اثر محلول‌پاشی نانواکسیدروی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تنش خشکی

سیده یلدا رئیسی ساداتی[۱]، سدابه جهانبخش گده کهریز[۲*]، علی عبادی[۳] و محمد صدقی[۴]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲) دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳ و ۴) استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
*** نویسنده مسئول: jahanbakhsh@uma.ac.ir**

این مقاله برگرفته از رساله دکتری می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۸**

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نانواکسید روی بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گندم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال ۱۳۹۷ به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح (۳۵ ، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی)، فاکتور دوم ارقام گندم (میهن، حیدری، سای‌سونز و گاسگوژن) و فاکتور سوم شامل محلول‌پاشی با نانواکسید روی در سه سطح (عدم کاربرد نانو اکسید روی، ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) بود. محلول‌پاشی نانواکسید روی در مرحله سه برگی انجام گرفت و سه روز بعد تنش خشکی به‌مدت یک هفته اعمال شد. محلول‌پاشی نانواکسید روی موجب افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل برگ، F_V/F_M، ارتفاع بوته، تعداد سنبله و وزن دانه گردید. تنش خشکی موجب کاهش شاخص کلروفیل (۳/۷۳ درصد)، F_0 (۶۰/۷۹ درصد)، F_v (۱۱/۱۸ درصد)، F_V/F_M (۲/۶۸ درصد)، افت میانگین ارتفاع بوته (۱۵/۹۳ درصد)، وزن خشک کل (۱۶/۲۷ درصد)، وزن خشک ریشه (۴۶/۱۸ درصد) و تر ریشه (۸/۳۲ درصد) و نیز عملکرد دانه (۱۵/۵۹ درصد تعداد دانه و ۱۱/۹۳ درصد وزن دانه) شد. همچنین محلول‌پاشی نانواکسید روی و آبیاری در شرایط کنترل موجب بهبود شاخص کلروفیل (۱۵۱/۰۱ درصد) و میزان فلورسانس فتوسیستم دو در طول فصل رشد (۷۸/۶۲ درصد) و افزایش عملکرد دانه گندم (۳۳۸/۳۹ درصد تعداد دانه و ۳۶۱/۶۲ درصد وزن دانه) در شرایط کم‌آبی گردید. بین ارقام مورد مطالعه بیش‌ترین میزان F_0 (۲۳۳/۵) و F_M (۷۵۶/۴۴) مربوط به رقم میهن و کم‌ترین میزان کلروفیل (۲۰/۹۴۴)، F_0 (۳۴/۰)، F_M (۳۶۲/۲۸) و F_V/F_M (۰/۴۵۸) مربوط به رقم حیدری بود. تحت تنش خشکی، میزان وزن هزار دانه در ارقام حیدری (۱۵۵/۳۵ درصد) و گاسگوژن (۳۲/۶۰ درصد) نسبت به شرایط کنترل کاهش یافت. در بین ارقام، رقم میهن به تنش خشکی متحمل‌تر بود. از نظر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، ژنوتیپ حیدری به‌عنوان برترین ژنوتیپ شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد، کلروفیل و نانواکسید روی.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

مقدمه

مساحت ایران به‌طور عمده در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و هر ساله در نتیجه بروز تنش خشکی، عملکرد گندم کاهش چشمگیری می‌یابد (Azarakhshi *et al*., 2013). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی محدود کننده عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Lum *et al*., 2014). خشکی به‌عنوان یک تنش چند بعدی، اثرهای متنوعی روی گیاهان دارد و بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیک و فرآیندهای فیزیولوژیک مرتبط با رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تنش باعث تولید اکسیژن فعال، آسیب به غشای سلولی، بازدارندگی انتقال الکترون، تخریب ساختار کلروپلاست‌ها، کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاهش عملکرد فتوسیستم II و در نهایت فتوسنتز می‌گردد. یکی از روش‌های تعیین فعالیت سیستم فتوسنتزی و میزان آسیب وارده به آن تحت تنش‌های محیطی از جمله کم‌آبی، سنجش فلورسانس کلروفیل است. مقدار فلورسانس کلروفیل، سالم بودن غشای تیلاکوئید و کارآمدی نسبی انتقال الکترون را از فتوسیستم II به فتوسیستم I نشان می‌دهد (Hosseinzadeh *et al*., 2016). واکنش گیاه گندم به تنش کم‌آبی ساز و کار پیچیده‌ای دارد که شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به کل فعالیت‌های متابولیسمی و اثرگذاری آن بر مورفولوژی و فنولوژی گیاه می‌باشد (Hosseinzadeh *et al*., 2014). برای انجام فعالیت‌های طبیعی فیزیولوژیک گیاهان، عناصر کم مصرف به اندازه عناصر پر مصرف اهمیت دارند (Singh *et al*., 2017). 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 غشا، ایجاد سیستم دفاعی سلول در برابر گونه‌های اکسیژن فعال در گیاهان و تولید محصول 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، به‌طوری که 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 رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید به سلول خسارت وارد می‌کند (Baybordi and Mamedov, 2010). هنگامی‌که گیاه با تنش مواجه می‌گردد رادیکال‌های آزاد سنتز شده موجب سمیت در گیاه و مرگ سلول می‌شوند. عنصر روی به همراه آهن به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، موجب افزایش این آنزیم‌ها شده و نقش مهمی در تعدیل رادیکال‌های آزاد و آثار تخریبی آن‌ها در سیستم‌های غشایی دارند که تحمل گیاهان را به تنش خشکی افزایش می‌دهند (Narimani *et al*., 2018). محلول‌پاشی روی در شرایط وقوع تنش می‌تواند فرآیندهای فتوسنتزی و انباشت کربوهیدرات‌ها را بهبود بخشیده و اثرهای منفی تنش را کاهش دهد (شجاعی و

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

مکاریان، ۱۳۹۳). هر چند عنصر روی به‌طور مستقیم بر تشکیل کلروفیل موثر نیست، اما بر غلظت عناصر غذایی درگیر در تشکیل کلروفیل یا عناصری مانند آهن و منیزیم موثر است که قسمتی از مولکول کلروفیل محسوب می‌شوند (Kaya and Higgs, 2002). عملکرد دانه در غلات به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی در واکنش به اجزای آن از جمله تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و صفات مرتبط با آن‌ها قرار می‌گیرد. اجزای عملکرد گندم به شیوه متفاوتی بسته به نوع رقم و مرحله فنولوژی گیاه که با تنش گرما و خشکی روبرو می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Abid *et al*., 2016). پیش‌بینی می‌شود که تنش خشکی باعث کاهش ۳۰ درصدی عملکرد گیاهان زراعی در طی ۲۰ سال آینده و کاهش ۵۰ درصدی تا سال ۲۰۵۰ شود. واکنش گیاهان به تنش خشکی به‌شدت و طول دوره تنش، گونه گیاهی و مرحله رشد بستگی دارد (Wang *et al*., 2016). به‌منظور تأمین نیازهای تغذیه‌ای انسان، اصلاح گیاهان زراعی در جهت افزایش تحمل در برابر تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه خشکی اهمیت فراوانی دارد. برای تأمین نیاز غذایی گیاهان زراعی، محلول‌پاشی مؤثرترین روش برای جذب و تکمیل مصرف عناصر کم تحرک در خاک مانند روی و آهن می‌باشد (Karami *et al*., 2016). مطالعه‌های پژوهشگران نشان داده است که محلول‌پاشی اکسید روی و نانواکسید آهن و روی موجب کاهش اثر منفی تنش خشکی و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با محلول‌پاشی این کود به فرم معمول می‌شوند (Babaei *et al*., 2017). کمبود روی و آهن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خاک‌های آهکی، شنی و فرسایش یافته شیوع بیشتری دارد. 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 (Moradi Telavat *et al*., 2015). از جمله ویژگی‌های جالب توجه نانو مواد، سبک و کوچک بودن، استفاده در مقادیر کم و صرفه-جویی در میزان مواد مصرفی است. با توجه به قطر نانوذرات، انتظار می‌رود سرعت جذب، انتقال و انباشت ذرات نانو بیش از ذرات معمول باشد و بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه می‌کند (Monica and Cremonini, 2009). 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. مواجه شدن گیاه گندم با به هم خوردن تعادل عناصر غذایی در دوران محدودیت آبی، اهمیت محلول‌پاشی روی به‌صورت نانو ذرات در تعدیل بخشی از اثرهای خشکی و بررسی برهم‌کنش آن‌ها، موجب شد که در این پژوهش اثر محلول‌پاشی نانواکسید روی بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیک، صفات مرفولوژیک و نیز عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان دیدگاه عمیق‌تری نسبت به مکانیسم‌های فعال در ارقام گندم کسب کرد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانواکسید روی و تنش خشکی در گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح (۳۵، ۶۰ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی)، فاکتور دوم ارقام گندم نان (میهن، حیدری، سای‌سونز و گاسگوژن) و فاکتور سوم شامل محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در سه سطح (عدم کاربرد نانو اکسید روی، ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) بود. محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در مرحله سه برگی اعمال شده و سه روز بعد از محلول‌پاشی، برای اعمال تنش خشکی پس از تعیین وزن خشک خاک در سه گلدان آزمایشی به آرامی و تا حد اشباع به آن آب اضافه شد و پس از خارج شدن کامل آب ثقلی، گلدان توزین شد. در نهایت پس از کسر وزن گلدان و خاک خشک مقدار آب نگهداری شده در ظرفیت مزرعه‌ای تعیین شد و به‌مدت ۱۰ روز بر اساس ظرفیت زراعی به گلدان‌ها اعمال گردید (Hosseinzadeh *et al*., 2016). سپس از نمونه‌های شاهد و تیمارها نمونه‌برداری انجام شد. مشخصات خاک محل آزمایش و نانو اکسید روی مورد استفاده در این پژوهش، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و نانو ذره مورد استفاده

اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بافت خاک
۶/۴۸	۲/۴	۱/۶۸	۱۹/۸	۲۱۲	۰/۲۸	لومی- شنی
رنگ نانوذره	**چگالی ظاهری (گرم بر مترمکعب)**	**وزن (گرم)**	**خلوص (درصد)**	**سطح ویژه (متر مربع بر گرم)**	**اندازه نانو ذره (نانومتر)**	**نوع نانو ذره**
سفید پودری	۰/۲۸ تا ۰/۴۸	۱۰۰	۹۹	≥۳۰	≤۳۰	اکسید روی

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی

میزان کلروفیل برگ با استفاده از روش Arnon (۱۹۶۷) سنجش شد و بر اساس رابطه‌های ۱، ۲ و ۳ برای هر تیمار میزان کلروفیل a، b و کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد:

رابطه ۱: $Chla=12.25A663.2-2.798A646.8$

رابطه ۲: $Chlb=21.5A646\8-5.1A663\2$

رابطه ۳: $ChlT=Chla+Chlb$

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

تحت شرایط گلخانه‌ای پس از اعمال تیمار نانواکسید روی و تنش خشکی، هر چهار روز یک بار از هر تیمار به‌طور تصادفی ۳ برگ کاملاً توسعه یافته انتهایی گیاه (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط گیره‌های مخصوص، ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_O (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_M (میزان فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی)، F_V (فلورساس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی که برابر تفاوت بیش‌ترین و کم‌ترین حد فلورسانس می‌باشد)، F_V/F_M میزان عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت اُپتی‌ساینس، آمریکا) و شاخص کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر (اسپاد-۵۰۲، شرکت کونیکا مینالتا، ژاپن) قبل و بعد از اعمال تیمار نانواکسید روی و تنش خشکی در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و اجزای عملکرد بعد از رسیدگی گندم‌ها به‌صورت کامل کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری برخی صفات مرفولوژیکی

صفات مرفولوژیک از جمله ارتفاع بوته، طول سنبله، طول ریشه، وزن خشک و تر ریشه، حجم ریشه، تعداد سنبله، وزن سنبله، تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، وزن هزار دانه شش 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 ۴۸ ساعت درون آون و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس با ترازوی دیجیتال وزن شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش سه عامل رقم × نانواکسید روی × تنش خشکی بر صفات شاخص کلروفیل در مرحله سه‌برگی و فلورسانس حداقل در سطح احتمال ۵ درصد و عملکرد کوآنتومی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی × نانواکسید روی و رقم × تنش خشکی در سطح احتمال ۱ درصد برای فلورسانس متغیر معنی‌دار بود. برهم‌کنش رقم × نانو اکسید روی فقط در فلورسانس حداقل اثر معنی‌دار داشت (جدول ۲).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

جدول۲: تجزیه واریانس صفات شاخص کلروفیل، فلورسانس حداقل، متغیر، حداکثر و عملکرد کوآنتومی و برخی رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت سطوح مختلف نانواکسید روی و تنش خشکی در گندم

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص کلروفیل قبل تنش	شاخص کلروفیل بعد تنش	فلورسانس حداقل	فلورسانس متغیر	فلورسانس حداکثر	عملکرد کوآنتومی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
رقم	۳	۱۶۳/۶۶*	۲۴۲/۴۳۷*	۳۲۴۸/۴۷**	۶۳۸۶/۹۶*	۷۳۳۸۶۸/۵**	۰/۰۶۰۰۳**	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۰۳۲*	۰/۰۰۲۷^{ns}	۱۶۱۶/۵**
نانو اکسید روی	۲	۴۷/۴۵^{ns}	۲۹/۰۹۵^{ns}	۳۷۰۹/۳۱^{ns}	۲۶۱۷/۷۵^{ns}	۶۰۹۹۶/۸^{ns}	۰/۰۰۳۴۶^{ns}	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۲۵^{ns}	۰/۰۰۳۰^{ns}	۹۵۵/۹^{ns}
تنش خشکی	۲	۲۸۶/۳۰**	۲۵۶/۹۶۷*	۱۰۲۰/۸۱^{ns}	۱۹۰۳/۵۶^{ns}	۲۰۰۹۵/۵^{ns}	۰/۰۲۷۹۴*	۰/۰۶۵**	۰/۰۰۸۵**	۰/۰۰۸۲**	۳۱۳۴/۱**
رقم × نانو اکسید روی	۶	۴۳/۳۲^{ns}	۷۱/۶۵۸^{ns}	۴۰۰۸/۲۰*	۳۹۹۵/۹۴^{ns}	۶۹۹۲۴/۷^{ns}	۰/۰۰۳۶۰^{ns}	۰/۰۳۵**	۰/۰۰۳۸**	۰/۰۰۳۷**	۱۹۱۸/۲**
رقم × تنش خشکی	۶	۵۱/۳۴^{ns}	۱۲۱/۰۹۸^{ns}	۱۳۶۸/۸۶^{ns}	۵۰۳۴/۰۹*	۵۳۳۱۵/۸^{ns}	۰/۰۰۸۴۰^{ns}	۰/۰۱۹**	۰/۰۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۹۶۱/۲*
نانو اکسید روی × تنش خشکی	۴	۱۴۵/۱۰*	۸۶/۱۰۵^{ns}	۱۵۷۳/۰۹^{ns}	۶۵۲۱/۴۶**	۲۸۱۳۵/۳^{ns}	۰/۰۲۱۳۵*	۰/۰۲۰*	۰/۰۰۵۱**	۰/۰۰۴۶**	۲۴۵۹/۹**
اثرهای سه جانبه	۱۲	۱۱۱/۷۹*	۴۶/۱۸۵^{ns}	۳۷۷۲/۵۶*	۳۶۴۰/۱۶^{ns}	۵۳۰۱۰/۳^{ns}	۰/۰۱۸۷۷**	۰/۰۲۷**	۰/۰۰۲۷**	۰/۰۰۲۷**	۱۵۶۴/۴**
خطا	۷۰	۵۹/۶۳	۷۲/۱۱	۱۷۳۹/۷	۲۰۲۴/۷	۴۱۸۸۳/۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۹	۳۵۷/۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۲۹/۱	۳۳/۴	۲۹/۳	۲۶/۱	۳۴/۸	۱۱/۹	۲۱/۴	۴۴/۸	۴۳/۶	۲۲/۱

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

محتوای کلروفیل برگ

نتایج نشان داد که تحت تنش خشکی محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنویید در دو رقم گاسگوژن و سای‌سونز کاهش یافت. بیش‌ترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنویید به رقم میهن تحت تنش ملایم و کم‌ترین میزان این رنگیزه‌ها به رقم سای‌سونز تحت تنش شدید تعلق داشت. تحت تنش خشکی دستگاه فتوسنتزی آسیب دیده، فتوسنتز مختل و رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابند (Waseem *et al*., 2011). عنصر روی با دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی عناصر، نقش کلیدی در بیوسنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی از جمله کلروفیل و کاروتنویید دارد. در نتیجه، این عنصر برای دستگاه سیستم فتوسنتزی گیاه مطلوب است (Hafeez *et al*., 2013). در پژوهش حاضر محلول‌پاشی نانو اکسید روی در شرایط تنش خشکی موجب افزایش میزان رنگدانه‌ها در ارقام گاسگوژن و سای‌سونز نسبت به شرایط کنترل گردید. این موضوع با یافته‌های Idrees و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، شاخص کلروفیل برگ فقط در رقم سایسونز کاهش یافت. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل برگ (بر حسب اسپاد) به‌ترتیب مربوط به رقم گاسگوژن تحت محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و رقم حیدری تحت تنش خشکی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانواکسید روی در شرایط بدون تنش (خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی) موجب افزایش ۱۵۱/۰۱ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش خشکی ملایم (۶۰ درصد زراعی) شد. بنابراین، در اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی تحت شرایط تنش خشکی روند تغییرات شاخص کلروفیل نوسان بیشتری نشان داد، به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ در غلظت یک گرم بر لیتر نانواکسید روی مشاهده شد. طبق نظر Lindquist و همکاران (۲۰۰۵) گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند، دوام برگ بیشتری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش می‌یابد (جدول ۳). محتوای کلروفیل در مراحل ابتدایی نمونه‌برداری زیاد بود، با افزایش شدت تنش خشکی و با نزدیک شدن به مرحله انتهایی رسیدگی فیزیولوژیکی گندم میزان کلروفیل روند نزولی داشت. تنش خشکی موجب افزایش ۲۳/۴۵ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شرایط کنترل شد. حداکثر شاخص کلروفیل برگ (۲۷/۴۹) مربوط به رقم گاسگوژن و حداقل آن (۲۰/۹۴) مربوط به رقم حیدری بود (جدول ۴). از عوامل کاهش کلروفیل در شرایط تنش خشکی، محدودیت پیش ماده گلوتامات در بیوسنتز کلروفیل به‌دلیل رقابت آنزیم گلوتامیل کیناز[1] و آنزیم گلوتامات لیگاز[2]، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز می‌باشد (Hafeez

1- Gulutamin kinas

2- Gulutamin ligase

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

et al., 2013). عنصر روی برای سنتز پیش ماده تولید کلروفیل لازم می‌باشد. بنابراین در حضور روی، تشکیل کلروفیل تسهیل می‌گردد (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010). احتمالاً در ارقام میهن و حیدری به‌دلیل افزایش بیوسنتز اکسین در حضور روی، غلظت کلروفیل افزایش یافته است. Weisany و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که روی موجب افزایش معنی‌دار پارامترهای فتوسنتزی و محتوای کلروفیل می‌شود. همچنین همبستگی مثبتی بین غلظت روی و محتوای کلروفیل برگ در گیاهان وجود دارد (Zarrouk *et al*., 2005). به این منظور تغذیه مناسب گیاهی با روی در بالا بردن سطح تحمل گیاهان در مقابل انواع تنش‌ها نقش به‌سزایی دارد. کاهش کلروفیل در رقم سای‌سونز تحت تنش، احتمالاً می‌تواند به‌دلیل افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد، زیرا جذب انرژی مازاد توسط دستگاه فتوسنتزی، اغلب تولید گونه‌های فعال اکسیژن را تحریک می‌کند که این وضعیت با تخریب رنگیزه‌های جذب کننده نور تا حدودی قابل کنترل است (Hadi *et al*., 2017). پایداری کلروفیل شاخصی از مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی است و محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌باشد.

جدول۳: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی بر شاخص کلروفیل قبل تنش (اسپاد)

ترکیبات تیماری	میانگین			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_1$	۲۰/۳۳۳ e-i	۱۷/۷۰۰ hi	۲۶/۴۶۷ b-i	۲۵/۰۰۰ b-i
$ZnO_1 \times D_1$	۲۱/۳۶۷ d-i	۱۹/۲۰۰ g-i	۲۰/۰۶۷ f-i	۱۹/۷۰۰ g-i
$ZnO_2 \times D_1$	۲۹/۷۳۳ a-h	۱۸/۹۶۷ hi	۴۱/۱۶۷ a	۲۱/۵۰۰ c-i
$ZnO_0 \times D_2$	۲۴/۹۳۳ b-i	۱۶/۴۰۰ i	۲۹/۱۰۰ a-h	۲۴/۱۰۰ b-i
$ZnO_1 \times D_2$	۳۲/۴۳۳ a-f	۳۱/۷۶۷ a-g	۳۳/۴۶۷ a-d	۱۷/۹۶۷ hi
$ZnO_2 \times D_2$	۲۱/۱۳۳ d-i	۲۸/۴۶۷ b-i	۳۰/۱۶۷ a-h	۳۳/۶۰۰ a-d
$ZnO_0 \times D_3$	۲۹/۷۳۳ a-h	۳۰/۲۶۷ a-h	۳۵/۷۶۷ ab	۲۴/۳۶۷ b-i
$ZnO_1 \times D_3$	۲۴/۹۳۳ b-i	۳۲/۷۰۰ a-e	۲۹/۳۳۳ a-h	۳۴/۰۳۳ a-c
$ZnO_2 \times D_3$	۲۶/۰۳۳ b-i	۲۸/۶۰۰ a-i	۲۵/۶۶۷ b-i	۲۶/۶۶۷ b-i
LSD	۱۲/۵۷۶			

D_1، D_2 و D_3 به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی
ZnO_0، ZnO_1 و ZnO_2 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.

فلورسانس حداقل (Fo)

فلورسانس کلروفیل روش سریع و غیر تخریبی برای تخمین عملکرد فتوسنتز در گیاهان تحت تنش خشکی است (Baker and Rosenqvist, 2004). مقدار فلورسانس حداقل تحت شرایط خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بوده،

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

به‌طوری‌که در دو رقم میهن و حیدری کاهش و در ارقام گاسگوژن و سای‌سونز نسبت به شاهد افزایش نشان داد. ترکیب تیماری تنش × محلول‌پاشی نانو اکسید روی، مقدار فلورسانس حداقل را کاهش داد. محلول‌پاشی نانواکسید روی توانسته است تا حدودی موجب تعدیل اثر تنش خشکی گردد و به نحو مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کند (جدول ۵). کاربرد برگی عنصر روی موجب افزایش غلظت کلروفیل برگ و کارتنوئیدها در غلات می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین Narimani و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که تنش کم‌آبی در گندم موجب افزایش فلورسانس حداقل می‌شود. که با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، در رابطه با افزایش فلورسانس حداقل در ارقام گاسگوژن و سای‌سونز تحت تنش خشکی مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش محلول‌پاشی با نانو اکسید روی در شرایط تنش موجب کاهش میزان فلورسانس حداقل در ارقام میهن و حیدری شد، به‌عبارتی می‌توان چنین استنباط نمود که دو رقم مذکور در شرایط تنش خشکی، تغییراتی در ویژگی فیزیولوژیکی خود ایجاد کردند تا در برابر تنش، واکنش مناسبی نشان داده و موجب کاهش آسیب گردند.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثرهای اصلی ارقام گندم و سطوح تنش خشکی بر شاخص کلروفیل مرحله بعد تنش (اسپاد)

ارقام گندم	میانگین	سطوح تنش خشکی	میانگین
میهن	۲۶/۸۵۹ a	۸۵ درصد ظرفیت زراعی	۲۲/۴۷۸ b
حیدری	۲۰/۹۴۴ b	۶۰ درصد ظرفیت زراعی	۲۵/۸۶۷ ab
گاسگوژن	۲۷/۴۹۳ a	۳۵ درصد ظرفیت زراعی	۲۷/۷۵۰ a
سای‌سونز	۲۶/۱۶۳ a		
LSD	۴/۶۰۹۷	LSD -	۳/۹۹۲۱

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

فلورسانس حداکثر (F_m)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف معنی‌داری در مقدار فلورسانس حداکثر بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی وجود داشت (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین داده‌های این آزمایش در مورد فلورسانس حداکثر نشان داد در بین ارقام مورد بررسی میزان فلورسانس حداکثر در رقم میهن، ۱۰۸/۷۹ درصد بیشتر از رقم حیدری، ۱۹/۴۰ درصد بیشتر از رقم گاسکوژن و ۲۶/۰۵ درصد بیشتر از رقم سای‌سونز بود (جدول ۶). کاهش فلورسانس حداکثر در رقم حیدری احتمالاً می‌تواند به‌علت کاهش واکنش‌های فتوشیمیایی در این رقم باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار فلورسانس حداکثر در رقم میهن به‌دلیل افزایش واکنش‌های فتوشیمیایی، شرایط فتوسنتزی مطلوب گیاه که ناشی از حفظ و افزایش کلروفیل برگ‌ها می‌باشد، موجب بهبود وضعیت فلورسانس کلروفیل شده است (Chen *et al.*, 2005). بنابراین رقم میهن از عملکرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.3.5]

فتوسنتزی بالاتری نسبت به رقم حیدری تحت تنش خشکی برخوردار است. Taghipour و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند تنش خشکی موجب کاهش فلوسانس حداکثر در گندم می‌گردد که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با رقم حیدری مطابقت دارد. هم‌چنین دادخواه و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که در گیاه نخود تحت شرایط کنترل شده مقدار فلوسانس حداکثر بیش‌تری نسبت به شرایط کم‌آبی وجود داشت.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی در شاخص فلورسانس حداقل

ترکیبات تیماری	میانگین			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_1$	۲۳۳/۵ a	۱۰۱/۰ c	۱۵۷/۰ n	۱۴۱/۵ s
$ZnO_1 \times D_1$	۱۴۵/۵ q	۱۳۸/۵ t	۱۱۸/۰ a	۱۳۰/۵ x
$ZnO_2 \times D_1$	۱۸۲/۵ g	۴۸/۰ f	۱۲۲/۰ y	۱۳۱/۰ w
$ZnO_0 \times D_2$	۱۸۴/۵ e	۱۴۶/۰ p	۱۹۴/۰ c	۸۸/۰ d
$ZnO_1 \times D_2$	۱۷۸/۵ h	۱۶۲/۰ j	۱۳۵/۰ u	۱۵۹/۰ k
$ZnO_2 \times D_2$	۱۹۳/۰ d	۳۴/۰ g	۱۶۹/۵ i	۱۳۲/۰ v
$ZnO_0 \times D_3$	۱۵۸/۵ l	۸۸/۰ d	۱۸۳/۵ f	۱۴۸/۰ o
$ZnO_1 \times D_3$	۱۶۹/۵ i	۶۴/۰ e	۱۵۹/۰ k	۱۵۷/۵ m
$ZnO_2 \times D_3$	۱۹۷/۰ b	۱۱۹/۵ z	۱۴۲/۵ r	۱۰۹/۵ b0

D_1، D_2 و D_3 به ترتیب تنش خشکی ۸۵ درصد ظرفیت زراعی، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی
ZnO_0، ZnO_1 و ZnO_2 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.

جدول ۶: مقایسه میانگین تغییرات فلورسانس حداکثر چهار رقم گندم

ارقام گندم	میانگین
میهن	۷۵۶/۴۴ a
حیدری	۳۶۲/۲۸ c
گاسگوژن	۶۳۳/۵۰ b
سای‌سونز	۶۰۰/۱۱ b
LSD	۱۱۱/۰۹

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

فلورسانس متغیر (F_v)

محلول‌پاشی ۰/۵ گرم بر لیتر نانو اکسید روی در شرایط تنش خشکی میزان فلورسانس متغیر را افزایش داد، در حالی‌که با تغذیه برگی یک گرم بر لیتر نانواکسید روی مقدار آن کاهش یافت. تنش خشکی موجب کاهش فلورسانس متغیر در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

ارقام میهن و حیدری نسبت به شاهد شد. مقدار فلورسانس متغیر در رقم میهن تحت تنش ملایم ۶۶/۹۳ درصد بیشتر از رقم حیدری در شرایط تنش شدید بود (جدول ۷). تنش‌های محیطی مقدار فلورسانس متغیر را به‌علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند. دادخواه و همکاران (۱۳۹۳) دریافتند در شرایط تنش خشکی مقدار فلورسانس متغیر در نخود کاهش یافت که با نتایج به دست آمده در این تحقیق در ارقام میهن و حیدری مطابقت دارد. Narimani و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که محلول‌پاشی ۰/۹ گرم نانواکسید آهن و تنش خشکی موجب افزایش فلورسانس متغیر در گندم می‌شود که با نتایج به‌دست آمده در رابطه با افزایش فلورسانس متغیر تحت ترکیب تیماری محلول‌پاشی نانو اکسید روی و تنش خشکی در تحقیق حاضر مطابقت داشت.

جدول ۷: مقایسه میانگین ترکیب تیماری نانو اکسید روی × تنش خشکی و رقم × تنش خشکی بر فلورسانس متغیر

رقم × تنش خشکی	۸۵ درصد ظرفیت زراعی	۶۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۵ درصد ظرفیت زراعی
میهن	۱۹۱/۱۶۷ bc	۲۰۷/۸۳۳ a	۱۸۰/۶۶۷ c
حیدری	۱۹۲/۵۰۰ b	۱۸۶/۱۶۷ bc	۱۲۴/۵۰۰ f
گاسگوژن	۱۵۷/۸۳۳ d	۱۶۷/۸۳۳ d	۱۸۴/۱۶۷ bc
سای‌سونز	۱۶۰/۶۶۷ d	۱۴۴/۵۰۰ e	۱۶۴/۶۶۷ d
LSD		۱۰/۷۱۵	
نانو اکسید روی × تنش خشکی	**۸۵ درصد ظرفیت زراعی**	**۶۰ درصد ظرفیت زراعی**	**۳۵ درصد ظرفیت زراعی**
۰ یا بدون نانو اکسید روی	۱۸۹/۳۷۵ ab	۱۶۲/۸۷۵ c	۱۹۲/۱۲۵ a
نانو اکسید روی ۰/۵ گرم بر لیتر	۱۵۳/۰۰۰ d	۱۸۰/۷۵۰ b	۱۶۱/۶۲۵ cd
نانو اکسید روی ۱ گرم بر لیتر	۱۸۴/۲۵۰ ab	۱۸۶/۱۲۵ ab	۱۳۶/۷۵۰ e
LSD		۹/۲۷۹	

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

عملکرد کوآنتومی (Fv/Fm)

در این تحقیق مقدار عملکرد کوآنتومی در رقم حیدری ۷۸/۶۲ درصد نسبت به رقم سای‌سونز تحت تنش خشکی کاهش یافت. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد محلول‌پاشی نانو اکسید روی موجب افزایش مقدار عملکرد کوآنتومی در دو رقم گاسگوژن و سای‌سونز شد. عملکرد فتوسیستم II در ارقام میهن و حیدری تحت ترکیب تیماری محلول‌پاشی یک گرم بر لیتر نانواکسید روی و تنش شدید نسبت به شاهد افزایش یافت. مقدار عملکرد فتوسیستم II در رقم سایسونز با تغذیه برگی یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی و شرایط عدم تنش ۷۸/۶۲ درصد بیشتر از رقم حیدری با محلول‌پاشی ۰/۵ گرم بر لیتر نانو اکسید روی در تنش شدید بود (جدول ۸). از مهم‌ترین ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

که در تشخیص مدت تنش‌های محیطی کاربرد دارد، کارایی فتوسیستم II می‌باشد که از طریق عملکرد کوآنتومی سنجش می‌شود (Rahbarian *et al*., 2012). هرچه فلورسانس کلروفیل کمتر باشد، ژنوتیپ‌ها مقاومت بیشتری به تنش نشان می‌دهند، زیرا از نور دریافتی خورشید حداکثر استفاده را نموده و کمتر آن را بازتابانده و هدر می‌دهند. عملکرد فتوسیستم II در بین این ارقام متفاوت می‌باشد. Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که تحت تنش خشکی یا دمای زیاد، کاهش نسبت عملکرد کوآنتومی شاخص بسیار مناسبی جهت ارزیابی بازدارندگی نوری در گیاهان است. Rahbarian و همکاران (۲۰۱۲) دریافتند که با افزایش سطوح خشکی نسبت عملکرد کوآنتومی کم‌ترین میزان را نسبت به شرایط بدون تنش داشت که علت آن را تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II تحت اثر خشکی بیان کردند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش عملکرد کوآنتومی تحت خشکی شدید مطابقت داشت.

جدول ۸: مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی × رقم بر عملکرد کوآنتومی

ترکیبات تیماری	میانگین			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_1$	۰/۷۵۶۰ p	۰/۷۴۵۰ v	۰/۷۵۵۰ q	۰/۸۰۴۰ c
$ZnO_1 \times D_1$	۰/۷۴۲۵ w	۰/۷۰۲۵ a	۰/۷۷۸۰ f	۰/۸۱۶۰ b
$ZnO_2 \times D_1$	۰/۷۴۸۵ t	۰/۷۱۳۰ z	۰/۷۷۵۵ g	۰/۸۱۹۰ a
$ZnO_0 \times D_2$	۰/۷۶۴۰ j	۰/۶۶۰۰ d	۰/۷۵۱۰ r	۰/۷۸۳۰ d
$ZnO_1 \times D_2$	۰/۷۵۸۵ n	۰/۷۶۸۰ i	۰/۷۷۵۵ g	۰/۷۴۹۰ s
$ZnO_2 \times D_2$	۰/۷۵۹۵ l	۰/۴۷۲۵ g	۰/۷۳۹۵ x	۰/۶۶۱۵ c
$ZnO_0 \times D_3$	۰/۷۲۹۵ y	۰/۶۴۹۵ f	۰/۷۷۳۰ h	۰/۶۹۸۰ b
$ZnO_1 \times D_3$	۰/۷۵۷۰ o	۰/۴۵۸۵ h	۰/۷۴۷۵ u	۰/۷۶۰۵ k
$ZnO_2 \times D_3$	۰/۷۵۹۰ m	۰/۷۷۹۰ e	۰/۷۵۸۵ n	۰/۶۵۷۰ e

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

برهم‌کنش سه عامل رقم × نانواکسید روی × تنش خشکی بر تعداد سنبله در سطح ۵ درصد و وزن هزاردانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردید. برهم‌کنش رقم × تنش خشکی بر وزن سنبله، وزن دانه، تعداد دانه و تعداد دانه در سنبله معنی-دار شد. همچنین برهم‌کنش نانواکسید روی × تنش خشکی برای صفات وزن خشک و وزن دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر تنش خشکی بر روی تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله و وزن دانه معنی‌دار بود (جدول ۹). خشکی بعد از گل‌دهی از طریق آسیب رساندن به فرآیند باروری دانه با کاهش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد می‌گردد (Karimizadeh and Mohammadi, 2012). تیمار نانو اکسید روی بر وزن دانه ارقام مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. این عنصر در افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، انتقال ماده خشک به دانه و کاربرد نانواکسید

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

روی در افزایش وزن دانه، هزار دانه و عملکرد مؤثر است (Prasad *et al.*, 2012)، به‌طوری‌که اثرهای تنش خشکی را بر روی تعداد سنبله، وزن خشک کل، وزن دانه و هزار دانه را کاسته و موجب افزایش این صفات می‌گردد.

جدول ۹: تجزیه واریانس اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی نانو اکسید روی و رقم بر عملکرد و برخی اجزای عملکرد گندم

		میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک کل	تعداد سنبله	وزن سنبله	تعداد دانه	وزن دانه	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
رقم	۳	۱۰/۴۵۳**	۲/۱۵۷**	۹/۴۷۰**	۶۳۵۷/۰۷**	۶/۹۵۵**	۵۱۰/۱۹**	۱۷۷/۸۸*
نانو اکسید روی	۲	۲/۸۲۶**	۰/۶۲۰^{ns}	۳/۷۹۱**	۱۴۸۶/۵۰**	۱/۴۶۵**	۱۳۲/۲۰**	۳۳۷/۲۲**
تنش خشکی	۲	۲۵/۷۳۱**	۶۴/۲۳۱**	۱۴/۷۵۲**	۸۷۵۸/۶۷**	۵/۵۴۷**	۲/۴۲^{ns}	۲۸۴/۸۴*
رقم × نانو اکسید روی	۶	۰/۳۸۴^{ns}	۶/۴۷۲**	۰/۲۶۶^{ns}	۵۳۵/۵۳^{ns}	۰/۵۸۴**	۱۹/۸۶^{ns}	۲۳۸/۹۹**
رقم × تنش خشکی	۶	۰/۵۵۱^{ns}	۰/۷۸۷^{ns}	۰/۷۰۳**	۷۴۲/۱۰*	۰/۵۳۴**	۳۸/۱۱*	۱۸۴/۱۶*
نانو اکسید روی × تنش خشکی	۴	۱/۲۰۷**	۲/۲۵۹**	۰/۵۲۹^{ns}	۲۹۹/۶۷^{ns}	۰/۵۹۲**	۹/۳۹^{ns}	۵۲۸/۳۹**
اثرهای سه جانبه	۱۲	۰/۱۸۱^{ns}	۰/۹۰۷*	۰/۰۵۶^{ns}	۱۵۹/۵۱^{ns}	۰/۱۴۰^{ns}	۱۶/۰۸^{ns}	۳۴۸/۶۴**
خطا	۷۰	۰/۳۱۸	۰/۴۲۰	۰/۲۵۴	۲۹۱/۳	۰/۱۷۶	۱۴/۶۷	۶۷/۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۹/۳	۱۶/۲	۲۵/۵	۴۰/۴	۳۴/۰	۳۶/۱	۲۶/۶

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد می‌باشد.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس برهم‌کنش سه عامل رقم × نانواکسید روی × تنش خشکی بر طول ساقه، طول ریشه و ارتفاع بوته معنی‌دار گردید، اما درمورد وزن خشک و تر ریشه فقط اثر اصلی تنش خشکی، محلول‌پاشی با نانو اکسید روی و رقم معنی‌دار بود (جدول ۱۰). 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. عنصر روی با اثرهایی که در ساخته شدن هورمون اکسین دارد باعث افزایش طول ساقه، وزن تر و خشک ریشه در شرایط تنش می‌شود (Abd-El-Hady, 2007). محلول‌پاشی نانو اکسید روی موجب افزایش رشد ریشه و اندام هوایی گیاه می‌گردد (Prasad *et al.*, 2012).

تعداد سنبله

با افزایش سطوح تنش خشکی تعداد سنبله بارور در ارقام مورد مطالعه کاهش یافت. محلول‌پاشی نانو اکسید روی تعداد سنبله را در ارقام میهن و گاسگوژن افزایش داد. هم‌چنین تحت ترکیب تیماری محلول‌پاشی نانواکسید روی × تنش خشکی تعداد سنبله بارور نسبت به شاهد کاهش یافت. بالاترین و کم‌ترین تعداد سنبله بارور به‌ترتیب در رقم حیدری (۶

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.3.5]

عدد) تحت شرایط نرمال و رقم گاسگوژن تحت تنش شدید (۱/۶۷ عدد) مشاهده شد (جدول ۱۱). دامنه تغییرات میانگین این صفت در شرایط نرمال بین ۶-۴ عدد و تحت شرایط تنش بین ۴-۱ عدد متغیر بود. اگرچه تعداد پنجه در ارقام تحت تأثیر ژنوتیپ می‌باشد با این وجود شرایط محیطی و تغذیه‌ای گیاه بر بقاء و باروری پنجه‌ها اثر دارد. پژوهشگران دریافتند که تعداد سنبله هر بوته به‌عنوان یکی از اجزای مهم، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zaefizadeh *et al.*, 2012).

جدول ۱۰: تجزیه واریانس اثر تنش خشکی، محلول‌پاشی نانو اکسید روی و رقم بر برخی اجزای عملکرد گندم

		میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول ساقه	طول سنبله	طول ریشه	ارتفاع بوته	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	حجم ریشه
رقم	۳	۳۲۳/۸۱**	۲/۱۵۶**	۲/۴۴۷**	۳۸۴/۲۵۰**	۰/۱۲۳**	۰/۹۸۸**	۰/۲۳۲**
نانو اکسید روی	۲	۱۵۵/۱۸**	۱۱/۴۱۸**	۳/۸۴۰**	۲۸۸/۰۰۶**	۰/۰۹۵**	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۰۸۹**
تنش خشکی	۲	۲۰۲/۹۸**	۱۱/۵۰۲**	۸/۸۸۱**	۴۱۳/۰۲۷**	۰/۷۹۴**	۰/۵۰۹*	۰/۰۲۳^{ns}
رقم × نانو اکسید روی	۶	۱۲/۶۶*	۰/۴۱۵^{ns}	۰/۳۳۴^{ns}	۱۲/۸۸۶^{ns}	۰/۰۱۶^{ns}	۰/۱۱۵^{ns}	۰/۰۵۹^{ns}
رقم × تنش خشکی	۶	۵/۵۵^{ns}	۰/۸۹۷*	۳/۴۶۸**	۳/۷۶۸^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۰/۱۱۸^{ns}	۰/۱۳۹**
نانو اکسید روی × تنش خشکی	۴	۴۳/۹۷**	۱/۵۳۳**	۲/۱۵۹**	۷۹/۸۸۸**	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۲۹۵^{ns}	۰/۰۵۲^{ns}
اثرهای سه جانبه	۱۲	۱۰/۵۹*	۰/۱۱۸^{ns}	۲/۱۹۵**	۱۷/۴۲۵*	۰/۰۱۴^{ns}	۰/۰۸۸^{ns}	۰/۰۶۷^{ns}
خطا	۷۰	۴/۹۹	۰/۳۲۴	۰/۵۷۱	۷/۸۶	۰/۰۱۹	۰/۱۵۱	۰/۰۳۶
ضریب تغییرات (٪)	-	۶/۵۰	۱۱/۳	۱۱/۱۹	۶/۰۷	۲۶/۶	۳۴/۵	۴۷/۷

^{ns}، * و ** به ترتیب بیانگر غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

جدول ۱۱: مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی × رقم بر تعداد سنبله

ترکیبات تیماری	میانگین (عدد)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_1$	۵/۳۳۳ ^{bc}	۶/۰۰۰ ^{ab}	۴/۳۳۳ $^{c-f}$	۶/۶۶۶ ^{a}
$ZnO_1 \times D_1$	۴/۳۳۳ $^{c-f}$	۵/۳۳۳ ^{bc}	۴/۰۰۰ $^{d-g}$	۶/۰۰۰ ^{ab}
$ZnO_2 \times D_1$	۶/۰۰۰ ^{ab}	۵/۰۰۰ $^{b-d}$	۶/۰۰۰ ^{ab}	۴/۳۳۳ $^{c-f}$
$ZnO_0 \times D_2$	۳/۰۰۰ $^{g-j}$	۴/۰۰۰ $^{d-g}$	۳/۶۶۶ $^{e-h}$	۶/۰۰۰ ^{ab}
$ZnO_1 \times D_2$	۳/۳۳۳ $^{f-i}$	۴/۶۶۶ $^{c-e}$	۳/۰۰۰ $^{g-j}$	۴/۰۰۰ $^{d-g}$
$ZnO_2 \times D_2$	۴/۶۶۶ $^{c-e}$	۴/۳۳۳ $^{c-f}$	۵/۳۳۳ ^{bc}	۳/۰۰۰ $^{g-j}$
$ZnO_0 \times D_3$	۱/۶۶۶ ^{k}	۲/۶۶۶ $^{h-k}$	۱/۶۶۶ ^{k}	۲/۳۳۳ $^{i-k}$
$ZnO_1 \times D_3$	۲/۳۳۳ $^{i-k}$	۴/۰۰۰ $^{d-g}$	۳/۰۰۰ $^{g-j}$	۲/۶۶۶ $^{h-k}$
$ZnO_2 \times D_3$	۳/۳۳۳ $^{f-i}$	۳/۰۰۰ $^{g-j}$	۲/۶۶۶ $^{h-k}$	۲/۰۰۰ ^{jk}
LSD	۱/۰۵۵۸			

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.20084403.1399.12.46.3.5]

وزن هزار دانه

تنش خشکی موجب کاهش وزن هزار دانه در ارقام میهن، حیدری و گاسگوژن شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین وزن هزار دانه (۴۳/۰۷۷ گرم) مربوط به رقم حیدری تحت ترکیب تیماری تنش خشکی شدید × تغذیه برگی یک گرم بر لیتر نانو اکسید روی بود. ترکیب تیماری نانو اکسید روی × تنش خشکی منجر به افزایش وزن هزار دانه گردید (جدول ۱۲). مرحله پر شدن دانه حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی می‌باشد که وزن هزار دانه با اعمال تنش در این مرحله بیشتر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Pradhan *et al*., 2014). هم‌چنین عبدلی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند وقوع تنش خشکی پس از گرده‌افشانی در گندم وزن هزار دانه را در مقایسه با دیگر اجزای عملکرد کاهش می‌دهد. افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف روی به‌دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع است که باعث انتقال مواد پرورده به سمت دانه می‌گردد (Moradi Telavat *et al*., 2015).

جدول ۱۲: برهم‌کنش محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی × رقم بر وزن هزار دانه

ترکیبات تیماری	میانگین (گرم)			
	رقم میهن	رقم حیدری	رقم گاسگوژن	رقم سای‌سونز
$ZnO_0 \times D_1$	۳۴/۸۶۳ b-g	۴۶/۱۴۳ a	۳۰/۱۴۳ b-i	۳۲/۵۵۷ b-h
$ZnO_1 \times D_1$	۲۸/۳۵۷ b-i	۲۲/۱۲۳ g-j	۳۱/۴۷۳ b-i	۲۴/۲۲۰ d-j
$ZnO_2 \times D_1$	۳۱/۶۸۳ b-h	۳۰/۸۲۰ b-i	۲۳/۸۴۰ e-j	۳۱/۱۰۳ b-i
$ZnO_0 \times D_2$	۲۹/۵۵۰ b-i	۱۳/۷۷۰ j	۳۴/۲۰۷ b-h	۳۰/۹۱۷ b-i
$ZnO_1 \times D_2$	۲۸/۳۰۷ b-i	۲۳/۳۱۳ f-j	۲۱/۳۶۳ hij	۲۸/۳۵۳ b-i
$ZnO_2 \times D_2$	۳۷/۰۲۷ b-e	۳۵/۹۴۷ b-f	۲۱/۸۶۳ ghij	۳۰/۲۸۳ b-i
$ZnO_0 \times D_3$	۲۴/۶۱۰ c-i	۱۸/۰۷۰ ij	۲۲/۷۳۲ f-j	۳۷/۶۳۷ bcd
$ZnO_1 \times D_3$	۳۱/۰۴۷ b-i	۳۲/۳۸۰ b-h	۲۵/۶۸۷ c-j	۴۱/۱۵۷ b
$ZnO_2 \times D_3$	۲۸/۸۳۰ b-i	۴۳/۰۷۷ a	۳۷/۷۲۷ bc	۳۱/۳۷۳ b-i
LSD		۱۳/۴۲۸		

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

وزن خشک کل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک کل گندم نسبت به شاهد گردید. هم‌چنین در پژوهش حاضر مشخص گردید ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۰/۵ گرم بر لیتر نانو اکسید روی × تنش خشکی موجب افزایش و تغذیه برگی یک گرم بر لیتر × تنش باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک کل نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین وزن خشک کل (۱/۴۵ درصد) و کم‌ترین مقدار آن (۳۸/۴۸ درصد) نسبت به شاهد بود (جدول ۱۳). تولید ماده خشک در

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

گیاهان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اثرگذار بر روی عملکرد می‌باشد. افزایش در مقدار کارایی استفاده از نور خورشید به معنای بالا بردن میزان فتوسنتز و در نتیجه بالا بردن مقدار تولید ماده خشک یا عملکرد بیولوژیکی می‌باشد (Joudi *et al*., 2014). Ebrahimian و Bybordi (۲۰۱۳) اظهار داشتند که خسارت ناشی از تنش می‌تواند موجب تخریب کلروفیل و کلروزه شدن برگ‌ها شود. این تغییرات به همراه کاهش سطح برگ و ریزش آن موجب کاهش پتانسیل فتوسنتزی گیاه و در نتیجه کاهش رشد و تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود. توقف ناگهانی تجمع ماده خشک در دانه گندم در شرایط تنش خشکی و عدم افزایش سرعت پر شدن دانه می‌تواند از دلایل کاهش شدید عملکرد باشد. عنصر روی با بهبود فتوسنتز گیاه موجب افزایش تولید آسیمیلاسیون کربن شده و از این طریق بر ماده خشک تولید شده اثر مثبت می‌گذارد. افزایش میزان ماده خشک با کاربرد برگی عناصر غذایی در جو نیز گزارش شده است (Khursheed *et al*., 2018).

جدول ۱۳: مقایسه میانگین برهم‌کنش محلول‌پاشی نانو اکسید روی × تنش خشکی بر وزن خشک کل

نانو اکسید روی × تنش خشکی	میانگین (میلی‌گرم در بوته)		
	۸۵ درصد ظرفیت زراعی	۶۰ درصد ظرفیت زراعی	۳۵ درصد ظرفیت زراعی
۰ یا بدون نانو اکسید روی	۱۸۹/۳۷۵ ab	۱۶۲/۸۷۵ c	۱۹۲/۱۲۵ a
نانو اکسید روی ۰/۵ گرم بر لیتر	۱۵۳/۰۰۰ d	۱۸۰/۷۵۰ b	۱۶۱/۶۲۵ cd
نانو اکسید روی ۱ گرم بر لیتر	۱۸۴/۲۵۰ ab	۱۸۶/۱۲۵ ab	۱۳۶/۷۵۰ e
LSD		۹/۲۷۹۵	

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

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با افزایش تنش خشکی محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنویید و شاخص کلروفیل برگ در رقم سای‌سونز و شاخص فلورسانس حداقل، متغیر و عملکرد کوانتومی در ارقام میهن و حیدری کاهش یافت. کاربرد نانو اکسید روی با غلظت یک گرم در لیتر توانست با بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه که منجربه حفظ کلروفیل برگ، بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و به تعویق انداختن تخریب و زوال کلروفیل و افزایش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی موجب بهبود وضعیت فلورسانس کلروفیل شده و تا حدودی اثر تنش خشکی را تعدیل نمود تا گیاه به نحو مناسب‌تری از رطوبت خاک استفاده کند. همچنین تحت شرایط کم‌آبی طول ساقه، طول ریشه، ارتفاع بوته، تعداد سنبله، تعداد دانه، تعداد دانه در سنبله، وزن سنبله، وزن تر و خشک ریشه، وزن دانه و وزن هزار دانه کاهش یافت، به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پاشی نانو اکسید روی عملکرد و اکثر صفات مرتبط با عملکرد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. به‌عبارت دیگر با افزایش کم‌آبی میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش یافته و به‌دنبال آن عملکرد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

و اجزای عملکرد کاهش پیدا کرد. در این شرایط کاربرد نانو اکسید روی به دلیل نقش موثر عنصر روی در فرآیندهای فیزیولوژیک، سلول‌های گیاهی، سنتز کلروفیل موجب افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی شده و با افزایش توان تولید فتواسیمیلات‌ها در گیاه و تخصیص بیشتر آن‌ها به سنبله در حال تکامل و با اثر مثبت بر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه در سنبله، موجب افزایش عملکرد دانه گردید.

منابع

دادخواه، ن.، عبادی، ع.، پرمون، ق.، قلی‌پوری، ع. و جهانبخش، س. ۱۳۹۳. اثر محلول‌پاشی سولفات روی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه نخود در سطوح مختلف آبیاری. نشریه زراعت دیم ایران. ۲ (۲): ۲۰۱-۱۴۱.

شجاعی، ح. و مکاریان، ح. ۱۳۹۳. تاثیرمحلول‌پاشی اکسید روی نانو و غیر نانو بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲ (۴): ۷۳۷-۷۲۷.

عباسی، ن.، چراغی، ج. و حاجی‌نیا، س. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی آهن و روی به‌صورت ناانو و شیمیایی بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد دانه دو رقم گندم نان. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۴۳ (۱۱): ۸۱-۶۶.

Abid, M., Tian, Z., Ata-Ul-Karim, S. T., 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.

Abd-El-Hady, B. A. 2007. Effect of zinc application on growth and nutrient uptake of barley plant irrigated with saline water. Journal of Applied Sciences Research. 3(6): 431-436.

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal. 23: 112-121.

Azarakhshi, M., Farzadmehr, L., Eslah, M. and Sahabi, H. 2013. An investigation on trends of annual and seasonal rainfall and temperature in different climatologically regions of Iran. Journal of Range and Watershed Management. 66: 1-16.

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-Environment Interactions. 12(1): 381-389.

Baker, N. R. and Rosenqvist, E. 2004. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany. 55: 1607-1621.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

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

Chen, C., Jackson, G., Neill, K., Wichman, D., Johnson, G. and Johnson, D. 2005. Determining the feasibility of early seeding canola in the northern Great Plains. Agronomy Journal. 97: 1252-1262.

Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R. 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.

Ebrahimian, E. and Bybordi, A. 2013. Exogenous silicium and zinc increase antioxidant enzyme activity and alleviate salt stress in leaves of *sunflower*. Journal of Food Agriculture and Environment. 9: 422-427.

Hafeez, B., Khanif, Y. M. and Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition- a review. American Journal of Experimental Agriculture. 3: 374-391.

Hadi, H., Seyed Sharifi, R. and Namvar, A. 2017. Phytoprotectants and abiotic stresses. Urmia University Press, 341 pp.

Hosseinzadeh, S. R., 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.

Hosseinzadeh, S. R, 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.

Idrees, M. M., Khan, M. A., Naeem, M., Aftab, T., Hashmi, N. and Alam, M. 2011. Modulation of defense responses by improving photosynthetic activity, antioxidative metabolism and vincristine and vinblastine accumulation in *Catharanthus roseus* L. Don through salisylic asid under water stress. Russian Journal of Agriculture Science. 37: 474-782.

Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A. and Mohammadi, H. 2014. Genetic changes in agronomic and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. Euphytica. 196: 237-249.

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.

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

proline in Triticale under salinity condition. Notulae Botanicae Horticulture Agrobotanici Cluj-Napoca. 44(1): 116-124.

Kaya, C. and Higgs, D. 2002. Response of tomato (*Lycopersicom esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. Scientia Horticulturae. 93: 53-64.

Khursheed, M. Q., Salih, Z. R. and Saber, T. Z. 2018. Response of barely (*Hordeum vulgare* L.) plants to foliar fertilizer with different concentration of hogland solution. Rafidain Journal of Science. 27(2): 1-7.

Karimizadeh, R. and Mohammadi, M. 2012. Association of canopy temperature depression with yield of durum wheat genotypes under supplementary irrigated and rainfed conditions. Australian Jouurnal of Crop Science. 5(2): 138-146.

Lindquist, J. L., Arkebauer, J. T., Walters, T.D., Cassman, G.K. and Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. Agronomy Journal. 97: 72-78.

Lum, M. S., Hanafi, M. M., Rafii, Y. M. and Akmar, A. S. N. 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. Journal of Animal and Plant Sciences. 24: 1487-1493.

Monica, R. C. and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. Caryologia. 62: 161-165.

Moradi Telavat, M. R., Roshan, F. and Siadat, S. A. 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.

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.

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

Pradhan, G. P., Prasad, P. V., Fritz, A. K., Kirkham, M. B. and Gill, B. S. 2014. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. Plant Biology. 39: 190-198.

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri A. R. and Najafi, F. 2012. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta Biologica Cracoviensia. 53: 47-56.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

Said-Al Ahl, H. A. and Mahmoud, A. A. 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.

Singh, G., Sarvanan, S., Rajwat, K. S., Rathore, J. S. 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.

Saba, J., Tavana, Sh., Qorbanian, Z., Shadan, E., Shekari, F. and Jabbari, F. 2018 Canonical correlation analysis to determine the best traits for indirect improvement of wheat grain yield under terminal drought stress, Journal of Agriculture Science and Technology. 20: 1037-1048.

Taghipour, Z., Asghari Zakaria, R., Zare, N. and Shaikh Zadeh, P. 2014. Evaluation of drought stress tolerance in several populations of Aegilops triuncialis based on some physiological characteristics. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research. 22(1): 55-66.

Wang, X., CAI, X, Xu, C., Wang, Q. and Dai, S. 2016. Drought-responsive mechanisms in plant leaves revealed by proteomics. International Journal of Molecular Sciences. 17: 1-30.

Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R. and Hussain, M. 2011. Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. Continental Journal of Agricultural Science. 5(1): 10-25.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G. H., 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.

Zaefizadeh, M., Jamaati-e-Somarin, S., Zabihi-e-Mahmoodabad, R. and Khayatnezhad, M. 2012. Discriminate analysis of the osmotic stress tolerance of different sub- convars of durum w during germination. Advience Environment Biology. 5(1): 74-81.

Zarrouk, O., Gogorcena, Y., Gomez-Aparisi, J., Betran, J. A. and Moreno, M. A. 2005. Influence of Almond peach hybrids root stocks on flower and leaf mineral concentration, yield, vigour of two peach cultivars. Scientia Horticulturae. 106: 502-514.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]

Effect of zinc nano oxide foliar application yield and physiological traits wheat under drought stress

S. Y. Raeesi Sadati[1], S. Jahanbakhsh Godekahriz[*2], A. Ebadi [3] and M. Sedghi [4]

1) PhD student Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2) Associate Professor Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3 & 4) Professor Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

[*]**Corresponding author: jahanbakhsh@uma.ac.ir**

Received date: 2019.12.30 **Accepted date: 2020.04.27**

Abstract

In order to investigate the effect of zinc nano oxide on yield and some physiological characteristics of wheat under drought stress conditions, a factorial experiment was a three-factor factor conducted in a completely randomized design with three replications in University of Mohaghegh Ardebili in 2018. Factors studied i include the first factor of drought stress at three levels (35%, 60% and field capacity and control), the second factor of wheat cultivars (Mihan, Heidari, Sysons and Gasgogen) and the third factor includes ZnO spraying in three levels (no application of ZnO, 0.5 and 1 g/l^{-1}). Foliar application of ZnO was performed in three-leaf stage and three day later drought stress for one week. ZnO foliar application increased the amount of photosynthetic pigments and leaf chlorophyll index, F_V / F_M, plant length, spike number and grain weight. Drought stress decreased chlorophyll index (3.73%), F0 (60.79%), Fv (11.18%), Fv / Fm (2.68%), mean plant height (15.93%), Total dry weight (16.27%), dry weight (46.18%) and root fresh (8.32%) as well as grain yield (15.95% of grain number and 11.93% of grain weight). Also, ZnO foliar application and irrigation under control conditions improved chlorophyll index (151.01%) and photosystem II fluorescence during growing season (78.62%) and increased wheat grain yield under (338.38% of grain number and 361.62% of grain weight) dehydrated conditions. Among the studied cultivars, the highest amount of F0 (235.5) and Fm (756/44) belonged to Meihan cultivar and the least amount of (204/944), F0 (34.0), Fm (362.28) and FV / FM (0.4585) belonged to Heidari cultivar. Under drought stress, the weight of one thousand grains in Heydari cultivars (155.35%) and Gasgogen (32.60%) decreased compared to control conditions. Among cultivars, Mihan was more tolerant to drought stress. In terms of grain yield under normal conditions, Heydari genotype was recognized as the best genotype.

Keywords: Drought stress, Yield, Chlorophyll and Zinc nano oxide.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5]