقابله با تاثیرات مخرب تنش خشکی شد.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی تغذیه برگی نانواکسید روی در غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر می‌تواند منجر به ایجاد تحمل گیاه گندم، در برابر تنش خشکی شود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پروتئین محلول، تنش خشکی، قند محلول، گندم نان، نانواکسید روی

Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on Some Biochemical and Morphological Characteristics of Wheat under Drought Conditions

Seyede Yalda Raeesi Sadati[1], Soodabeh Jahanbakhsh Godekahriz[2*], Ali Ebadi[2], Mohammad Sedghi[2]

Received: June 19, 2020 Accepted: February 15, 2021
1-PhD Student of Genetic Molecular, Dept. of plant genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2-Prof., Dept. of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
*Corresponding Author Email: jahanbakhsh@uma.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The aim of this study was to investigate the effect of zinc oxide nanoparticles on some biochemical and morphological characteristics of wheat under drought stress and reduction of drought effects under the influence of zinc nano oxide foliar application.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in the University of Mohaghegh Ardebili in 2016-2017. The first factor was drought stress at three levels (35, 60 and 85% of field capacity), the second factor was wheat cultivars (Mihan, Heydari, Sysons and Gasogen) and the third factor included foliar spraying with zinc oxide nanoparticles with concentrations of 0, 0.5 and 1 $g.l^{-1}$. The foliar application was performed in three-leaf stage and three days after foliar application, drought stress was applied based on field capacity and sampling was performed ten days after stress.

Results: The findings showed that under ZnO treatment, the amount of soluble protein, soluble sugar, proline, plant height and grain weight increased. As the severity of drought stress increased, the amount of protein decreased, but the amount of proline and soluble sugar increased. Stress also decreased plant height, dry and fresh root weight, as well as grain yield (15.95% of grain size and 11.93% of grain weight). Spraying wheat plants with zinc nano oxide in the Mihan and Heydari cultivars moderated the effects of stress, and in the cultivars of Sysons and Gascogen increased the plant's defense mechanisms against the destructive effects of drought stress.

Conclusion: In general, foliar feeding of ZnO at a concentration of 0.5 $g.l^{-1}$ makes wheat plants tolerant to drought stress.

Keywords: Bread Wheat, Drought Stress, Proline, Soluble Protein, Soluble Sugar, Zinc Nanoxide

مقدمه

خشکی به‌عنوان یک تنش چند بعدی، اثرهای متنوعی روی گیاهان دارد و بسیاری از ویژگی‌های مرفولوژیک و فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تنش باعث تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)[1]، خسارت به غشای سلولی، بازدارندگی انتقال الکترون، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و کاهش پروتئین می‌گردد (حسین‌زاده و همکاران ۲۰۱۶).

[1] Reactive Oxygene Species

واکنش گندم به تنش کم‌آبی سازوکار پیچیده‌ای دارد که شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به کل فعالیت‌های متابولیسمی و اثرگذاری آن بر مرفولوژی و فنولوژی گیاه می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران ۲۰۱٤). گیاه توسط مکانیزم تنظیم اسمزی با تجمع تعداد محدودی از یون-های فعال اسمزی شامل قندهای محلول و اسیدهای آمینه، همچنین با ممانعت از ورود و خروج یون‌ها و سیستم مهار انواع اکسیژن فعال نسبت به تنش، تحمل یا سازگاری پیدا می‌کند (تورکان ۲۰۱۱). برای انجام فعالیت‌های طبیعی فیزیولوژیک گیاهان عناصر کم نیاز به اندازه عناصر پر مصرف اهمیت دارند (سینگ و همکاران ۲۰۱۷). عنصر روی از جمله عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است و دارای نقش‌های فیزیولوژیک متعدد از جمله سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم رنگدانه‌های فتوسنتزی، افزایش توان فتوسنتزی و اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء سلول در مقابل رادیکال‌های آزاد اکسیژن و تولید محصول است (کرمی و همکاران ۲۰۱٦). هنگامی‌که گیاه با تنش مواجه می‌گردد رادیکال‌های آزاد سنتز شده موجب سمیت در گیاه و مرگ سلول می‌شوند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر این مواد سمی عمل نموده و موجب مقاومت در برابر تنش می‌شوند. محلول-پاشی روی در شرایط وقوع تنش می‌تواند فرآیندهای فتوسنتزی و تجمع کربوهیدرات‌ها را بهبود بخشیده و اثرات منفی تنش را کاهش دهد (شجاعی و مکاریان ۲۰۱٤). عنصر روی به همراه آهن به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، موجب افزایش این آنزیم‌ها شده و در ایجاد سیستم دفاعی سلول در برابر گونه‌های اکسیژن فعال، تعدیل رادیکال‌های آزاد و آثار تخریبی آنها در سیستم‌های غشایی نقش اساسی داشته و درنتیجه تحمل گیاهان به تنش خشکی را افزایش می‌دهد. در شرایط کمبود این عنصر، بروز خسارت‌های اکسایشی ناشی از تهاجم رادیکال‌های آزاد مانند اکسیژن فعال با ایجاد اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید به سلول خسارت وارد می‌کند و گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیک حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی در امان نخواهند بود (نریمانی و همکاران ۲۰۱۸). وقوع خشکی ۵ تا ۱۵ روز قبل از ظهور سنبله، تعداد دانه را در گندم ٤۰ درصد کاهش می‌دهد (دلفینوس و همکاران ۲۰۱۳). عملکرد و اجزای عملکرد گندم بسته به نوع رقم و مرحله فنولوژی گیاه، تحت تأثیر تنش گرما و خشکی قرار می‌گیرند (عابید و همکاران ۲۰۱٦). مطالعات پژوهشگران نشان داده است که محلول‌پاشی نانواکسید روی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با محلول‌پاشی این کود به فرم معمول می‌شود (پراساد و همکاران ۲۰۱۲). در این راستا بابایی و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند تنش، موجب کاهش محتوای نسبی آب شده و محلول‌پاشی با نانو اکسید روی و آهن، تعدیل بخشی از کاهش محتوای نسبی آب در شرایط تنش و افزایش عملکرد دانه را موجب می-شود. همچنین با توجه به کمبود شدید خاک‌های کشور از نظر روی، مصرف این عنصر به‌صورت کود اهمیت زیادی در افزایش عملکرد و کیفیت محصولات دارد، اما مصرف بیش از حد این عنصر می‌تواند موجب سمیت در رشد و فرآیندهای گیاه از جمله کاهش رشد ریشه و اندام هوایی، کاهش جذب سایر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و افزایش بیش از اندازه جذب آهن شود (مرادی تلاوت و همکاران ۲۰۱۵). محلول پاشی یا تغذیه برگی روشی جهت کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک و در نتیجه کاهش خطرات محیطی از جمله کاهش آلودگی خاک و آب است. همچنین تغذیه برگی، در مواقعی که پدیده آنتاگونیستی برای انتقال برخی مواد از راه ریشه وجود دارد و یا افزودن موادی به خاک که موجودات زنده خاک را از بین می‌برد، اهمیت زیادی پیدا می‌کند. با این روش تغذیه می‌توان عناصر را در سریع-ترین زمان ممکن در اختیار گیاه قرار داد. بنابراین، با بهره‌گیری از این روش می‌توان تا حد قابل توجهی کمبود

این عناصر را در شرایط تنش جبران نموده و کمیت و کیفیت محصول گندم را بهبود بخشید. به‌منظور تأمین نیازهای تغذیه‌ای بشر اصلاح گیاهان زراعی در جهت افزایش تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه خشکی اهمیت فراوانی دارد.

لذا هدف اصلی از پژوهش حاضر، بررسی تأثیر محلول‌پاشی نانوذره اکسید روی در برخی عوامل بیوشیمیایی دخیل و تخفیف اثرات تنش خشکی در گیاه گندم بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح (۳۵، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، فاکتور دوم شامل چهار رقم گندم نان (میهن، حیدری، سای‌سونز و گاسگوژن) و فاکتور سوم شامل محلول‌پاشی نانوذره اکسید روی با غلظت‌های (صفر، ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر) در نظر گرفته شد. بعد از تجزیه خاک مورد استفاده برای گلدان‌ها، خاک معمولی، شن و ماسه بادی به نسبت ۲ به۱ اضافه شد، درون گلدان‌های پلاستیکی که با ٤ کیلوگرم از خاک یکدست پر شده بودند، بذور با تراکم ۱۲ بوته در هر گلدان و در عمق ۲ سانتی‌متری در تاریخ ۲۵ مهرماه کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۵-۱۶ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. در مرحله سه‌برگچه‌ای، نانوذره اکسید روی بر گیاهان محلول‌پاشی شد و سه روز پس از محلول‌پاشی، تنش خشکی بر اساس ظرفیت زراعی مزرعه به روش توزین گلدان اعمال شد و ده روز بعد از قرارگرفتن گیاه در تنش مورد نظر، نمونه‌برداری از نمونه‌های شاهد و تیماری انجام گرفت. مشخصات نانوذره مورد استفاده در پژوهش حاضر، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱-ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نانو ذره مورد استفاده

اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	روی ($mg.kg^{-1}$)	بافت خاک
٦/٤٨	۲/٤	۱/٦٨	۱۹/۸	۲۱۲	۰/۲۸	لومی- شنی
رنگ نانوذره	**چگالی ظاهری ($g.m^{-3}$)**	**وزن (g)**	**خلوص (٪)**	**سطح ویژه ($m^2.g^{-1}$)**	**اندازه نانو ذره (nm)**	**نوع نانو ذره**
سفید پودری	۰/۲۸ تا ۰/٤۸	۱۰۰	۹۹	≥۳۰	≤۳۰	ZnO

پارامترهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی

سنجش قند محلول برگ: استخراج قندهای محلول بافت برگی با استفاده از روش اوموکولو و همکاران (۱۹۹٦) انجام گرفت. میزان جذب در طول موج ٦۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگی برداشته و سپس ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به آن اضافه در هاون چینی کاملاً هموژن گردید و به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شده و به مدت ۳۰ ثانیه ورتکس شد. مایع رویی جدا و به لوله‌ی دیگری منتقل شده و سپس دو بار و در هر بار ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰٪ به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو گردید و بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شده و عصاره‌ی حاصل، به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. بعد از جداسازی روشناور، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی الکلی انتخاب و داخل لوله‌های آزمایشی ریخته شد. سپس ۳ میلی‌لیتر آنترون تازه تهیه شده به آن اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شد. پس از خنک

شدن نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ٦٢٥ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد.

تعیین مقدار کمی پروتئین محلول برگ: غلظت پروتئین به روش برادفورد (١٩٧٦) تعیین گردید. برای این منظور ۰/۱ گرم از نمونه بافت برگی را با یک میلی‌لیتر بافر فسفات (مقدار ۰/۲٦ گرم نمک منوپتاسیم (KH_2PO_4) به همراه ۲/۱۸ گرم نمک دی پتاسیم (K_2HPO_4)) درون هاون چینی ساییده و پس از انتقال به میکروتیوب به مدت ۲۱ دقیقه با سرعت ۱۱۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ٤ سانتی‌گراد سانتریفیوژ (مدل HAEMATOKRIT 200، کمپانی Hettich) سانتریفیوژ گردید. از محلول شفاف رویی ۱۰۰ میکرولیتر برداشته و به لوله‌های آزمایشی که قبلاً به هر کدام مقدار ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد ریخته شده بود اضافه گردید. پس از گذشت ۵ دقیقه از تثبیت رنگ محلول، قرائت در دمای آزمایشگاه و در طول موج ۵۹۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت گرفت. به منظور رسم منحنی استاندارد پروتئین، از پروتئین استاندارد بومین سرم آلبومین گاوی BSA [۲] استفاده شد.

سنجش محتوای پرولین برگ: استخراج پرولین از برگ‌ها با استفاده از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت. بدین منظور نمونه‌های بافت برگی با سولفوسالیسیلیک اسید ۳٪ استخراج گردید. سپس در لوله آزمایشی جداگانه دیگری، به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص اضافه شد. در ادامه لوله‌های آزمایشی به‌مدت یک ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از خارج شدن از آب جوش، ۲ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه و در یخ قرار گرفت. بعد از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV_ 160A_ SHIMADZO ساخت کشور ژاپن با سل کوارتزی) با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری برخی صفات مرفولوژیکی: برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای عملکرد بعد از رسیدگی گندم‌ها ۷ بوته به‌صورت کامل کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل شد. صفات مرفولوژیک از جمله ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن خشک و تر ریشه، تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه هفت بوته به‌صورت تصادفی در داخل هر گلدان در زمان رسیدگی گیاه اندازه‌گیری شدند. در پایان، ریشه‌ها از اندام هوایی قطع و با ترازوی دیجیتال وزن گردیدند. پس از ثبت وزن تر ریشه‌ها، بافت‌های گیاهی برای مدت ٤٨ ساعت درون آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس با ترازوی دیجیتال وزن شدند (خیری‌زاده آروق و همکاران ٢٠١٦).

سنجش درصد پروتئین و گلوتن مرطوب دانه: برای اندازه‌گیری پروتئین از دستگاه کجلدال بر پایهٔ روش‌های مرسوم ارزیابی شد (مهروا ۲۰۱۵). گلوتن مرطوب دانه با استفاده از دستگاه گلوتن شور (دلتا الکترونیک، مدل DOP-B03S211) قرائت شد. برای تعیین میزان گلوتن ۱۰ گرم از نمونه‌های آرد گندم استفاده شد.

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با کمک نرم افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول ۲ نشان داد که اثرات متقابل سه‌جانبه رقم × نانواکسید روی× تنش خشکی در رابطه با صفات میزان پروتئین کل، اسید آمینه پرولین و میزان قند محلول معنی-دار می‌باشند.

[2] Bovine serum albumin

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوذره اکسید روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گندم

منابع تغییر		میانگین مربعات		
	درجه آزادی	پروتئین کل	قند محلول	پرولین
رقم	۳	۲۰۷۲/۸**	۰/۱۰۵	۰/۲۷۹
نانو اکسید روی	۲	٦۹۷/٦**	۰/۰٦۲	۰/۱۳۲**
تنش خشکی	۲	۸۵۷/۵**	۰/۷۳۵**	۰/۰۲۲
رقم ×نانو اکسید روی	٦	۸۳۰/۸**	۰/۱۳۳*	۰/۱۰۸**
رقم ×تنش خشکی	٦	۱۱٦۹/٦**	۰/۰٦۹	۰/۲۸۳**
نانو اکسید روی ×تنش خشکی	٤	٤۸۸/۸**	۰/۱۳۳*	۰/۱٦۳**
رقم ×نانو اکسید روی ×تنش خشکی	۱۲	۸٤۱/٦**	۰/۱۰۰*	۰/۲۳۹**
خطا	۷۲	٦۵/۲	۰/۰٤۷	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات (%)	-	۱۳/۸	۲۳/۹	۲۱/۰

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ می‌باشد.

محتوای پروتئین کل: همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش شدت تنش خشکی میزان پروتئین کل برگ در ارقام میهن (۳۲/۲۵ درصد) و سایسونز (۲۵/۵۹ درصد) کاهش نشان دادند. در حالی‌که تحت اثرات متقابل تنش خشکی (٦۰٪ و ۳۵٪) و محلول-پاشی نانوذره اکسید روی (در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر) این نتیجه بر عکس بود. در رقم حیدری با محلول‌پاشی نانواکسید روی ۱ گرم بر لیتر میزان پروتئین کل نسبت به شاهد ۳۷/۸٦ درصد افزایش یافت. بیشترین میزان تغییرات پروتئین کل (۱۱٤/۱۵٦ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم میهن و کمترین مقدار (۳۱/۹۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) مربوط به رقم سای‌سونز تحت اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی ۰/۵ گرم بر لیترنانواکسید روی‌نسبت به شاهد می‌باشد.

جدول ۳-مقایسه میانگین اثرات سه جانبه تنش خشکی × رقم × محلول‌پاشی بر میزان پروتئین محلول برگ گندم

ترکیبات تیماری	میانگین ($mg.g\ FW^{-1}$)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	٦۸/۳۰۷$^{d-g}$	٤۹/٦۹٦$^{i-m}$	٤٦/۵۷۷$^{i-m}$	٤۳/۵٦۲$^{l-o}$
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	٤۷/۰۹۷$^{i-m}$	۵۲/۵۰٤$^{h-m}$	٤٤/۱۸٦$^{k-o}$	۵۷/۹۱$^{f-j}$
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	٦٦/۹۵۵$^{d-g}$	٦۸/۵۱۵^{def}	٤۱/٤۸۳^{mno}	٤٤/۸۱$^{j-o}$
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۷۷/۰٤^{bcd}	۵۷/۲۸٦$^{f-k}$	۷۸/٤۹۵^{bcd}	٤۳/۸۷٤$^{l-o}$
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۱۱٤/۱۵٦^{a}	٤٦/٦۸۱$^{i-m}$	۸٦/۷۰۹^{b}	۳۱/۹۱۸^{o}
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۳۲/۹۵۸^{no}	٤۱/٤۸۳^{mno}	۷۱/۵۳^{cde}	۵۸/۷٤۲$^{e-i}$
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۵۲/۱۹۲$^{h-m}$	۸۳/۲۷۸^{bc}	٦۸/٤۱۱$^{d-g}$	۳۲/٦٤٦^{no}
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۸۷/۱۲۵^{b}	٦۸/۷۲۲^{def}	٦۳/۰۰٤$^{e-h}$	٤۹/٦۹٦$^{i-m}$
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	٤۵/٤۳٤$^{j-n}$	۵۵/۳۱۱$^{g-l}$	٦٦/۸۵۱$^{d-g}$	۵۰/۱۱۲$^{h-m}$
LSD	۱۳/۱۵۱			

$D_{85\%}$، $D_{60\%}$ و $D_{35\%}$ به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، ٦۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه.

ZnO_0، $ZnO_{0.5}$ و ZnO_1 به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید روی و مصرف ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر نانو اکسید روی در مرحله سه برگی.

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

میزان پروتئین کل رقم میهن در برهم‌کنش نانواکسید روی یک گرم بر لیتر با تنش خشکی ($ZnO_1 \times D_{60\%}$ و $ZnO_1 \times D_{35\%}$) و رقم سایسونز تحت تنش خشکی شدید ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) کاهش یافت. احتمالاً ارقام حیدری و گاسگوژن نیز جهت مقابله با تنش خشکی و تنظیم اسمزی شروع به سنتز پروتئین‌های دفاعی کرده و میزان پروتئین کل را افزایش دادند، در این راستا متابولیت‌ها و آنزیم‌های موجود در ساختار پروتئین‌ها را نیز درگیر می‌سازند. تغییرات کمی و کیفی پروتئین‌ها در شرایط تنش گزارش شده و شواهد زیادی مبین ارتباط و تجمع پروتئین ناشی از خشکی و سازگاری فیزیولوژیکی با محدودیت آب می‌باشد (کروتاوا و همکاران ۲۰۰۳). در مطالعه‌ی حاضر میزان پروتئین کل در ارقام حیدری (٦٧/٥٧ درصد) و گاسگوژن (٤٦/٨٧ درصد) تحت تنش خشکی ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) افزایش یافت اما با اعمال محلول-پاشی نانو اکسید روی ۰/۵ (۱۷/٤٧ درصد) و ۱ (۳۳/۵۸ درصد) گرم در لیتر از میزان پروتئین کل در رقم حیدری کاسته شد. عنصر روی به‌عنوان کوفاکتور آنزیم RNA پلی‌مراز در بیوسنتز پروتئین‌ها نقش دارد و برای سوخت و ساز طبیعی پروتئین نیز مورد نیاز بوده و باعث تثبیت ساختمان RNA، DNA و ریبوزوم‌ها می‌گردد (ابراهیمیان و بایبوردی ۲۰۱۱). بنابراین ممکن است در رقم حیدری به دلیل محلول‌پاشی نانو اکسید روی میزان پروتئین کل برگ افزایش یافته و اثر تنش تعدیل یافته باشد.

محتوای پرولین: نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد، با محلول‌پاشی نانوذره اکسید روی ۰/۵ گرم در لیتر میزان پرولین ($ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$) در سه رقم میهن، حیدری و گاسگوژن افزایش و در رقم سای‌سونز نسبت به شاهد کاهش یافت. در ارقام میهن (۱٦۳/۳۳ درصد) و سایسونز (۸۱/٤٧ درصد) محتوای پرولین در تنش خشکی شدید ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) نسبت به شرایط کنترل ($ZnO_0 \times D_{85\%}$) افزایش قابل توجهی داشت. همچنین در ارقام حیدری (۱٤٤/۲۱ درصد) و گاسگوژن (۱٤/۷۹ درصد) محتوای پرولین تحت اثرات متقابل تنش شدید و نانواکسید روی ($ZnO_1 \times D_{35\%}$) نسبت به شرایط کنترل افزایش معنی‌داری نشان داد، در حالیکه در ارقام میهن (۳/۱۲ درصد) و سایسونز (۵۰/۷٤ درصد) کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان پرولین نسبت به حالت کنترل وجود داشت. بیشترین میزان پرولین با میانگین ۱/۵۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به رقم سای‌سونز و کمترین میزان پرولین مربوط به رقم گاسگوژن با میانگین ۰/۲٤۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ تحت تاثیر خشکی شدید تعلق داشت (شکل٤).

با توجه به اینکه پرولین جزو مواد حفاظت اسمزی است. در حفظ تعادل پتانسیل اکسید و احیا نقش داشته و یکی از اسید آمینه‌های فعال در پدیده تنظیم تعادل اسمزی سیتوپلاسمی سیتوسول می‌باشد، به‌طور طبیعی در واکنش به تنش تجمع می‌یابد. بنابراین محتوای پرولین شاخص بهتری برای ارزیابی مقاومت به خشکی ژنوتیپ-های گندم می‌باشد (هوگو و همکاران ۲۰۰۸). در تحقیق حاضر محتوای پرولین رقم سای‌سونز تحت تنش شدید ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) ۸۱/٤٧ درصد افزایش یافت، که همسو با نتایج دیگر گزارشات محققان مبنی بر افزایش معنی‌دار میزان پرولین با افزایش شدت تنش خشکی می‌باشد (توکلی و همکاران ۲۰۱٤). به نظر می‌رسد تجمع پرولین در رقم سای‌سونز علاوه بر پاسخ متابولیکی به تجمع و مهار گونه‌های فعال اکسیژن طی تنش (چن و همکاران ۲۰۰٦)، احتمالاً به‌دلیل هیدرولیز پروتئین‌ها، محافظت از ساختارهای سلولی و پایداری آنزیم‌ها در برابر رادیکال-های آزاد ناشی از تنش باشد تا از این طریق با تنش خشکی مقابله کند. همچنین سنتز پرولین در شرایط نرمال ترجیحاً از طریق اورنیتین، آرژینین از یک طرف و تحت تنش خشکی از طریق افزایش گلوتامین و بیان

جدول ۴-مقایسه میانگین اثرات سه جانبه تنش خشکی × رقم × محلول‌پاشی محتوای پرولین گندم

ترکیبات تیماری	میانگین ($mg.g\ FW^{-1}$)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	۰/۵۱۴۴ $^{d-g}$	۰/۴۰۰۱ ^{efg}	۰/۵۷۴۵ $^{c-g}$	۰/۸۵۶۹ ^{cde}
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	۰/۵۳۹۱ $^{d-g}$	۰/۸۰۲۳ $^{c-f}$	۱/۰۳۵۳ ^{bc}	۰/۳۷۸۵ ^{efg}
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	۰/۵۸۸۴ $^{c-g}$	۰/۳۴۹۵ ^{fg}	۰/۵۲۹۸ $^{d-g}$	۰/۵۸۳۱ $^{c-g}$
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۰/۵۴۰۲ $^{d-g}$	۰/۶۳۱۴ $^{c-g}$	۰/۳۹۱۳ ^{efg}	۰/۳۸۵۸ ^{efg}
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۱/۰۰۳۸ ^{bcd}	۰/۸۴۰۴ $^{c-f}$	۰/۳۷۲۶ ^{efg}	۰/۶۵۸۹ $^{c-g}$
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۰/۶۲۷۹ $^{c-g}$	۰/۵۷۱۹ $^{c-g}$	۰/۴۷۵۹ ^{efg}	۰/۳۸۲۵ ^{efg}
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۱/۳۵۴۶ ^{ab}	۰/۳۹۸۶ ^{efg}	۰/۲۴۷۷ ^{g}	۱/۵۵۵۱ ^{a}
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۰/۷۹۶۵ $^{c-f}$	۰/۴۷۵۹ ^{efg}	۰/۳۸۴ ^{efg}	۰/۴۶۶ ^{efg}
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	۰/۵۳۰۵ $^{d-g}$	۰/۹۷۷۱ ^{bcd}	۰/۶۵۹۵ $^{c-g}$	۰/۴۲۲۱ ^{efg}
LSD	۰/۴۹۲			

$D_{85\%}$، $D_{60\%}$ و $D_{35\%}$ به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه.
ZnO_0، $ZnO_{0.5}$ و ZnO_1 به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید روی و مصرف ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر نانو اکسید روی در مرحله سه برگی.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

آنزیم‌های پرولین- ۵ -کربوکسیلات سنتتاز می‌تواند بر انباشت بیشتر مقدار پرولین کمک کند (تورکان ۲۰۱۱). ممنوعی و سید شریفی (۲۰۱۰) افزایش میزان انباشت پرولین در ژنوتیپ‌های متحمل به کم آبی را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس گزارش کردند. در مطالعه‌ی حاضر تحت تنش شدید ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) ارقام حیدری و گاسگوژن به ترتیب با میانگین ۰/۳۹۸ و ۰/۲۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ کمترین میزان پرولین را در بین ارقام گندم نشان دادند. به نظر می‌رسد این ارقام برای حفظ پتانسیل اسمزی از پرولین به میزان کمتری بهره برده باشند و با توجه به اینکه پرولین بیشتر به‌منظور حفظ بقاء گیاه می‌باشد، به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش غلظت داخل سلول و افزایش تحمل گیاه به تنش، موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان پرولین ارقام میهن و سای‌سونز شده است. کاهش محتوای پرولین ممکن است به اثر رقیق‌سازی مربوط باشد زیرا تیمار روی رشد گیاه را افزایش می‌دهد (ویسانی و همکاران ۲۰۱۲).

قندهای محلول: نتایج مقایسه میانگین در جدول ۵ نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی به جز رقم سایسونز در ارقام میهن (۱۰/۰۴ درصد)، حیدری (۴۲/۷۸ درصد) و گاسگوژن (۲۸/۸ درصد) میزان قند محلول افزایش یافت. با محلول‌پاشی نانواکسید روی ۰/۵ گرم بر لیتر در شرایط تنش خشکی ($ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$ و $ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$)، میزان قند محلول در ارقام مورد بررسی افزایش یافت. همچنین در رقم گاسگوژن میزان قند محلول تحت تأثیر تنش شدید و محلول‌پاشی نانواکسید روی ۱ گرم بر لیتر ($ZnO_1 \times D_{35\%}$) ۴۸/۸۸ درصد افزایش نشان داد. در کل رقم میهن، بیشترین قند محلول را با میانگین ۱/۵۰۰ میلی-گرم بر گرم تحت تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید روی ($ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$) به خود اختصاص داد.

در تحقیق حاضر افزایش قندهای محلول سه رقم میهن، حیدری و گاسگوژن در شرایط خشکی احتمالاً به عوامل متعددی از جمله تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز قندهای محلول از مسیرهای غیر فتوسنتزی (بولتن ۲۰۰۹)، افزایش قند

جدول ۵-مقایسه میانگین اثرات سه جانبه تنش خشکی × رقم × محلول‌پاشی میزان قند محلول

ترکیبات تیماری	میانگین			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	۰/۹۵۳۳$^{b-i}$	۰/۸۲۶۲$^{d-k}$	۰/٦۰۰۰^{ijk}	۰/۸۱۰۳$^{e-k}$
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	۰/۵۵۰۲^{k}	۰/۵۷۲۱^{jk}	۱/۱۰۸٦$^{b-f}$	۰/٦۷۳۹$^{h-k}$
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	۰/٦۷۲۱$^{h-k}$	۰/۷۹۰۳$^{f-k}$	۰/٦٤۲۷^{ijk}	۰/۷۷۷٦$^{f-k}$
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۰/۷٤۸۲$^{g-k}$	۱/۰٤۳۹$^{b-g}$	۱/۱٦٦٥$^{a-d}$	۰/۸۸۲۳$^{c-k}$
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۱/۵۰۰۱^{a}	۰/۹۱۹۹$^{c-j}$	۱/۲۹۹۸^{ab}	۱/۰۵٤۳$^{b-g}$
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۰/۹٤۲۹$^{c-i}$	۰/۸۵۳$^{c-k}$	۰/۸۵۰٤$^{c-k}$	۰/۹٤۸۱$^{b-i}$
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۱/۰٤۹۱$^{b-g}$	۱/۱۷۹۷$^{a-d}$	۰/۷۷۲۸$^{f-k}$	۰/۷٤۹۳$^{g-k}$
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۱/۱۸۸۱^{abc}	۰/۸۲۷۲$^{d-k}$	۱/۰۱۰۱$^{b-h}$	۰/۷۷٦۱$^{f-k}$
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	۱/۰٤۷۳$^{b-g}$	۱/۰٦۳۳$^{b-g}$	۱/۱۵۰٦$^{a-e}$	۰/۷۷۲۸$^{f-k}$
LSD	۰/۳۵٤			

$D_{85\%}$، $D_{60\%}$ و $D_{35\%}$ به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، ٦۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه.
ZnO_0، $ZnO_{0.5}$ و ZnO_1 به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید روی و مصرف ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر نانو اکسید روی در مرحله سه برگی.
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

محلول در برگ‌های ارقام مذکور علاوه بر تاثیر محافظتی (مواد حفاظت اسمزی) و خصوصیت اسمزی در جهت افزایش نیروی محرکه‌ی ریشه برای جذب آب به‌عنوان یک سیگنال متابولیکی عمل کرده، بنابراین روی پاسخ فیزیولوژیک و تنظیم متابولیکی نسبت به شرایط تنش تاثیر می‌گذارند و موجب افزایش بیان ژن‌های مربوط به دفاع شده و همچنین طی تنش در گیاه باعث حفظ آماس سلولی و جلوگیری از پلاسمولیز گردد (سیلوریا و همکاران ۲۰۱۰). در این صورت گیاه می‌تواند در شرایط تنش ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در حد مطلوب نگه دارد. مطالعات محسن‌زاده و همکاران (۲۰۰٦) نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی، بر میزان قندهای محلول افزوده می‌شود که همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. با توجه به اینکه عنصر روی در افزایش جذب پتاسیم و باز شدن روزنه نقش داشته، به‌عنوان یک ترکیب آنزیم کربونیک انیدراز یا عاملی در حفظ تمامیت غشا عمل می‌کند (سعید علی اهل و محمود ۲۰۱۰). بنابراین احتمالاً محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ گرم بر لیتر در شرایط تنش خشکی با افزایش جذب پتاسیم که در تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها ضروری است، باعث افزایش میزان قندهای محلول سه رقم میهن، حیدری و سای‌سونز شده است. نتایج مطالعات صالح و مفتون (۲۰۰۸) در رابطه با تیمار روی در گیاه برنج تحت شرایط تنش شوری و نیز ابراهیمیان و بایبردی (۲۰۱۱) نشان داد محلول‌پاشی عنصر روی مقدار کل کربوهیدرات را افزایش داده و موجب افزایش عملکرد دانه می‌گردد.

بر اساس نتایج جدول ٦، اثرات متقابل رقم × نانواکسید روی بر وزن دانه و نیز رقم × تنش خشکی برای وزن دانه، تعداد دانه و تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد. همچنین برهم‌کنش نانواکسید روی × تنش خشکی برای وزن دانه معنی‌دار بود. اثرهای متقابل سه عامل رقم × نانواکسید روی × تنش خشکی بر طول ساقه، طول ریشه و ارتفاع بوته معنی‌دار گردید، اما برای وزن خشک و تر ریشه اثر اصلی تنش خشکی و رقم و فقط برای وزن خشک ریشه محلول‌پاشی با نانو اکسید روی معنی‌دار بود.

جدول ۶-تجزیه واریانس تأثیر تنش خشکی، محلول‌پاشی نانو اکسید روی و رقم برخی اجزای عملکرد گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)								
		تعداد دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن دانه	درصد پروتئین دانه	گلوتن دانه	طول ساقه	طول ریشه	ارتفاع بوته	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه
رقم	۳	۶۳۵۷/۰۷**	۵۱۰/۱۹**	۶/۹۵۵**	۱۷۸/۶۷**	۱۲۲۳/۶**	۳۲۳/۸۱**	۲/۴۴۷**	۳۸۴/۲۵**	۰/۱۲۳**	۰/۹۸۸**
نانو اکسید روی	۲	۱۴۸۶/۵۰**	۱۳۲/۲۰**	۱/۴۶۵**	۰/۰۰۰۹^{ns}	۰/۰۳۱^{ns}	۱۵۵/۱۸**	۳/۸۴۰**	۲۸۸/۰۰**	۰/۰۹۵**	۰/۰۰۸^{ns}
تنش خشکی	۲	۸۷۵۸/۶۷**	۲/۴۲^{ns}	۵/۵۴۷**	۰/۲۲۸^{ns}	۰/۱۵۴^{ns}	۲۰۲/۹۸**	۸/۸۸۱**	۴۱۳/۰۲**	۰/۷۹۴**	۰/۵۰۹*
رقم ×نانو اکسید روی	۶	۵۳۵/۵۳^{ns}	۱۹/۸۶^{ns}	۰/۵۸۴**	۰/۰۰۳۷^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۱۲/۶۶*	۰/۳۳۴^{ns}	۱۲/۸۸^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۱۱۵^{ns}
رقم ×تنش خشکی	۶	۷۴۲/۱۰*	۳۸/۱۱*	۰/۵۳۴*	۰/۱۴۲^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}	۵/۵۵^{ns}	۳/۴۶۸**	۳/۷۶^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۱۱۸^{ns}
نانو اکسید روی ×تنش خشکی	۴	۲۹۹/۶۷^{ns}	۹/۳۹^{ns}	۰/۵۹۲*	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۳۲^{ns}	۴۳/۹۷**	۲/۱۵۹**	۷۹/۸۸**	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}
اثرات متقابل سه‌جانبه	۱۲	۱۵۹/۵۱^{ns}	۱۶/۰۸^{ns}	۰/۱۴۰^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۲۲^{ns}	۱۰/۵۹*	۲/۱۹۵**	۱۷/۴۲*	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۸۸^{ns}
خطا	۷۲	۲۸۸/۱	۱۴/۶۰	۰/۱۷۸	۰/۱۱۰	۰/۶۶۶	۵/۰۵	۰/۵۶۴	۷/۸۶	۰/۰۱۹	۰/۱۴۷
ضریب تغییرات(٪)	-	۴۰/۲	۳۶/۱	۳۴/۱	۱/۷۹	۱/۵۵	۶/۵	۱۱/۱	۶/۰	۲۶/۳	۳۴/۱

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 می‌باشد.

طول ساقه و ریشه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد، محلول‌پاشی نانو اکسید روی با غلظت یک گرم در لیتر در ارقام میهن، حیدری و گاسگوژن اثر مثبتی بر ارتفاع بوته و طول ساقه داشت. نانو اکسید روی اثرهای منفی شدت تنش خشکی را کاست، به‌طوری‌که افزایش سطوح تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع ساقه، بوته و طول ریشه شد. بیش‌ترین و کم‌ترین طول ساقه به ترتیب مربوط به رقم سایسونز (۴۳/۳۳۳ سانتی‌متر) تحت ترکیب تیماری نانو اکسید روی با غلظت یک گرم بر لیتر × تنش خشکی ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه ($D_{35\%}$ × ZnO_1) و رقم گاسکوژن (۲۵/۶۶۷ سانتی‌متر) در خشکی ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه نسبت به شاهد ($D_{85\%}$ × ZnO_0) بود. همچنین بیشترین طول ریشه مربوط به رقم میهن تحت شرایط کنترل ($ZnO_0 \times D_{85\%}$) و کمترین طول ریشه تحت تنش خشکی شدید ($ZnO_0 \times D_{35\%}$) در رقم گاسگوژن مشاهده شد. بالاترین و کم‌ترین ارتفاع بوته به ترتیب در رقم سایسونز تحت شرایط کنترل ($D_{85\%}$ × ZnO_0) با میانگین ۵۷/۰۰ سانتی‌متر و رقم گاسکوژن تحت تنش شدید ($ZnO_1 \times D_{35\%}$) با میانگین ۳۵/۰۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۷). خشکی با کاهش تقسیم و طویل شدن سلول موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌گردد (دواتگر و همکاران ۲۰۱۲). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که نانو اکسید روی رشد ریشه و اندام هوایی نخود را افزایش داد. کاربرد عنصر روی سبب افزایش تولید ایندول استیک اسید و رشد طولی ساقه و افزایش طول میانگره می‌شود.

وزن دانه، تعداد دانه و تعداد دانه در سنبله: نتایج حاصل از مقایسات میانگین نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی وزن دانه، تعداد دانه و تعداد دانه در سنبله کاهش یافت. بیش‌ترین تعداد دانه (۸۲/۳۳ عدد)، وزن دانه (۲/۳۸۲ میلی‌گرم) مربوط به رقم سایسونز در ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و تعداد دانه در سنبله (۱۸/۰۳ عدد) در تنش شدید و کم‌ترین مقدار آن‌ها به ترتیب ۱۸/۷۸ عدد، ۰/۵۱۶ میلی‌گرم مربوط به رقم میهن در تنش شدید (۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) و تعداد دانه در سنبله (۵/۱۸ عدد) تحت تنش ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) به‌دست آمد (شکل ۱). تأثیر تنش خشکی روی تعداد دانه و وزن دانه معنی‌دار بود. تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی و ظهور سنبله گندم باعث کاهش معنی-دار تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (قلی‌پور و همکاران ۲۰۱۶). که احتمالاً می‌تواند یکی از دلایل کاهش عملکرد و اجزای آن تحت شرایط خشکی باشد. سیدشریفی و خلیل‌زاده (۲۰۱۷) گزارش کردند اعمال آبیاری در مرحله گل‌دهی با حفظ گلچه‌های

جدول ۷-مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی × رقم بر طول ساقه، ریشه و بوته

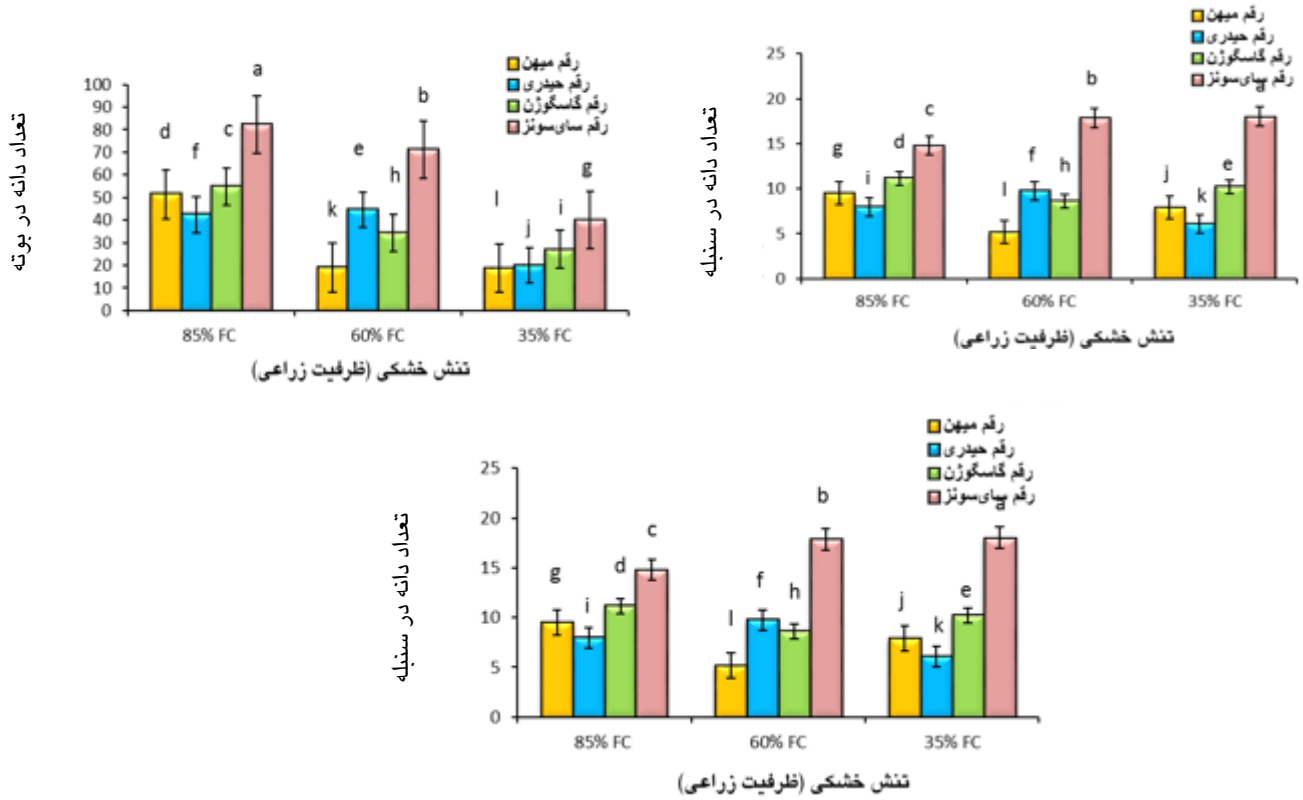
ترکیبات تیماری	میانگین طول ساقه (cm)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	۳۲/۰۰۰ h-l	۳۶/۱۶۷ c-g	۳۵/۰۰۰ d-i	۴۲/۳۳۳ a
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	۳۱/۳۳۳ j-m	۳۲/۸۳۳ g-l	۳۴/۳۳۳ e-k	۳۳/۶۶۷ f-k
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	۳۴/۳۳۳ e-k	۳۸/۶۶۷ bc	۳۵/۳۳۳ c-h	۴۲/۰۰۰ ab
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۲۸/۱۶۷ m-o	۳۷/۰۰۰ c-f	۳۱/۶۶۷ i-m	۳۸/۰۰۰ cd
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۳۱/۳۳۳ j-m	۳۶/۸۳۳ c-f	۳۴/۱۶۷ e-k	۴۱/۶۶۷ ab
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۳۵/۰۰۰ d-i	۳۷/۳۳۳ c-e	۳۵/۸۳۳ c-g	۴۲/۶۶۷ a
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۲۶/۰۰۰ no	۳۰/۰۰۰ lm	۲۵/۶۶۷ o	۳۱/۶۶۷ i-m
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۲۹/۳۳۳ l-n	۳۱/۶۶۷ i-m	۳۱/۰۰۰ k-m	۳۴/۶۶۷ d-j
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	۳۰/۰۰۰ lm	۳۱/۵۰۰ d-k	۳۱/۶۶۷ i-m	۴۳/۳۳۳ a
LSD	۳/۶۶۰			
ترکیبات تیماری	میانگین طول ریشه (cm)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	۹/۰۰۰ a	۷/۶۶۶ b-d	۵/۵۰۰ jk	۹/۰۰۰ a
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	۷/۵۰۰ b-e	۶/۰۰۰ g-k	۵/۵۰۰ jk	۷/۰۰۰ c-h
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	۸/۵۰۰ ab	۷/۱۶۶ c-g	۷/۱۶۶ c-g	۷/۳۳۳ b-f
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۶/۱۶۶ f-k	۶/۱۶۶ f-k	۷/۵۰۰ b-e	۶/۳۳۳ e-k
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۶/۱۶۶ f-k	۶/۸۳۳ c-i	۶/۳۳۳ e-k	۷/۰۰۰ c-h
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۷/۵۰۰ b-e	۶/۸۳۳ c-i	۶/۸۳۳ c-i	۶/۵۰۰ d-k
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۶/۶۶۶ d-j	۶/۰۰۰ g-k	۵/۳۳۳ k	۵/۸۳۳ h-k
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۶/۱۶۶ f-k	۶/۱۶۶ f-k	۶/۶۶۶ d-j	۵/۶۶۶ i-k
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	۵/۵۰۰ jk	۷/۰۰۰ c-h	۶/۵۰۰ d-k	۸/۰۰۰ a-c
LSD	۱/۲۲۳			
ترکیبات تیماری	میانگین ارتفاع بوته (cm)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_{85\%}$	۴۶/۰۰۰ d-h	۴۹/۳۳۳ cd	۴۶/۰۰۰ d-h	۵۷/۰۰۰ a
$ZnO_{0.5} \times D_{85\%}$	۴۴/۰۰۰ f-l	۴۴/۱۶۷ f-k	۴۴/۶۶۷ e-j	۴۶/۳۳۳ d-h
$ZnO_1 \times D_{85\%}$	۴۸/۳۳۳ c-f	۵۲/۱۶۷ bc	۴۷/۸۳۳ c-f	۵۵/۵۰۰ ab
$ZnO_0 \times D_{60\%}$	۴۰/۰۰۰ k-n	۴۷/۰۰۰ d-g	۴۳/۱۶۷ g-m	۴۹/۱۶۷ c-e
$ZnO_{0.5} \times D_{60\%}$	۴۷/۸۳۳ c-f	۴۸/۱۶۷ c-f	۴۵/۳۳۳ d-i	۵۴/۸۳۳ ab
$ZnO_1 \times D_{60\%}$	۴۳/۰۰۰ g-m	۴۹/۸۳۳ cd	۴۸/۳۳۳ c-f	۵۶/۰۰۰ ab
$ZnO_0 \times D_{35\%}$	۳۶/۱۶۷ no	۳۹/۵۰۰ l-o	۳۵/۰۰۰ o	۴۱/۳۳۳ i-m
$ZnO_{0.5} \times D_{35\%}$	۳۹/۳۳۳ m-o	۴۲/۱۶۷ h-m	۴۲/۱۶۷ h-m	۴۴/۶۶۷ e-j
$ZnO_1 \times D_{35\%}$	۴۰/۳۳۳ j-n	۴۶/۶۶۷ d-h	۴۳/۰۰۰ g-m	۵۶/۶۶۷ ab
LSD	۴/۵۶۵			

$D_{85\%}$، $D_{60\%}$ و $D_{35\%}$ به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه.

ZnO_0، $ZnO_{0.5}$ و ZnO_1 به ترتیب عدم مصرف نانو اکسید روی و مصرف ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر نانو اکسید روی در مرحله سه برگی.

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

تولیدی در گیاه موجب افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود. همچنین آبیاری در مرحله پر شدن دانه زمینه را برای تولید و انتقال مواد فتوسنتزی جهت پر کردن دانه‌ها فراهم نموده و از این طریق سبب بهبود وزن دانه می‌گردد. محلول‌پاشی نانو اکسید روی بر وزن دانه ارقام مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. عنصر روی در افزایش تعداد دانه در سنبله، انتقال ماده خشک به دانه و نیز در افزایش وزن دانه و عملکرد مؤثر است (پراساد و همکاران ۲۰۱۲). عبدلی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که مصرف روی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در مراحل ساقه‌دهی و آغاز پر شدن دانه گندم می‌شود. دزفولی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که عنصر روی از طریق اثر بر افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌تواند عملکرد ذرت را افزایش دهد، افزایش غلظت روی به هنگام تنش خشکی به‌حفظ تعادل رطوبتی کمک می‌نماید که این پدیده به‌دلیل کاهش پتانسیل آب در شیره سلولی به‌منظور مقابله با تنش است. تنش ملایم موجب کاهش ۲۱/۶۰ درصد وزن دانه نسبت به شرایط کنترل (۸۵ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) شد. محلول‌پاشی نانو اکسید روی یک گرم بر لیتر موجب افزایش ۵۹/۹۲ درصد، ۲۰۳/۲۲ درصد و ۴۹/۰۵ درصد وزن دانه به ترتیب در ارقام میهن، حیدری و گاسگوژن گردید.

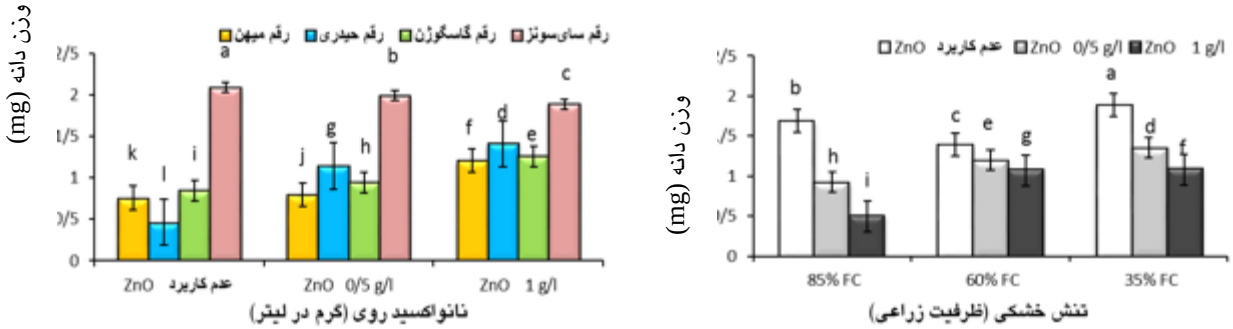


شکل ۱- **برهم‌کنش رقم × تنش خشکی بر وزن دانه، تعداد دانه و تعداد دانه در سنبله گندم**

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

مطابق شکل ۲، وزن دانه در ترکیب تیماری تنش خشکی × نانو اکسید روی نسبت به شاهد افزایش یافت، به‌طوری که در شرایط تنش خشکی شدید با محلول‌پاشی نانواکسید روی ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر به ترتیب وزن دانه

۴۶/۳۷ درصد و ۱۱۶/۱۶ درصد افزایش نشان داد. بیش-ترین و کم‌ترین وزن دانه در سنبله به‌ترتیب به رقم سای-سونز (۲/۰۹۳ میلی‌گرم) و رقم حیدری (۰/۴۶۵ میلی‌گرم) تعلق داشت. گیاه در مواجهه با تنش خشکی و برای جلوگیری از خروج آب، روزنه‌ها را می‌بندد که این موضوع در نهایت باعث کاهش فتوسنتز خالص و کاهش انتقال مواد پرورده برای پر شدن دانه‌ها می‌شود، بنابراین موجب کاهش وزن دانه خواهد شد (عابید و همکاران ۲۰۱۶). کاربرد عنصر روی موجب بهبود تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و تجمع این فرآورده‌ها در دانه شده، در نهایت سبب افزایش وزن دانه و عملکرد می‌گردد (یاسین و همکاران ۲۰۱۷). نتایج بررسی‌های خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که مصرف عنصر روی موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد و اجزای عملکرد گندم می‌گردد.

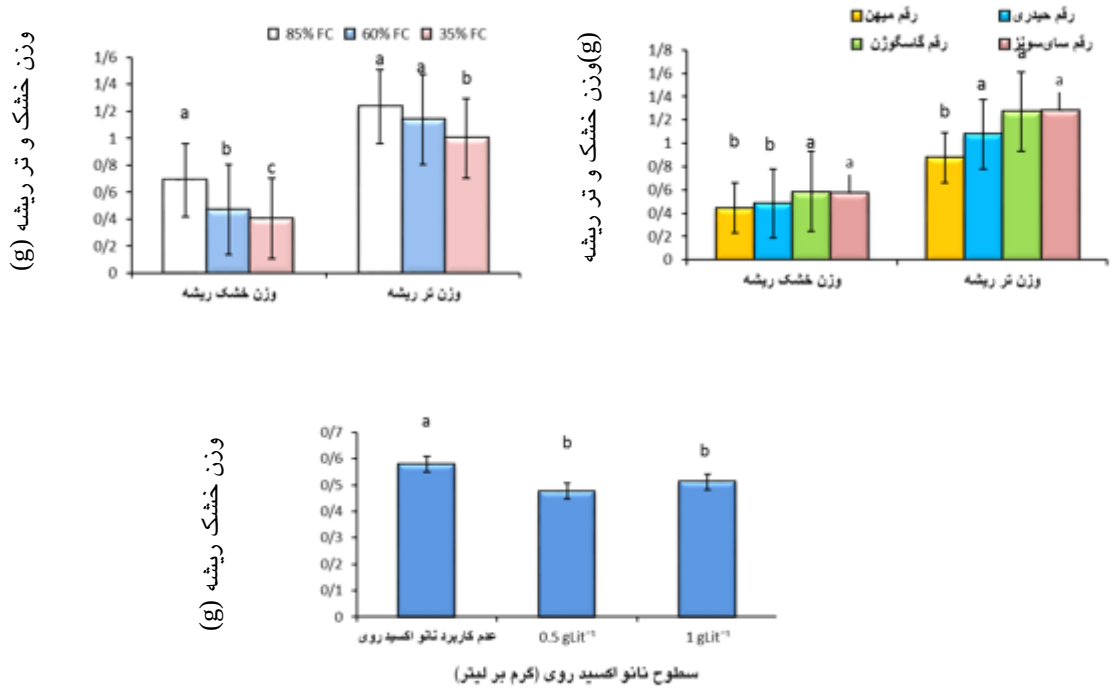


شکل ۲- اثرهای متقابل رقم × محلول‌پاشی و محلول‌پاشی × تنش خشکی بر وزن دانه

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

وزن تر و خشک ریشه: همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود تنش خشکی شدید به ترتیب موجب کاهش ۶۹/۹۵ درصد وزن خشک ریشه و ۲۳/۶ درصد وزن تر ریشه شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با محلول‌پاشی نانواکسید روی، وزن خشک ریشه نسبت به شاهد ۱۳/۰۸ درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین (۰/۵۸۵ گرم) و کم‌ترین مقدار وزن خشک ریشه (۰/۴۴۷ گرم) مربوط به رقم گاسگوژن و میهن و همچنین وزن تر ریشه رقم سای‌سونز ۴۶/۲۳ درصد بیشتر از رقم میهن و رقم گاسگوژن ۱۸/۱۲ درصد بیشتر از رقم حیدری بود. پژوهشگران دریافتند که اعمال نانوذره اکسید روی در گیاهان چاودار و ذرت موجب کاهش رشد ریشه می‌گردد (کومار و همکاران ۲۰۱۱). وقوع کم‌آبی در مرحله رشد رویشی منجر به کاهش رشد ریشه و تراکم آن می‌شود (ماهاجان و همکاران ۲۰۱۱). که احتمالاً می‌تواند یکی از دلایل افزایش وزن خشک ریشه در ارقام گاسگوژن و میهن باشد. از آنجایی‌که تنش موجب کاهش نسبت ریشه به ساقه می‌گردد، محلول‌پاشی با نانو اکسید روی بر ارتفاع اندام هوایی و وزن و حجم ریشه اثر معنی‌داری خواهد داشت. محلول‌پاشی عنصر روی با اثراتی که در ساخته شدن هورمون اکسین دارد موجب افزایش رشد طولی ساقه، وزن تر و خشک ریشه در شرایط تنش می-شود (پراساد و همکاران ۲۰۱۲).

میزان گلوتن و پروتئین دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات متقابل سه جانبه و دو جانبه برای گلوتن مرطوب و پروتئین دانه معنی‌دار نبود (جدول۶). رقم گاسگوژن در تحقیق حاضر از کیفیت دانه بالایی نسبت به سه رقم دیگر برخوردار بود. مطالعات فصاحت و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که در گیاه گندم، تنش خشکی بر صفات کیفی گلوتن مرطوب و میزان پروتئین دانه تأثیر



شکل ۳- اثرهای تنش خشکی و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر وزن خشک و تر ریشه

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

معنی‌داری نداشت که با نتایج بدست آمده این پژوهش مطابقت دارد. عدم معنی‌داری برای ارقام مورد مطالعه تحت تنش احتمالاً به‌دلیل عدم تأثیر تنش کم‌آبی در مراحل اولیه رشد گیاه نسبت به مرحله دانه‌بندی است و نیز عدم تغییر چشمگیر نسبت پروتئین به نشاسته در شرایط تنش می‌باشد. برخلاف نظر بسیاری از محققان به افزایش میزان پروتئین در شرایط تنش (عیوضی و همکاران ۲۰۰۶، پیاری و همکاران ۲۰۰۸)، عدم معنی‌داری و افزایش پروتئین ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش غیر منتظره می‌نماید، اما با توجه به این که در شرایط وقوع تنش در دوره پرشدن دانه، کاهش ذخیره نشاسته در دانه (بدلیل کاهش معنی‌دار فراوانی آنزیم‌های سنتز نشاسته در شرایط تنش) و متعاقب آن بهم خوردن نسبت پروتئین به نشاسته، باعث افزایش میزان پروتئین در واحد حجم می‌شود (گارسیا دل مورال و همکاران ۱۹۹۵). می‌توان اینگونه استدلال کرد بهره‌گیری همزمان ژنوتیپ‌های متحمل از منابع هیدرات‌های کربن ساقه و دانه در هنگام تنش، باعث دسترسی کمتر به ذخایر نشاسته دانه و در نتیجه حفظ نسبت پروتئین به نشاسته شده است. محققان افزایش درصد گلوتن در شرایط تنش را گزارش کرده‌اند (اوزتورک و آیدین ۲۰۰۴). اما در تحقیق حاضر نه تنها درصد گلوتن ژنوتیپ‌های متحمل در شرایط تنش افزایش نیافته بلکه با کاهش جزئی نیز مواجه شده است. که این موضوع با توجه به همبستگی بالای مقدار گلوتن و میزان پروتئین قابل توجیه است. با توجه به مشابهت روند کاهشی کیفیت گلوتن ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی، به نظر می‌رسد که تحمل و یا حساسیت به تنش تاثیر چندانی بر روند نزولی شاخص گلوتن ارقام مختلف در گذر از شرایط بهینه به تنش ندارد، بلکه سایر عوامل محیطی مرتبط با تنش، ممکن است باعث کاهش عمومی شاخص گلوتن شده باشند. اظهار نظر قطعی در مورد روند تغییرات میزان پروتئین و گلوتن مرطوب در تعیین

خواص رئولوژیکی خمیر ارقام مختلف در گذر از شرایط بهینه آبی به تنش خشکی، نیازمند انجام تحقیقات بیشتری است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، تحت تنش خشکی میزان پروتئین کل و همچنین ارتفاع بوته، طول ساقه، طول ریشه، تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و نیز وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت، به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو اکسید روی میزان پروتئین محلول و اسمولیت‌هایی مانند قند محلول و پرولین و نیز برخی صفات مورفولوژی اندازه‌گیری شده نسبت به شاهد افزایش یافت. در شرایط تنش، کاربرد نانو اکسید روی به دلیل نقش مؤثر عنصر روی در فرآیندهای فیزیولوژیک و نیز افزایش توان تولید فتواسیمیلات‌ها در گیاه و تخصیص بیشتر آنها به سنبله در حال تکامل و با تأثیر مثبت بر اجزای عملکرد دانه موجب تخفیف اثرات تنش بر عملکرد می‌گردد. در بین غلظت‌های مورد استفاده از نانواکسید روی، مصرف ۰/۵ گرم بر لیتر تأثیر بیشتری را در تعدیل اثر تنش خشکی بر روی صفات مورد اندازه‌گیری داشت. تفاوت در میزان پروتئین کل، پرولین، قند محلول و برخی از پارامترهای مورفولوژیکی در بین ارقام مورد مطالعه، می‌تواند نتیجه استفاده از سازوکارهای مختلف این ارقام برای مقابله با تنش خشکی باشد و بنابراین سیستم تحمل متفاوتی از خود نشان می‌دهند. البته رقم حیدری در بین ارقام واکنش مناسب¬تری از خود نشان داد که این می¬تواند نشان¬دهنده تأثیر محلول‌پاشی نانواکسید روی در تحمل بیشتر این رقم نسبت به تنش خشکی باشد.

سپاسگزاری: از همکاری و مساعدت اشخاص حقیقی و حقوقی در انجام پژوهش سپاس‌گزاری می‌نمایم.

منابع مورد استفاده

Abid M, Tian Z, Ata-Ul-Karim ST, Liu Y, Cui Y, Zahoor R and Dai T. 2016. Improved tolerance to postanthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. Plant Physiology and Biochemistry, 106(1): 218-227.

Abdoli M, Esfandiari A, Mousavi B, Sadeghzadeh B and Saeedi M. 2015. Effect of internal amount on seed and foliar application of zinc sulfate on yield and storage grains of wheat grains. Journal of Plant Physiology, 28(7): 106-91. (In Persian).

Bradford MM. 1976. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annals of Biochemistry, 72: 248-254.

Bates L, Waldrem R and Teare I. 1973. Rapid determination of free praline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.

Babaei K, Seyed Sharifi R, Pirzad A and Khalilzade 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. (In Persian).

Bolton MD. 2009. Primary metabolism and plant defense fuel for the fire. Molecular Plant Microbe Interactions, 22: 487-497.

Chen C, Wanduragala S, Becker DF and Dickman MB. 2006. Tomato QM-like protein protects Saccharomyces cerevisiae cells against oxidative stress by regulating intracellular proline levels. Applied and Environmental Microbiology, 72: 4001-4006.

Davatgar N, Neishabouri MR, Sepaskhah AR and Soltani A. 2012. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. International Journal of Plant Production, 3: 19-32. (In Persian).

Dolferus R, Powell N, JI X, Ravash R, Edlington J, Oliver S, Van Dongen J and Shiran B. 2013. The physiology of reproductive- stage abiotic stress tolerance in cereals. Pp. 193-216. In: Rout RG and Das BA (eds). Molecular Stress Physiology of Plants. India- Springer.

Dezfuli M, Shokouhfar A, Lak Sh, Alavi Fazel M and Majd M. 2019. The effect of potassium and zinc foliar application time on grain yield, morphological characteristics and amount of elements in corn leaves in low irrigation conditions. Journal of Plant Physiology, 11(44): 91-111. (In Persian).

Ebrahimian E and Bybordi A. 2011. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of sunflower. Journal of Food and Agriculture Environment, 9 (1): 422- 427. (In Persian).

Eivazi A, Abdollahi S, Salekdeh H, Majidi I, Mohamadi A and Pirayeshfar B. 2006. Effect of drought and salinity stress on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. Iranian Journal of Crop Sciences, 7: 252-267. (In Persian).

Fasahat A, Jahnsuz MR, Mehrvar MR, Gorji, M and Majnoonhoseyni, N. 2017. Terminal drought and crop sequence effects on irrigated wheat grain yield and quality under conventional and conservation managed approaches. Iranian Journal of Field Crop Science, 48(2): 431-441. (In Persian).

Gholipour S, Ebadi A and Permon Q. 2016. Effect of drought stress on material remodeling, yield and grain yield components of different wheat bread genotypes. Journal of Plant Physiology, 8(31): 111-128. (In Persian).

Garcia del Moral LF, Bounjenna A, Yanez JA and Ramos JM. 1995. Forrage production, grain yield and protein content in dual-purpose triticale grown for both grain and forage. Agronomy Journal, 87: 902-908.

Hosseinzadeh SR, Salimi A, Ganjeali A and Ahmadpour R. 2014. Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology, 5: 115-132. (In Persian).

Hosseinzadeh SR, Amiri H and Ismaili A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica, 54(1): 87-92. (In Persian).

Hoque MA, Okuma E, Banu MNA, Nakamura Y, Shimoishi Y and Murata Y. 2008. Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenous betaine by increasing antioxidant enzyme activities. Journal of Plant Physiology, 164: 553–61.

Iran-Nejad, H and Shahbaziyan N. 2005. Cereal cultivation. Wheat Karenoo Publications, Tehran, Iran. 272 P. (In Persian).

Joppa LR and Cantrell RG. 1990. Chromosomal location of genes for grain protein content of wild tetraploid wheat. Crop Science, 30: 1059-1064.

Karami S, Modarres-Sanavy M, Ghanehpour S and 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. (In Persian).

Kheirizadeh Arough Y, Seyed Sharifi R, Sedghi M and Barmaki M. 2016. Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. Notulae Botanicae Horticulture Agrobotanici Cluj-Napoca, 44(1): 116-124. (In Persian).

Kumar P, Kositsup B, Baruah S and Dutta J. 2011. Effect of zinc oxide nanoparticle on root of rice (*Oryza sativa* L.). Jouurnal of Environment Biology Science, 21: 172-176.

Korotaeva N, Borovskii GB and Voinikov, VK. 2003. Maize seedlings accumulate Sm HsPs in response to water stress. Field Crop Science, 97: 291-298.

Maassoudifar O and Mohammadkhani MA. 2005. Study of effects plant density on quality characteristics in wheat. Iranian Journal of Biology, 18(1): 69-76. (In Persian).

Mahajan P, Dhhoke SK and Khanna AS. 2011. Effect of nano-zno particle suspension on growth of mung (*Vigna radiate*) and Gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. Journal of Nanotechnology, Pp: 1-7.

Moradi Telavat MR, Roshan F and Siadat SA. 2015. Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences, 17(2): 153-164. (In Persian).

Mamnoei E and Seyed Sharifi R. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. Journal of Plant Biology, 2 (5): 51-62. (In Persian).

Mohsenzade S, Malboobi MA, Razavi K and Farrahi Aschtiani S. 2006. Physiological and molecular responses of *Aeluropus lagopoides* (Poaceas) to water deficit. Environmental and Experimental Botany, 56: 374-322. (In Persian)

Mehrva M. 2015. Comparison of wheat-based sequential cropping systems under conventional and conservation agricultural managements. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Pp: 65-71.

Narimani H, Seyed Sharifi R, Khalilzadeh R and Aminzadeh Gh. 2018. Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. Iranian Journal of Plant Biology, 10(3): 21-40. (In Persian).

Omokolo ND, Tsala NG and Djocgoue PF. 1996. Changes in carbohydrate, amino acid and phenol content in cocoa pods from three clones after infection with Phytophthora megakarya Bra. And Grif. Annul Botany London, 77: 153-158.

Ozturk A and Aydin F. 2004. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Sciences, 190: 93-98.

Prasad TN, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Raja Reddy K, Sreeprasad TS and Sajanlal PR. 2012. Effect of nanoscale zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35: 905-927.

Pierre CS, Petersona J, Rossa A, Ohma J, Verhoevena M, Larsona M and Hoefera B. 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Agronomy Journal, 100: 414-420.

Seyed Sharifi R and Khalilzadeh R. 2017. Cereal crops production. University of Mohagheh Ardabili Press, Ardabil. (In Persian).

Said-Al Ahl HA and Mahmoud AA. 2010. Effect of zinc and / or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. Ozean Journal of Applied Sciences, 3: 97-111.

Saleh J and Maftoun M. 2008. Interactive effects of nacl levels and zinc sources and levels on the growth and mineral composition of rice. Agriculture Science Technology, 10: 325-336. (In Persian).

Silveira JAG, Araujo SAM, Lima JPMS and Viegas RA. 2010. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. Environmental and Experimental Botany, 66: 1-8.

Shojaei H and Makarian H. 2014. The effect of zinc oxide foliar application on nano and non-nano on the mung yield and components yield of mung bean (*Vigna radiata* L) in drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4): 727-737. (In Persian).

Singh G, Sarvanan S, Rajwat KS, Rathore JS and Singh G. 2017. Effect of different micronutrient on plant growth, yield and flower bud quality of broccoli (*Brassica oleracea*). Current Agriculture Research Journal, 5: 108-115.

Turkan I 2011. Plant responses to drought and salinity stress, development in a post genomic era. Advances in Botanical Research, 593p.

Tavakoli Hasanaklou1 H, Ebadi A and Jahanbakhsh S. 2014. Study of some tolerance mechanisms to water dificit stress in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research, 4(1): 13-25. (In Persian).

Weisany W, Sohrabi Y, Heidari GH, Siosemardeh A and Ghassemi-Golezani K. 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean (*Glycine max* L.). Plant Omics Journal, 5: 60-67.

Yasin MU, Zulfiqar U, Ishfaq M, Ali N, Durrani S, Ahmad T and Saeed HS. 2017. Influence of foliar application of zinc on yield of maize (*Zea mays* L.) under water stress at different stages. Journal of Global Innovation in Agricultural and Social Sciences, 5(4): 165-169. (In Persian).