فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۴، شماره ۶۵، خرداد و تیرماه ۱۴۰۴ صفحه: ۹۹-۱۱۵
https://doi.org/10.22034/14.66.99

مقاله پژوهشی

تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر رشد و صفات فیزیولوژی گیاه ذرت (*Zea mays* L.)

زهرا دهمرده[۱]، محمدرضا امیرجانی[۱]، مهدی دهمرده[۲] و مجید مهدیه[۱*]
[۱] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، اراک، ایران
[۲] گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳)

چکیده

کشف رویکردهای استراتژیک پایدار و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش تولید محصولات غذایی برای امنیت غذایی آینده از اهمیت حیاتی برخوردار است. استفاده از نانوتکنولوژی یک رویکرد امیدوارکننده در کشاورزی است. با این حال، تعیین غلظت‌های کارآمد و مقرون به صرفه با توجه به گونه‌های گیاهی مورد نظر نیاز به مطالعه بیشتری دارد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر نانو اکسید روی بر رشد و صفات فیزیولوژی گیاه ذرت، در بهار سال زراعی ۱۴۰۲ در شهرستان زاهدان اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تیمار محلول‌پاشی روی به صورت اکسید روی معمولی در چهار سطح (آب‌مقطر (شاهد)، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۲ درصد) به عنوان عامل اول و تیمار نانو اکسید روی در چهار سطح (آب‌مقطر (شاهد)، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شدند. یافته‌های پژوهش نشان داد که صفات مورد بررسی به طور معنی‌داری تحت اثر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک (۶۸۰۲/۵ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۲۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) و محتوای پروتئین (۵/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی بدست آمده است. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب برابر با ۱/۳۶، ۰/۲۹۹ و ۱/۰۵ دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بود. بیشترین میزان کاتالاز و گایاکول پراکسیداز در تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به ترتیب با مصرف ۰/۰۵ درصد و ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی به دست آمد. همچنین میزان سوپراکسید دیسموتاز در تیمار محلول‌پاشی ۰/۳ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی مشاهده شد. با توجه به یافته‌های پژوهش، محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی جهت بهبود صفات کمی و کیفی گیاه ذرت پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، عملکرد و اجزای عملکرد، عناصر کم‌مصرف، کاتالاز، کلروفیل

مقدمه

با توجه به کاربرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در صنایع گوناگون و پیشرفت‌های حاصل‌شده در تکنولوژی بذر و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m-mahdiyeh@araku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

مدیریت زراعی، استفاده از راهکارهایی که ضمن اقتصادی و مقرون به صرفه بودن، کارایی مناسبی در تولید بذرهای با کیفیت بالا داشته باشد، دارای اهمیت کلیدی است. یکی از این روش‌ها استفاده از عناصر کم‌مصرف است. عناصر کم‌مصرف عناصری هستند که گیاه به میزان کمی به آنها نیاز داشته و به منظور بهبود کمی و کیفی محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند (Mimmo *et al.*, 2014). عناصری مانند آهن (Fe)، روی (Zn)، بُر (B)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، مولیبدن (Mo) و کلر (Cl) از عناصر کم‌مصرف و یا عناصر ریزمغذی هستند (Kouhbanani *et al.*, 2019). روی یک ریزمغذی ضروری برای اکثر گونه‌های زراعی است و نقش مهمی در حفظ پایداریِ محیط داخلی و واکنش‌های تنظیمی در گیاهان بازی می‌کند (Bana *et al.*, 2021). بنابراین، عرضه کافی روی برای عملکرد و کیفیت محصول حیاتی است و کمبود آن منجر به تلفات جدی در جریان تولید محصول می‌شود (Hussein and Abou-Baker, 2018). در اکثر فرآیندهای سلولی ضروری مانند تکثیر DNA، رونویسی و سنتز پروتئین، و بیوسنتز کلروفیل، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و هورمون‌ها، روی نقش مهمی را به عنوان عامل کمکی چندین آنزیم کلیدی ایفا می‌کند. علاوه بر این، جذب فسفات‌ها، کلسیم، پتاسیم و سدیم را تنظیم می‌کند و بنابراین تنظیم اسمزی را در گیاهان حفظ می‌کند (Bana *et al.*, 2021; Sturikova *et al.*, 2018; Seleiman *et al.*, 2023a).

عرضه نانوذرات اکسید روی نسبت به کودهای روی معمولی به دلیل رهایش آهسته، هزینه کم، راندمان بالاتر و دوست‌دار محیط‌زیست مفید است (Shang *et al.*, 2019; Zulfiqar *et al.*, 2019). محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی در محصولات زراعی می‌تواند یک رویکرد سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه در نظر گرفته شود. با این حال، قبل از کاربرد تجاری آن، کاوش بیشتر در مورد اثربخشی آن در شرایط آب و هوایی مختلف، بهینه‌سازی غلظت‌های خاص محصول و روش‌های کاربرد ممکن است استفاده مؤثر از چنین رویکرد استراتژیک را برای نفع جامعه کشاورز و در نتیجه امنیت غذایی جهانی افزایش دهد (Seleiman *et al.*, 2023b).

نتایج مطالعه Seleiman و همکاران (۲۰۲۳a) با هدف ارزیابی نانوذرات اکسید روی (ZnO-NPs) به عنوان کاهش‌دهنده اثر شوری در ذرت، نشان داد که تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی تمام پارامترهای مورد مطالعه گیاهان ذرت شامل صفات آنتی‌اکسیدانی، فتوسنتزی و عملکرد را به طور قابل‌توجهی بهبود بخشید. Faizan و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که کاربرد نانوذرات اکسید روی منجر به بهبود قابل‌توجهی در ساختار کلروفیل، راندمان فلورسانس، کارایی فتوشیمیایی PSII و سرعت فتوسنتز در گیاه برنج می‌شود. به همین ترتیب، پرایمینگ بذر گیاه گندم با نانوذرات اکسید روی با موفقیت ساختارهای سلولی و تعادل پروفایل الکتروفورتیک پروتئین‌های شاخساره را بهبود بخشید و تولید کلروفیل و عملکرد فتوسنتزی را افزایش داد (Abou-Zeid *et al.*, 2021). محلول‌پاشی نانو اکسید روی احتمالاً با عرضه آهسته و پایدار یون‌های روی (Zn^{2+}) باعث بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ ثبات سلولی می‌شود (Bana *et al.*, 2021; Zulfiqar *et al.*, 2019). روی ارائه‌شده توسط نانوذرات اکسید روی، تنظیم کننده‌های درون گیاهی محرک‌های رشد مانند ایندول-۳-استیک اسید (IAA) و اسید جیبرلیک (GA_3) را تقویت می‌کند، که به فعالیت متابولیک، افزایش طول سلول و تقسیم سلولی کمک می‌کند و بنابراین رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Zulfiqar and Ashraf, 2021).

با وجود اینکه مدیریت تغذیه ذرت همچنان به روش‌های زراعی وابسته است، استفاده از نانوذرات اکسید روی در کشاورزی به عنوان رویکردی نوین و امیدبخش مطرح شده است. هر چند برای درک کامل اثربخشی این نانوذرات و تعیین غلظت بهینه آن‌ها در محصولات مختلف، نیاز به پژوهش‌های بیشتری وجود دارد. بر این اساس، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر رشد و صفات فیزیولوژی گیاه ذرت طراحی و اجرا شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک

بافت	شن	سیلت	رس	کربن آلی	نیتروژن کل	هدایت الکتریکی	pH	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی
			(٪)			(دسی‌زیمنس بر متر)		(میلی‌گرم بر کیلوگرم)		(ppm)
لوم شنی	۶۴	۲۴	۱۲	۰/۳۲	۰/۰۳	۳/۲	۸/۱۲	۱۶/۶	۱۷۰	۰/۴۲

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر رشد و صفات فیزیولوژی گیاه ذرت، در بهار سال زراعی ۱۴۰۲ در شهرستان زاهدان واقع در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۴۴ متر از سطح دریا با اقلیم گرم و خشک اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. محلول‌پاشی روی به صورت اکسید روی معمولی در چهار سطح (آب‌مقطر (شاهد)، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۲ درصد) به عنوان عامل اول و تیمار نانو اکسید روی در چهار سطح (آب مقطر (شاهد)، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد) به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شدند. به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کاشت تعداد ۱۰ نمونه به صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از قطعه زمین مورد نظر تهیه و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه ارسال گردید. این نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

زمین آزمایش در پاییز سال قبل شخم عمیق زده شد. در اوایل اسفند برای خرد کردن کلوخه‌ها دو بار دیسک عمود بر هم اعمال شد. با استفاده از دستگاه لولر تسطیح و سپس توسط فاروئر جوی و پشته ایجاد شد. پس از بررسی نتایج آنالیز خاک، قبل از کشت کودهای پایه شامل کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب از منبع اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به میزان ۲۰۰، ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با خاک مخلوط شد. زمین تحت کشت شامل ۶۴ کرت آزمایشی بود. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف کشت به طول شش متر و عرض ۱/۸ متر بود. بین کرت‌ها دو خط نکاشت و بین تکرارهای آزمایش ۱/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد. فواصل بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فواصل بین دو بوته ۱۰ سانتی‌متر بود. کاشت بذور به روش دستی بر روی پشته‌ها انجام شد. رقم بذر مورد استفاده ذرت سینگل‌کراس ۷۰۴ از شرکت کشت و صنعت کاوه در مشهد تهیه شد. عملیات کاشت به صورت هیرم‌کاری در تاریخ پنجم فروردین‌ماه انجام شد.

عملیات داشت شامل آبیاری، واکاری، مبارزه با علف‌های هرز و تنک‌کردن به صورت دستی در طول دوره رشد انجام گرفت. در طول دوره رشد هیچ بیماری مشاهده نشد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله به صورت یک دوم کود در مرحله چهار برگی و یک دوم باقی‌مانده قبل از گلدهی با آب آبیاری وارد خاک شد. آبیاری در طول دوره رشد به صورت غرقابی و هر پنج روز یکبار انجام شد بجز در شرایط گرمای شدید در نیمه اول تیر ماه که به فاصله سه روز یکبار انجام گرفت.

پودر نانواکسید روی با اندازه ذرات معادل ۲۵ نانومتر، کروی و بدون پوشش و نیز پودر اکسید روی معمولی با اندازه تقریبی ذرات در محدوده ۱۰۰۰ نانومتر، از شرکت پیشگامان نانو مواد مشهد خریداری شدند. برای ساخت محلول‌های مورد نیاز، ابتدا ۰/۰۱۶ گرم پودر وزن شد و در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر دوبار تقطیر حل شدند و سپس در دستگاه اولتراسونیک (100 W, 40 KHz) به مدت نیم ساعت به منظور پراکنده شدن ذرات قرار گرفتند، و بعد از آن درون محلول یک مگنت مغناطیسی انداخته شد و به مدت یک ساعت بر روی دستگاه استیرر (Stirrer) قرار داده شد تا مانع چسبیدن نانو ذرات به همدیگر شود. سپس محلول‌های نانو اکسید روی بر اساس تیمارهای مورد مطالعه در سه سطح ۰/۰۲۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ درصد آماده شدند. محلول‌های اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی به طور جداگانه در دو مرحله در زمان شش برگی (در تاریخ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

۲۷ فروردین‌ماه) و ظهور گل آذین نر (در تاریخ ۱۰ خردادماه) روی گیاه اعمال شدند. محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز و هنگام غروب آفتاب با سمپاش پشتی تلمبه‌ای و با فشار یکسان روی بوته‌ها انجام شد. فاصله نازل سم‌پاش تا بالای بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود. محلول‌پاشی تا زمان جاری شدن قطرات محلول از روی بوته‌ها ادامه یافت.

به منظور اندازه‌گیری صفات مورد بررسی، پس از رسیدن گیاه به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زرد شدن یک سوم پایین بوته) نمونه‌برداری با حذف اثر حاشیه‌ای از ۰/۵ متر دو طرف هر کرت و از چهار خط میانی انجام گرفت. اندازه‌گیری ارتفاع بوته از محل یقه در سطح خاک تا انتهایی‌ترین قسمت ساقه (نوک کاکل ذرت) با استفاده از متر پارچه‌ای بر حسب سانتی‌متر انجام شد. میانگین عملکرد بیولوژیک شامل برگ، ساقه، بلال (زیست‌توده هوایی) پس از جداسازی دانه از بلال‌ها بر حسب کیلوگرم در هکتار به دست آمد. سپس نمونه‌ای به وزن یک کیلوگرم از هر تیمار انتخاب و به کمک دستگاه آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا حصول وزن ثابت خشک شدند، و به این ترتیب میانگین عملکرد ماده خشک در هکتار محاسبه گردید. جهت بررسی و محاسبه عملکرد دانه، بعد از جداسازی دانه از بلال، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار به وسیله ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، ضرب در ۱۰۰ محاسبه گردید. تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و تعداد کل دانه در بلال برای ۱۰ بوته به طور جداگانه شمارش و میانگین آن‌ها بر حسب هکتار محاسبه گردید. جهت محاسبه وزن هزار دانه تعداد چهار نمونه ۱۰۰ تایی از هر تیمار بطور تصادفی انتخاب و میانگین وزنی به‌دست آمده در عدد ۱۰ ضرب و بر حسب گرم در هکتار برای هر تیمار آزمایشی گزارش گردید.

میزان کلروفیل و کارتنوئیدها، توسط اسپکتوفتومتر (مدل UV-2100S، ساخت شرکت Unico کشور آمریکا)، با استفاده از روش Arnon (۱۹۴۹) بدست آمد. به این منظور زمانی‌که گیاهان در فاز رویشی قرار داشته و هنوز وارد مرحله گل‌دهی نشده بودند، انتخاب و برگ‌هایی که طول بیشتری داشتند به عنوان برگ کامل در نظر گرفته شدند. سپس مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانترفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طول‌موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتوفتومتر معین شد. با استفاده از فرمول‌های زیر میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها برای هر نمونه محاسبه گردید.

$$Chl\ a = (11.75 \times A664 - 2.350 \times A645)$$
$$Chl\ b = (18.61 \times A664 - 3.960 \times A645)$$
$$Car = 1000\ (A470) - 2.270\ (chl\ a) - 81.4\ (chl\ b)\ /227$$

اندازه‌گیری پروتئین با استفاده از روش Kjeldahl (۱۸۸۳)، انجام شد. برای این منظور مقدار ۲۵۰ گرم از بذرهای برداشت شده از هر تیمار جدا شده و به آزمایشگاه منتقل شد. جهت تعیین درصد پروتئین دانه ابتدا درصد نیتروژن دانه به وسیله دستگاه کجلدال که شامل مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون است اندازه‌گیری شد، سپس درصد نیتروژن در مقدار ۵/۱۷ ضرب و به این ترتیب درصد پروتئین محاسبه گردید.

اندازه‌گیری پرولین از جوان‌ترین برگ‌ها انجام گرفت. بدین صورت که مقدار ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچکتر از ۵ میلی‌لیتر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید ۳٪ در یک هاون چینی به مدت ۳ دقیقه سائیده شده، و محلول هموژنیزه‌شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره ۲ صاف شده و با ۲ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ۲ میلی‌لیتر نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شده و لوله‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفت. سپس به محلول واکنش در لوله آزمایش و پس از سردشدن، ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. به هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس شد. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

طول‌موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد آن به دست آمد (Bates *et al.*, 1973).

به منظور سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، برای استخراج عصاره پروتئینی، ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاهی را در هاون چینی سائیده و سپس یک میلی‌لیتر بافر تریس- اسید کلریدریک، ۰/۰۵ مولار با pH = ۷/۵ افزوده شده و همگنای حاصله را به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ کرده و محلول رویی برای اندازه‌گیری آنزیم مورد استفاده قرار گرفت (Mac-Adam, 1992). سنجش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز با استفاده از روش Chance و Maehly (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شد. ۶۰ میکرولیتر از عصاره را در ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه (۵ میلی‌مولار) و ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس (۵۰ میلی‌مولار، با pH=۷) در حمام قرار گرفت و منحنی تغییرات جذب در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد. فعالیت این آنزیم به ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه برگ گیاهی به دست آمد. جهت سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار حاوی ۷۵ میکرولیتر ریبوفلاوین ۲ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، Na-EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط و حاصل به مدت ۱۵ دقیقه تحت تابش نور با شدت ۵۰۰۰ لوکس قرار گرفت و سپس جذب آن در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد (Giannopolitis and Ries, 1977).

تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. آزمون دانکن یک روش آماری منحصربه‌فرد است که هم حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و هم حداکثر تفاوت معنی‌دار (HSD) را محاسبه کرده و دقیق‌ترین آزمون برای مقایسه میانگین‌ها است.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد: بر پایه نتایج حاصل از تجزیه واریانس، اثر ساده اکسید روی معمولی و اثر ساده نانو اکسید روی بر ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و شاخص برداشت، و همچنین اثرات متقابل تیمارهای فوق بر عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲).

با توجه نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه و شاخص برداشت در تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی و ۰/۱ درصد نانو اکسید روی مشاهده شد (جدول ۳).

همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد ماده خشک (۶۸۰۲/۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۲۳۴۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی بدست آمده است. در مقابل کمترین عملکرد ماده خشک (۲۴۹۷/۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۱۰۶۷/۵ کیلوگرم در هکتار) از شاهد حاصل شد (شکل ۱ و ۲).

عنصر روی در ساخته شدن تریپتوفان که جزیی از ساختمان برخی از پروتئین‌ها است و ترکیبی ضروری برای سنتز هورمون رشد (اکسین‌ها مانند ایندول استیک اسید) به شمار می‌آید نقش مهمی ایفا می‌کند (Singh, 1981). افزایش اسیدآمینه تریپتوفان در نهایت منجر به افزایش سنتز هورمون اکسین می‌شود (Moller *et al.*, 2018). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش اکسین ناشی از حضور عنصر روی می‌تواند توجیه قابل قبولی برای افزایش رشد گیاه و در نهایت افزایش طول و وزن خشک گیاهچه در مقایسه با شاهد باشد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین عنصر روی به طور مکرر به عنوان یک یون معتبر در تنظیم اسمزی، جذب مواد معدنی و روابط آب گزارش شده است (Sturikova *et al.*, 2018). گزارش شده که حداکثر مقدار ماده خشک برنج با کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسید روی به دست آمد و مصرف مقادیر بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوذرات اکسید روی به دلیل سمیت ایجاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	عملکرد بیولوژیک	عملکرد ماده خشک	عملکرد دانه	وزن هزاردانه
تکرار	۳	۲۹۸/۴۸**	۶۴۱۰۰۷۸۳۱**	۱۰۰۴۱۸/۲۳^{ns}	۱۵۰۴۶۰/۸۰**	۸۹۲/۴۴^{ns}
اکسید روی معمولی	۳	۵۸۵۵/۵**	۷۸۲۹۷۰۰۶۱۸**	۲۳۵۰۰۸۳۹/۰۶**	۱۱۷۹۴۸۵/۸۰**	۱۷۹۹۷/۹**
نانو اکسید روی	۳	۷۹۲/۳۰**	۱۷۸۶۱۳۷۵۲۲**	۱۲۸۱۳۳۴/۹۰**	۴۱۰۰۸۵/۸۰**	۲۶۵۲/۸۵**
اثرات متقابل اکسید روی و نانو	۹	۵۲/۹۷^{ns}	۳۹۲۹۲۳۳۹^{ns}	۱۰۹۷۰۰۹/۹۰**	۱۸۴۶۸۷/۱۹**	۸۱۱/۷۹^{ns}
خطای آزمایش	۴۵	۲۸/۶۸۵	۳۰۳۳۴۰۶۹	۷۴۴۹۰/۴۵	۱۷۶۶۹/۶۹	۴۸۱/۹۶۹
ضریب تغییرات (٪)	-	۳/۳۷	۹/۸۴	۶/۹۲	۸/۲۱	۶/۶۷

بر اساس آزمون دانکن ($P\leq0.05$)، **: تفاوت معنی‌دار با احتمال کمتر از یک درصد؛ *: تفاوت معنی‌دار با احتمال بین یک و پنج درصد؛ ns: تفاوت معنی‌دار با احتمال بیش از پنج درصد (عدم تفاوت معنی‌دار)

ادامه جدول ۲-

منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص برداشت	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در بلال
تکرار	۳	۴۷/۵۲۲*	۷/۴۷۳۹**	۸۲/۹۵۸**	۴۷۲۶۰/۵۹**
اکسید روی معمولی	۳	۴۴۲/۵۶**	۱۱/۳۴۸**	۶۵۶/۵۴**	۱۶۴۷۹۸/۵**
نانو اکسید روی	۳	۵۵/۵۹**	۶/۱۴۰۶**	۶۸/۷۹۱**	۳۸۶۴۴/۵۹**
اثرات متقابل اکسید روی و نانو	۹	۲۳/۳۸۴^{ns}	۰/۶۱۲۸^{ns}	۳/۶۹۴۴^{ns}	۲۵۱۷/۶۴^{ns}
خطای آزمایش	۴۵	۱۲/۹۵۹	۰/۵۴۰۶	۵/۶۳۶	۳۵۲۹/۵۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۸/۵۳	۵/۵۰	۷/۵۸	۱۳/۸۵

بر اساس آزمون دانکن ($P\leq0.05$)، **: تفاوت معنی‌دار با احتمال کمتر از یک درصد؛ *: تفاوت معنی‌دار با احتمال بین یک و پنج درصد؛ ns: تفاوت معنی‌دار با احتمال بیش از پنج درصد (عدم تفاوت معنی‌دار)

شده سبب کاهش معنی‌دار میزان ماده خشک تولیدی گردید (Chen *et al.*, 2015).

بنا بر گزارش‌ها محلول‌پاشی روی و آهن نسبت به عدم محلول‌پاشی به طور معنی‌داری وزن صد دانه ذرت را افزایش می‌دهد (Gomaa *et al.*, 2020). به‌طورکلی وزن دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای در گیاه تأمین می‌شود. افزایش وزن دانه ذرت تیمارشده با نانوذرات اکسید روی را می‌توان به افزایش رشد، بهبود عملکرد فیزیولوژیکی، بهینه‌سازی جذب مواد معدنی و تعادل اسمزی و تقویت مکانیسم دفاع آنتی‌اکسیدانی ناشی از محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی در طول دوره رشد رویشی گیاه ذرت نسبت داد (Seleiman *et al.*, 2023a). روی یک ریز مغذی ضروری برای اکثر گیاهان زراعی است. بنابراین، محلول‌پاشی نانو اکسید روی به طور بالقوه عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی را با تأمین روی بهبود می‌بخشد. به همین ترتیب، کاربرد نانوذرات اکسید روی در گیاه گندم، عملکرد دانه را تا ۴۲/۲ درصد بهبود بخشید (Adil *et al.*, 2022). محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی به طور قابل‌توجهی صفات ذکر شده در ذرت را بهبود بخشید. محلول‌پاشی نانو اکسید روی در سطوح بالاتر (یعنی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) منجر به عملکرد دانه بیشتر در مقایسه با ذرت‌هایی شد که با نانوذرات اکسید روی تیمار نشده بودند.

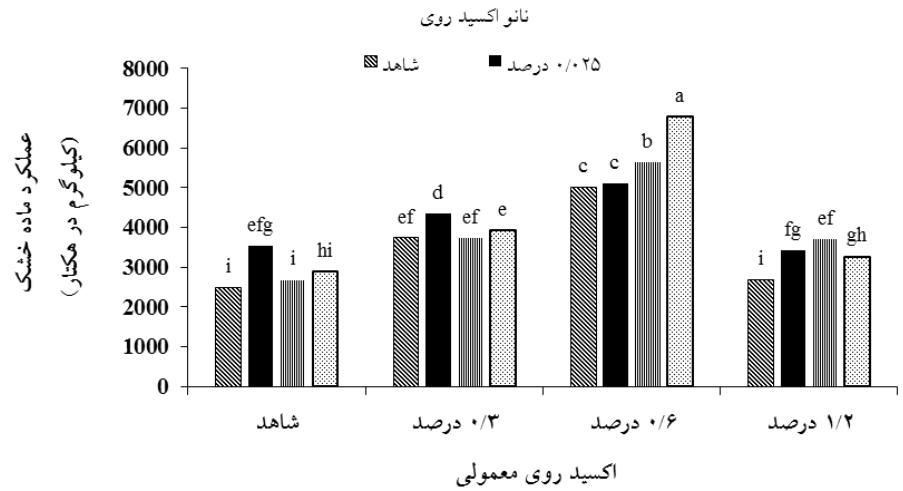
[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد و اجزای عملکرد تحت تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی

تیمارهای آزمایشی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	تعداد ردیف در بلال	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در بلال	وزن هزاردانه (گرم)
اکسید روی معمولی							
آب‌مقطر (شاهد)	۱۳۴/۰۰ c	۲۴۷۵۹ d	۳۵/۳۰ c	۱۲/۳۱ c	۲۳/۵۶ c	۲۹۳/۳۱ c	۲۸۵/۴۱ c
۰/۳ درصد	۱۶۱/۸۸ b	۶۹۰۷۱ b	۴۰/۹۵ b	۱۳/۳۷ b	۳۱/۳۱ b	۴۵۵/۰۰ b	۳۳۴/۵۳ b
۰/۶ درصد	۱۸۰/۵۵ a	۷۳۹۲۳ a	۴۶/۹۵ a	۱۴/۳۷ a	۳۹/۲۵ a	۵۳۷/۶۹ a	۳۶۷/۰۰ a
۱/۲ درصد	۱۵۸/۸۱ b	۵۵۹۱۷ c	۴۵/۵۵ a	۱۳/۳۷ b	۳۱/۱۲ b	۴۲۸/۶۹ b	۳۲۸/۹۸ b
نانو اکسید روی							
آب‌مقطر (شاهد)	۱۵۰/۰۰ c	۴۲۸۰۲ c	۴۰/۶۷ b	۱۲/۶۸ c	۲۸/۶۸ c	۳۶۹/۶۹ c	۳۱۵/۳۷ b
۰/۰۲۵ درصد	۱۵۸/۸۱ b	۵۵۹۱۸ b	۴۱/۰۵ b	۱۳/۲۵ b	۳۱/۲۵ b	۴۲۶/۳۱ b	۳۲۵/۳۰ b
۰/۰۵ درصد	۱۵۹/۲۲ b	۵۶۲۷۴ b	۴۲/۲۴ b	۱۳/۳۱ b	۳۱/۵۶ b	۴۲۸/۶۹ b	۳۲۸/۹۸ b
۰/۱ درصد	۱۶۷/۲۲ a	۶۸۶۷۵ a	۴۴/۸۰ a	۱۴/۱۸ a	۳۳/۷۵ a	۴۹۰/۰۰ a	۳۴۶/۲۶ a

بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

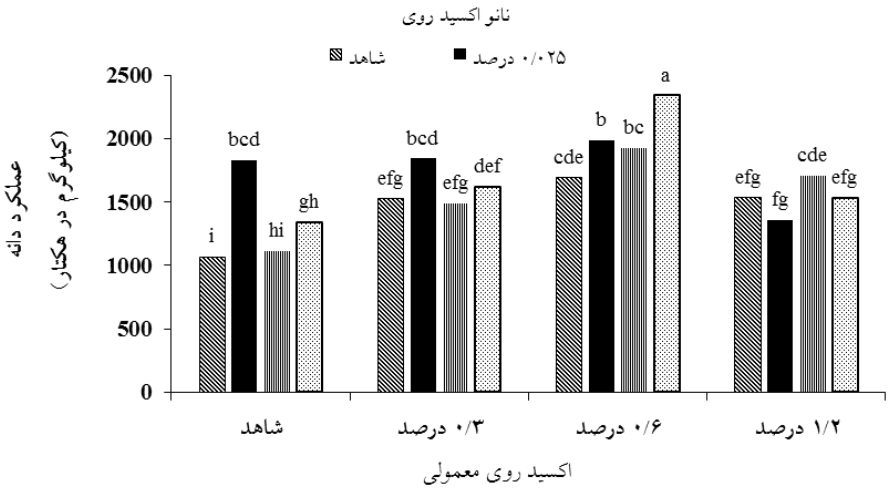


شکل ۱- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر ماده خشک. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

افزایش عملکرد ذرت تیمارشده با نانوذرات اکسید روی به افزایش رشد، بهبود عملکرد فیزیولوژیکی، بهینه‌سازی جذب مواد معدنی و تعادل اسمزی و تقویت مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی ناشی از محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی نسبت داده شد (Seleiman *et al.*, 2023b).

افزایش شاخص برداشت در نتیجه کاربرد نانوکودها می‌تواند ناشی از افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت به دلیل تأثیر مثبت این کودها باشد (خالصی و همکاران، ۱۴۰۱). در مطالعه Nekoukhou و Majidimehr (۲۰۲۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ویژگی‌های ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور، طول سنبله، تعداد سنبله و دانه در سنبله عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با عملکرد دانه وجود داشت. که حاکی از آن است که افزایش هر یک از این ویژگی‌ها منجر به بهبود عملکرد دانه می‌شود. از این رو به نظر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]



شکل ۲- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر عملکرد دانه. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴- تجزیه واریانس محتوای کلروفیل و کاروتنوئید برگ تحت تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
تکرار	۳	۰/۰۱۴۴۵ **	۰/۰۰۳۴۵ **	۰/۰۲۱۸ **	۰/۰۰۲۵۲ **
اکسید روی معمولی	۳	۰/۰۶۴۳۱ **	۰/۰۴۰۰۲ **	۰/۱۸۸۰ **	۰/۰۱۵۴۱ **
نانو اکسید روی	۳	۰/۰۴۶۶۷ **	۰/۰۱۲۸۰ **	۰/۰۴۶۴ **	۰/۰۰۶۴۷ **
اثرات متقابل اکسید روی و نانو	۹	۰/۰۰۰۸۳ ns	۰/۰۰۰۰۴ ns	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۰۰۰۴۳ **
خطای آزمایش	۴۵	۰/۰۰۰۵۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۳/۷۰	۲/۹۸	۲/۵۵	۴/۳۰

بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، **: تفاوت معنی‌دار با احتمال کمتر از یک درصد؛ ns: تفاوت معنی‌دار با احتمال بیش از پنج درصد (عدم تفاوت معنی‌دار)

می‌رسد که کاربرد اکسید روی معمولی و نانو می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای افزایش عملکرد دانه استفاده شود.

محتوای کلروفیل و کاروتنوئید: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده اکسید روی معمولی و اثر ساده نانو اکسید روی بر محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل، و همچنین اثرات متقابل عوامل بر محتوای کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل به ترتیب برابر با ۰/۶۶، ۰/۴۱ و ۱/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی بدست آمده است، به‌طوری‌که محتوای کلروفیل کل نسبت به شاهد ۳۰/۸۶ درصد بیشتر بود. همچنین بیشترین محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل به ترتیب برابر با ۰/۶۷، ۰/۳۷ و ۱/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار محلول‌پاشی ۰/۱ درصد نانو اکسید روی بدست آمد به طوری که با تیمار محلول-پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی اختلاف معنی‌داری نداشته است. بین این تیمار با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که محتوای کلروفیل کل نسبت به شاهد ۱۲/۶۲ درصد افزایش داشت (جدول ۵).

افزایش عملکرد فتوسنتزی را می‌توان به نقش یون Zn^{2+} به عنوان کوفاکتور چندین آنزیم متابولیک کلیدی، از جمله ترانسفرازها، ایزومرازها، هیدرولازها و لیگازها نسبت داد،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های محتوای کلروفیل برگ تحت تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی

تیمارهای آزمایشی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل
	(میلی‌گرم بر گرم وزن تر)		
اکسید روی معمولی			
آب‌مقطر (شاهد)	۰/۵۲ c	۰/۲۹ c	۰/۸۱ d
۰/۳ درصد	۰/۶۵ a	۰/۳۵ b	۱/۰۱ b
۰/۶ درصد	۰/۶۶ a	۰/۴۱ a	۱/۰۶ a
۱/۲ درصد	۰/۶۱ b	۰/۳۵ b	۰/۹۶ c
نانو اکسید روی			
آب‌مقطر (شاهد)	۰/۵۳ d	۰/۳۱ c	۰/۹۰ c
۰/۰۲۵ درصد	۰/۶۱ c	۰/۳۵ b	۰/۹۴ b
۰/۰۵ درصد	۰/۶۳ b	۰/۳۶ a	۰/۹۶ b
۰/۱ درصد	۰/۶۷ a	۰/۳۷ a	۱/۰۳ a

بر اساس آزمون دانکن ($P\leq0.05$)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

بنابراین به طور مستقیم عملکرد سلولی را در صورت موجود بودن در مقادیر کافی بهبود می‌بخشد (Garcia-Lopez *et al.*, 2019). احتمالاً با فعال‌شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی، کلروفیل‌سازی افزایش یافته که در پی آن بهبود فرآیند فتوسنتز اتفاق می‌افتد. پورفوبیلینوژن (Porphobilinogen) پیش‌ماده کلروفیل است که برای تشکیل این ماده منیزیم و روی مورد نیاز است، بنابراین در حضور روی تشکیل کلروفیل تسهیل می‌گردد و به دنبال آن فتوسنتز گیاه افزایش می‌یابد (Said-Al Ahl and Mahmoud, 2010). علاوه بر این عنصر روی بیوسنتز هورمون‌های گیاهی، یعنی اسید آبسیزیک، اکسین، جیبرلین و سیتوکینین، همچنین در پایداری غشای سلولی، توسعه کلروپلاست و تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش دارد (Zulfiqar and Ashraf, 2021). در یک مطالعه دیگر نیز محلول‌پاشی نانوذرات اکسید روی بر گیاه گندم فعالیت فتوسنتزی، متابولیسم و سرعت تعرق را با به حداقل رساندن آسیب اکسیداتیو دستگاه فتوسنتزی بهبود بخشید (Rizwan *et al.*, 2019). رستمی و همکاران (۱۳۹۹) اعلام کردند که بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن، کلروفیل‌های a و b بالاتری در مقایسه با شاهد داشتند.

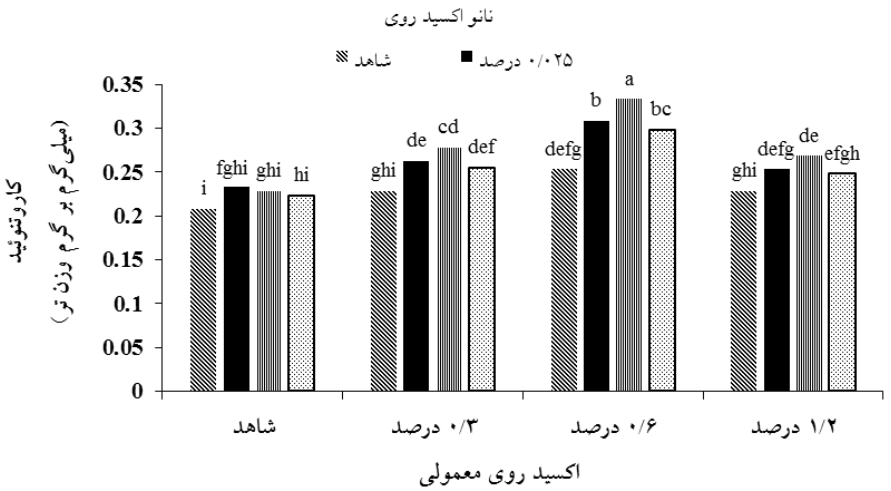
همچنین در آزمایش دیگری تغذیه برگی ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی سبب افزایش محتوای کلروفیل گیاه جو شد (سیدشریفی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات انجام‌شده توسط Ahmed و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که تیمار با غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات مس، اثر مثبتی بر شاخص کلروفیل برگ گندم داشت. در مطالعه دیگری Yadav و Kumar Sharma (۲۰۱۸) افزایش مقدار سطح برگ و کلروفیل با کاربرد سولفات روی در گیاه جو گزارش دادند.

مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که بیشترین محتوای کاروتنوئید برابر با ۰/۳۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۰۵ درصد نانو اکسید روی بدست آمده است، به‌طوری‌که نسبت به شاهد ۶۰ درصد افزایش نشان داد. در مقابل کمترین محتوای کاروتنوئید به میزان ۰/۲۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از شاهد بدست آمد (شکل ۳).

مشابه با نتایج این تحقیق، Nguyen و همکاران (۲۰۲۲) نیز دریافتند که تیمار با نانوذرات مس باعث بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی ذرت تحت تنش خشکی شد. همچنین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]



شکل ۳- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر میزان کاروتنوئید. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۶- تجزیه واریانس محتوای آنزیم و پروتئین برگ تحت تأثیر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی

منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین	پرولین	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز
تکرار	۳	۰/۱۱۰۸ **	۰/۱۰۲۴ *	۰/۰۷۵۲ **	۰/۰۰۲۶ **	۰/۰۰۰۶ ns
اکسید روی معمولی	۳	۰/۸۱۴۱ **	۲۱/۴۴۹ **	۰/۲۷۷۴ **	۰/۰۱۸۲ **	۰/۱۰۰۴ **
نانو اکسید روی	۳	۰/۴۹۵۸ **	۴/۸۶۰۲ **	۰/۱۶۵۳ **	۰/۰۰۶۴ **	۰/۰۸۷۶ **
اثرات متقابل اکسید روی و نانو	۹	۰/۴۳۰۰ **	۲/۱۱۰۸ **	۰/۰۴۴۹ **	۰/۰۰۲۸ **	۰/۰۳۰۳ **
خطای آزمایش	۴۵	۰/۰۲۳۵	۰/۰۳۵۰	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۱۲
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۹۲	۱۰/۴۰	۸/۶۵	۱۰/۴۸	۴/۴۳

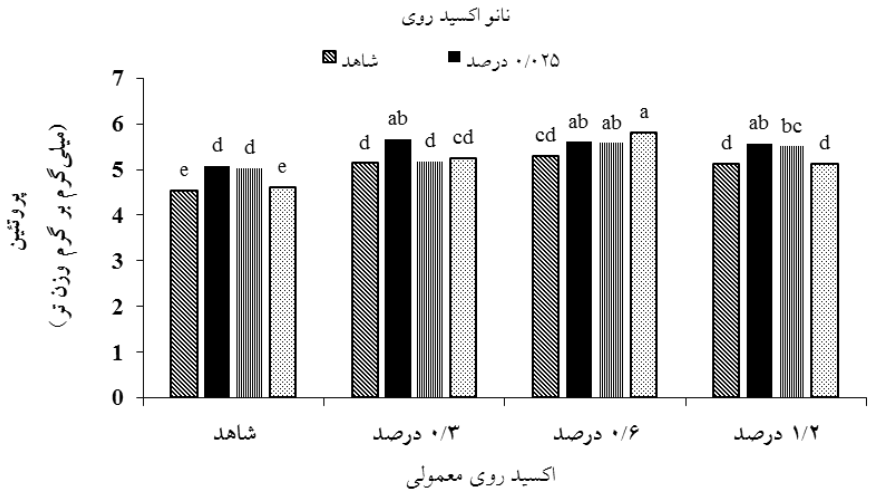
بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، **: تفاوت معنی‌دار با احتمال کمتر از یک درصد؛ ns: تفاوت معنی‌دار با احتمال بیش از پنج درصد (عدم تفاوت معنی‌دار)

Rawashdeh و Sala (۲۰۱۵) افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی را با محلول‌پاشی آهن در گندم گزارش کردند.

محتوای پروتئین و پرولین: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، محتوای پروتئین و پرولین تحت اثرات متقابل اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل نشان داد که بیشترین محتوای پروتئین برابر با ۵/۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی بدست آمده است، به طوری که نسبت به شاهد ۲۸/۰۳ درصد افزایش نشان داد. در مقابل کمترین محتوای پروتئین به میزان ۴/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از شاهد بدست آمد (شکل ۴).

روی به‌عنوان یک عنصر ساختمانی در RNA پلی‌مراز در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد و کاهش میزان پروتئین در گیاهان دارای کمبود روی نتیجه افزایش تجزیه RNA است (Marschner, 2011). در همین راستا، Rodriguez (۲۰۱۶) اعلام کرد که در شرایط کمبود روی میزان بالایی از RNAase وجود دارد. بنابراین می‌توان از وجود یک ارتباط مستقیم بین کاربرد روی و فعالیت RNAase و میزان پروتئین گیاه خبر داد. مشخص شده است که بین غلظت پروتئین و غلظت آهن و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]



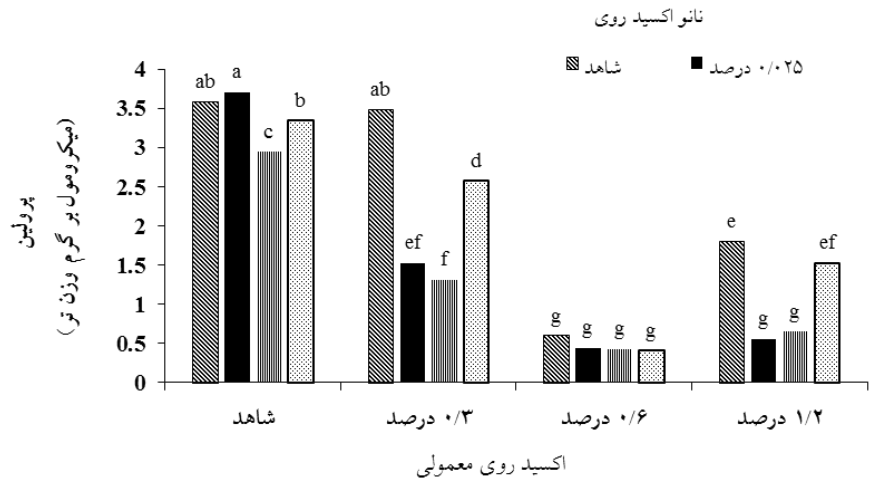
شکل ۴- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر میزان پروتئین. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

روی در ذرت ارتباطی نزدیک و مثبت وجود دارد (Mahil and Kumar, 2019). در پژوهش رستمی و همکاران (۱۳۹۹) استفاده از نانواکسید روی و آهن موجب افزایش غلظت پروتئین محلول گیاهچه‌های گندم نسبت به شاهد شد. عنصر روی در اکثر فرآیندهای سلولی ضروری مانند تکثیر DNA، رونویسی و سنتز پروتئین، و بیوسنتز کلروفیل، لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و هورمون‌ها، روی نقش مهمی را به عنوان عامل کمکی چندین آنزیم کلیدی ایفا می‌کند (Bana *et al.*, 2021; Sturikova *et al.*, 2018; Seleiman *et al.*, 2023b). به همین ترتیب، پرایمینگ بذر گیاه گندم با نانوذرات اکسید روی با موفقیت ساختارهای سلولی و تعادل پروفایل الکتروفورتیک پروتئین‌های شاخساره را بهبود بخشید و تولید کلروفیل و عملکرد فتوسنتزی را افزایش داد (Abou-Zeid *et al.*, 2021).

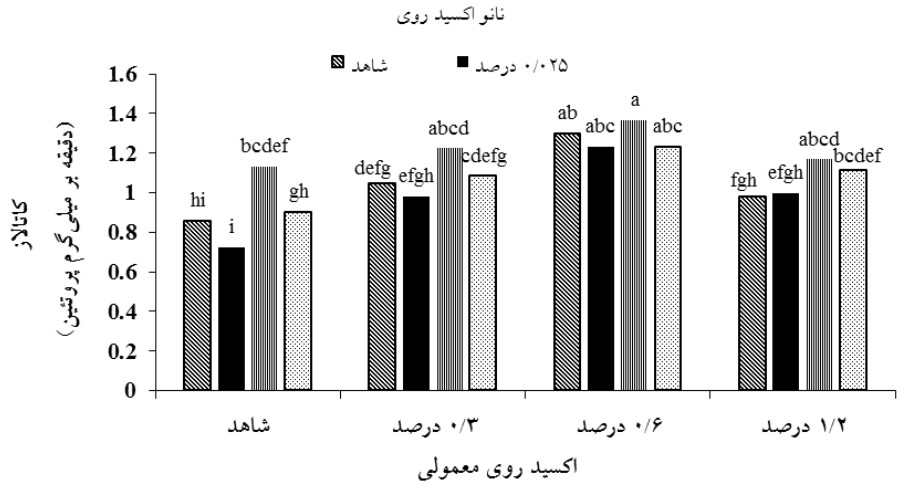
همچنین بیشترین میزان پرولین برابر با ۳/۷۱ میکرومول بر گرم وزن تر برگ در شاهد به همراه محلول‌پاشی ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی و کمترین میزان پرولین با ۸۹/۲ درصد کاهش به میزان ۰/۴۰ میکرومول بر گرم وزن تر برگ از تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی مشاهده شد (شکل ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود تیمار نانو اکسید روی بیشترین تأثیر را بر میزان پرولین داشته است. هم راستا با این نتایج، پژوهش رستمی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که استفاده از عنصر روی، از طریق افزایش ترکیبات اسمولیت درون‌سلولی (پرولین آزاد و قندهای محلول) و کاهش پتانسیل درون گیاه که موجب بهبود جذب آب می‌گردد، اثرات مثبتی بر سبزشدن و رشد اولیه گیاهچه دارد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت اثرات متقابل اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل، بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب برابر با ۱/۳۶، ۰/۲۹۹ و ۱/۰۵ دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بود. بیشترین میزان کاتالاز در تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۰۵ درصد نانو اکسید روی، میزان گایاکول پراکسیداز در تیمار محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی، و میزان سوپراکسید دیسموتاز در تیمار محلول‌پاشی ۰/۳ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی مشاهده شد. در مقابل کمترین میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب برابر با ۰/۷۲۳، ۰/۱۴۱ و ۰/۵۵۰ دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بود. کمترین میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]



شکل ۵- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر میزان پرولین. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

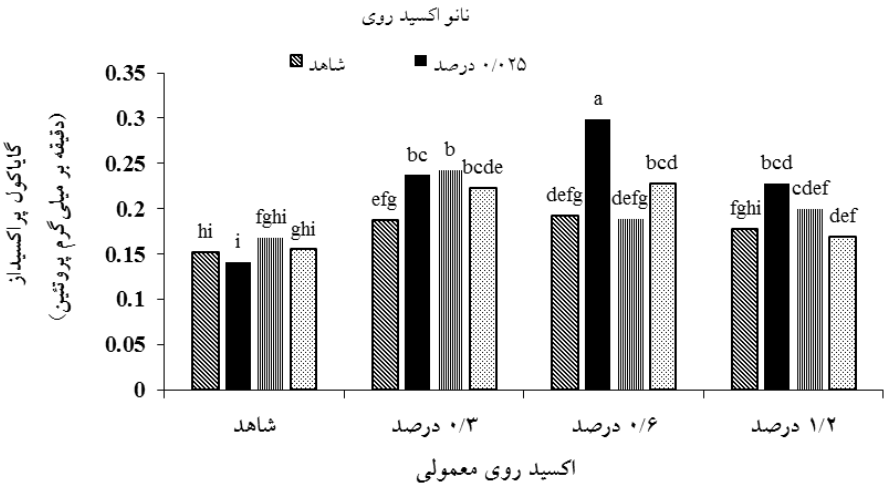


شکل ۶- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر محتوای آنزیم کاتالاز. بر اساس آزمون دانکن (p≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

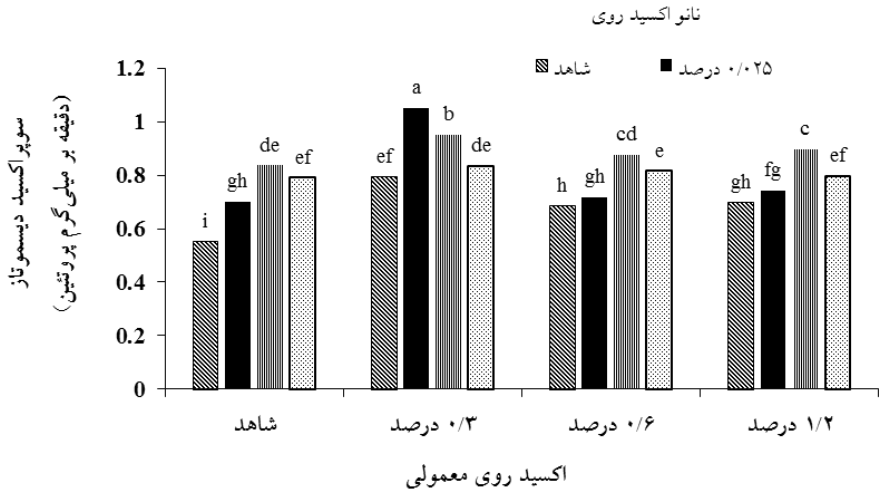
کاتالاز و گایاکول پراکسیداز از شاهد به همراه ۰/۰۲۵ درصد نانو اکسید روی بدست آمد، و کمترین میزان سوپراکسید دیسموتاز در شاهد مشاهده شد (شکل ۶، ۷، ۸).

محققان اظهار داشتند که یون‌های فلزی به عنوان کوفاکتور در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مشارکت داشته و با افزایش میزان عناصر کم‌مصرف موجب افزایش فعالیت این آنزیم‌ها می‌گردند (Waqas Mazhar *et al.*, 2022). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز در گیاه باعث حذف گونه‌های فعال اکسیژن شده در نتیجه با محافظت از بذرها در برابر پراکسیداسیون لیپیدی و آسیب اکسیداتیو فسفولیپیدهای غشایی باعث حفظ کیفیت و قدرت بذر می‌شود (Pawar and Laware, 2018). در پژوهش دیگری بابایی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش دادند که محلول‌پاشی روی به ویژه به فرم نانو اثر مثبتی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز داشته است. همچنین نتایج پژوهش افروز و شیخ‌زاده (۱۴۰۲) نشان داد که نانو اکسید آهن از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ذرت هیبرید سینگل

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]
[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]



شکل ۷- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر محتوای آنزیم گایاکول پراکسیداز. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۸- اثرات متقابل سطوح اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز. بر اساس آزمون دانکن (P≤0.05)، میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری ندارند.

کراس ۷۰۴، موجب افزایش معنی‌دار طول و وزن خشک گیاهچه‌های ذرت گردید.

بر اساس برخی از مطالعات اخیر، محلول‌پاشی نانو اکسید روی با بهبود مکانیسم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیمی آنتی‌اکسیدان‌ها و ارتقای متابولیسم کربوهیدرات، تنش‌های غیرزیستی را در گیاهان کاهش می‌دهد (Singh *et al.*, 2021; Adrees *et al.*, 2021; Adil *et al.*, 2022; Aqeel *et al.*, 2022). نتایج پژوهش Seleiman و همکاران (۲۰۲۳a) نشان داد که محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی به‌طور قابل‌توجهی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز را بهبود بخشید. همچنین Ali و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات اکسید روی بر گیاه جو زراعی به‌طور قابل توجهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی (به طور مثال، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) را در بافت‌های برگ ۹ ژنوتیپ جو بهبود بخشید.

نتیجه‌گیری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی اکولوژیک و تقاضای مواد خام گیاهی برای تولید غذا، اتخاذ تصمیمات ایمن برای تولیدات کشاورزی را ضروری می‌سازد. با استفاده از نانوذرات عناصر غذایی، می‌توان مدیریت تغذیه گیاهان را بهبود بخشید. فناوری نانو با تغییر و اثرگذاری در فرمولاسیون کودها و تولید موادی با ویژگی‌های مناسب (نانو کود شیمیایی، نانو کود آلی و نانو کود بیولوژیک) می‌تواند نقش مهمی را در این زمینه ایفا کند. یافته‌های پژوهش نشان داد که صفات مورد بررسی به طور معنی‌داری تحت اثر اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی قرار گرفتند. با توجه به یافته‌های پژوهش، به‌طورکلی محلول‌پاشی ۰/۶ درصد اکسید روی معمولی به همراه ۰/۱ درصد نانو اکسید روی جهت بهبود صفات کمی و کیفی گیاه ذرت پیشنهاد می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد که کاربرد اکسید روی معمولی و نانو می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای بهبود رشد و فیزیولوژی گیاه ذرت مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیریت و اعضای محترم گروه زیست‌شناسی دانشگاه اراک و همچنین گروه زراعت دانشگاه زابل و کارشناسان محترم مرکز جهاد کشاورزی شهرستان زاهدان به دلیل همکاری صمیمانه و فعالانه در اجرای هر چه بهتر این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع

افروز، مهدی، و شیخ‌زاده، پریسا (۱۴۰۲). بهبود جوانه‌زنی، رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ با کاربرد نانواکسید آهن سنتزشده از گیاه پونه کوهی (*Origanum vulgare*). *نشریه علوم و فناوری بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۶۰-۴۱. https://doi.org/10.22092/ijsst.2022.359765.1447

بابایی، خدیجه، سیدشریفی، رئوف، و پیرزاد، علیرضا (۱۳۹۹). اثر کودهای بیولوژیک و نانو اکسید آهن و روی بر عملکرد کوانتومی و روند پرشدن دانه گندم در شرایط شوری خاک. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۰(۱)، ۷۳-۹۴. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.1.5.6

خالصی، علیرضا، افشارمنش، غلامرضا، و شیرزادی، محمدحسن (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد نسبت نانو کلات‌های روی و آهن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.). *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی (علوم کشاورزی)*، ۱۶(۶۱)، ۱۱۵-۱۳۲. https://sid.ir/paper/998814/fa

رستمی، مجید، جوادی، احمد، و حسینی‌زاده، سید مجید (۱۳۹۹). القای مقاومت به تنش شوری در بذرهای بدست آمده از بوته‌های گندم محلول‌پاشی شده با نانواکسید روی و آهن. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*،۳۳(۳)، ۵۹۳-۶۰۶. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.3.5.9

سیدشریفی، رئوف، کمری، حسین، و نجفی، قاسم (۱۳۹۴). تأثیر تنش شوری و تغذیه برگی با نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی جو (*Hordeum vulgare* L.). *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۳(۲)، ۳۹۹-۴۱۰. https://doi.org/10.22067/gsc.v13i2.36016

Abou-Zeid, H. M., Ismail, G. S. M., & Abdel-Latif, S. A. (2021). Influence of seed priming with ZnO nanoparticles on the salt-induced damages in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, *44*, 629-643. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849288

Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., Asghar, R. M. A., Alkahtani, J., Dwiningsih, Y., & Elshikh, M. S. (2022). Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 932861. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932861

Adrees, M., Khan, Z. S., Hafeez, M., Rizwan, M., Hussain, K., Asrar, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ali, S. (2021). Foliar exposure of zinc oxide nanoparticles improved the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) and

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

decreased cadmium concentration in grains under simultaneous Cd and water deficient stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 208*, 111627. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111627

Ahmed, F., Javed, B., Razzaq, A., & Mashwan, Z. R. (2021). Applications of copper and silver nanoparticles on wheat plants to induce drought tolerance and increase yield. *IET Nanobiotechnology, 15*, 68-78. https://doi.org/10.1049/nbt2.12002

Ali, B., Saleem, M. H., Ali, S., Shahid, M., Sagir, M., Tahir, M. B., Qureshi, K. A., Jaremko, M., Selim, S., & Hussain, A. (2022). Mitigation of salinity stress in barley genotypes with variable salt tolerance by application of zinc oxide nanoparticles. *Frontiers in Plant Science, 13*, 973782. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.973782

Aqeel, U., Aftab, T., Khan, M. M. A., Naeem, M., & Khan, M. N. (2022). A comprehensive review of impacts of diverse nanoparticles on growth, development and physiological adjustments in plants under changing environment. *Chemosphere, 291*, 132672. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132672

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology, 24*, 1-15. https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1

Bana, R. C., Gupta, A. K., Bana, R. S., Shivay, Y. S., Bamboriya, S. D., Thakur, N. P., Puniya, R., Gupta, M., Jakhar, S. R., & Kailash Chaudhary, R. S. (2021). Zinc-coated urea for enhanced zinc biofortification, nitrogen use efficiency and yield of basmati rice under typic fluvents. *Sustainability, 14*, 104. https://doi.org/10.3390/su14010104

Bates, L. S., Waldern, R. P., & Teave, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205-207.

Chance, B, & Maehly, A. C. (1995). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in Enzymology, 2*, 764-775. http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8

Chen, J., Liu, X., Wang, C., Yin, S. S., Li, X. L., Hu, W. J., Simon, M., Shen, Z. J., Xiao, Q., Chu, C. C., & Peng, X. X. (2015). Nitric oxide ameliorates zink oxide nanoparticles-induced phytotoxicity in rice seedlings. *Journal of Hazardous Materials, 297*, 173-182. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.077

Faizan, M., Bhat, J. A., Hessini, K., Yu, F., & Ahmad, P. (2021). Zinc oxide nanoparticles alleviates the adverse effects of cadmium stress on *Oryza sativa* via modulation of the photosynthesis and antioxidant defense system. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 220*, 112401. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112401

Garcia-Lopez, J. I., Nino-Medina, G., Olivares-Saenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Barriga-Castro, E. D., Vazquez-Alvarado, R., Rodriguez-Salinas, P. A., & Zavala-Garcia, F. (2019). Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants, 8*, 254. https://doi.org/10.3390/plants8080254

Giannopolitis, C. N, & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology, 59*, 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

Gomaa, M. A., Kandil, E. E., Amera, M., & Ibrahim, M. (2020). Response of maize to organic fertilization and some nano-micronutrients. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 11*(1), 13-20. https://doi.org/10.21608/eajbsh.2020.81409

Hussein, M. M, & Abou-Baker, N. H. (2018). The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. *Royal Society Open Science, 5*, 171809. https://doi.org/10.1098/rsos.171809

Kjeldahl, J. (1883). Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen korpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift fur Analytische Chemie, 22*(1), 366-383.

Kouhbanani, M. A. J., Beheshtkhoo, N., Taghizadeh, S., Amani, A. M., & Alimardani, V. (2019). Onestep green synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles using aqueous leaf extract of *Teucrium polium* and their catalytic application in dye degradation. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology (ANSN), 10*(1), 1-6. https://doi.org/10.1088/2043-6254/aafe74

Mac-Adam, J. W, & Nelson Sharp, C. J. (1992). Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology, 99*, 872-878.

Mahil, E. I. T, & Kumar, B. N. A. (2019). Foliar application of nanofertilizers in agricultural crops. A review. *Journal of Farm Science, 32*(3), 239-249. https://www.researchgate.net/publication/336669474_Foliar_application_of_nanofertilizers_in_agricultural_crops_-A_review

Marschner, H. (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3th Ed. Academic press. https://shop.elsevier.com/books/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants/marschner/978-0-12-384905-2

Mimmo, T., Del-Buono, R. D., Terzano Tomasi, N., Vigani, G., Crecchio, C., Pinton, R., Zocchi, G., & Cesco, S. (2014). Rhizospheric organic compounds in the soil–microorganism–plant system: their role in iron availability. *European Journal of Soil Science, 65*(5), 629-642. http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12158

Møller, I. M., Taiz, L., Zeiger, E., & Murphy, A. (2018). Plant physiology and development. Sinauer Associates, Incorporated. http://dx.doi.org/10.1093/hesc/9780197614204.001.0001

Marjan Nekoukhou, M, & Majidimehr, A. (2021). Study of zinc chelate foliar application on yield, yield components and harvest index some from of bread wheat cultivars in Esfahan weather conditions. *Journal of Plant Ecophysiology, 13(44)*, 29-42.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

Nguyen, D. V., Nguyen, H. M., Le, N. T., Nguyen, K. H., Le, H. M., Nguyen, A. T., Dinh, N. T. T., Hoang, S. A., & Ha, C. V. (2022). Copper nanoparticle application enhances plant growth and grain yield in maize under drought stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation, 41,* 364-375. https://doi.org/10.1101/2020.02.24.963132

Pawar, V. A, & Laware, S. L. (2018). Seed priming: A critical review. *International Journal of Scientific Research in Sciences, 5*(5), 94-101. http://dx.doi.org/10.26438/ijsrbs/v5i5.94101

Rawashdeh, H, & Sala, F. (2015). Effect of some micronutrients on growth and yield of wheat and its leaves and grain content of iron and boron. *Bulletin USAMV series Agriculture, 72*(2), 503-508. https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:11334

Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., Zia ur Rehman, M., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere, 214*, 269-277. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120

Rodriguez, M. N. G. (2016). Evaluation of secondary and micronutrients in Kansas, Doctoral dissertation, Kansas State University. https://krex.k-state.edu/items/f9124fe6-46d9-438b-90a9-613c3224d040

Said-Al Ahl, H. A. H, & 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. https://www.researchgate.net/publication/228443153_Effect_of_zinc_andor_iron_foliar_application_on_growth_and_essential_oil_of_sweet_basil_Ocimum_basilicum_L_under_salt_stress

Seleiman, M. F., Ahmad, A., Alhammad, B. A., & Tola, E. (2023a). Exogenous application of zinc oxide nanoparticles improved antioxidants, photosynthetic, and yield traits in salt-stressed maize. *Agronomy, 13,* 2645. https://doi.org/10.3390/agronomy13102645

Seleiman, M. F., Ahmad, A., Battaglia, M. L., Bilal, H. M., Alhammad, B. A., & Khan, N. (2023b). Zinc oxide nanoparticles: A unique salinity mitigator with the potential to increase future crop production. *South African Journal of Botany, 159*, 208-218. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.009

Shang, Y., Hasan, M. K., Ahammed, G. J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. *Molecules, 24*, 2558. https://doi.org/10.3390/molecules24142558

Singh, M. (1981). Effect of zinc, phosphorus and nitrogen on tryptophan concentration in rice grains grown on limed and unlimed soils. *Plant and Soil, 62*(2), 305-308. https://dx.doi.org/10.1007/bf02374094

Singh, R. P., Handa, R., & Manchanda, G. (2021). Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. *Journal of Controlled Release, 329,* 1234-1248. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.051

Sturikova, H., Krystofova, O., Huska, D., & Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials, 349,* 101-110. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040

Waqas Mazhar, M., Ishtiaq, M., Maqbool, M., Akram, R., Shahid, A., Shokralla, S., Al-Ghobari, H., Alataway, A., Dewidar, A. Z., El-Sabrout, A. M., & Elansary, H. O. (2022). Seed priming with iron oxide nanoparticles raises biomass production and agronomic profile of water-stressed flax plants. *Agronomy, 12*(5), 982. https://doi.org/10.3390/agronomy12050982

Yadav, N, & Kumar Sharma, Y. (2018). Enhancement of Zn density in Barley (*Hordeum vulgare*) grain: A Physiological approach. *Asian Journal of Plant Science and Research, 8*(4), 13-17. https://www.researchgate.net/publication/332698676_Enhancement_of_Zn_density_in_Barley_Hordeum_vulgare_grain_A_Physiological_approach

Zulfiqar, F, & Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry, 160,* 257-268. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.028

Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N. A., & Munn'e-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant science, 289,* 110270. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]

The effect of zinc oxide and nano zinc oxide on the growth and physiology traits of maize (*Zea mays* L.)

Zahra Dahmardeh[1], Mohammad-Reza Amirjani[1], Mehdi Dahmardeh[2] and Majid Mahdieh[1*]

[1] Department of Biology, Faculty of Science, Arak University, Arak, 38156–8–8349, Iran
[2] Department of Agronomy, Zabol University, Zabol, Iran
(Received: 2024/06/30, Accepted: 2024/12/03)

Abstract

Finding sustainable and environmentally friendly strategic approaches to increasing food production is of vital importance for future food security. The use of nanotechnology is a promising approach in agriculture. However, determination of efficient and cost-effective concentrations according to the desired plant species needs further investigation. Therefore, the current study was conducted with the aim of evaluating the effect of nano-zinc oxide on the growth and physiological traits of maize plants in the spring of 2023 in Zahedan city. The experiment was conducted as a factorial design in a randomized complete block design with four replications. Zinc foliar spray treatment in the form of zinc oxide at four levels (distilled water (control), 0.3, 0.6, and 1.2%) was considered the first factor, and nano zinc oxide treatment at four levels (distilled water (control), 0.025, 0.05 and 0.1%) was considered the second factor. The results showed that the investigated traits were significantly affected by zinc oxide and nano zinc oxide. Means comparison of interaction effects showed that the highest dry matter yield (6802.5 kg/ha), grain yield (2340 kg/ha), and protein content (5.8 mg/g fresh leaf weight) were obtained from the foliar spray treatment of 0.06% zinc oxide together with 0.1% nano zinc oxide. The highest activities of the enzymes' catalase, guaiacol peroxidase and superoxide dismutase enzymes were 1.36, 0.299 and 1.05 per minute per mg of protein, respectively. The highest amount of catalase in the foliar treatment is 0.6% normal zinc oxide along with 0.05% nano zinc oxide; the amount of guaiacol peroxidase in the foliar treatment is 0.6% zinc oxide along with 0.025% nano zinc oxide; and the amount of superoxide dismutase in the foliar treatment is 0.3% zinc oxide together with 0.025% nano zinc oxide was observed. According to the findings of the research, foliar spraying of 0.6% zinc oxide together with 0.1% nano zinc oxide is suggested to improve the quantitative and qualitative traits of the maize plant.

Keywords: Protein, Yield and yield components, Microelement, Catalase, Chlorophyll

Corresponding author, Email: m-mahdiyeh@araku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOI: DOI: 10.22034/14.66.99]