

## کارایی نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) سنتز شده بر جذب روی و برخی شاخص‌های رشدی گندم

علی عبدالهی<sup>۱</sup>، \* مجتبی نوروزی مصیر<sup>۲</sup>، مهدی تقوی زاهدکلائی<sup>۳</sup> و عبدالامیر معزی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، <sup>۲</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،

<sup>۳</sup> استادیار گروه شیمی، دانشگاه شهید چمران اهواز، <sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی مانند روی یکی از مشکلات رایج در خاک‌های سراسر دنیا به‌ویژه خاک‌های آهکی است. نانوذرات اکسید روی برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای این عنصر در محصولات زراعی و افزایش عملکرد رو به افزایش است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات نانوذرات اکسید روی بر عملکرد، غلظت و جذب روی در ریشه و اندام هوایی گندم تحت کشت گلخانه‌ای در یک خاک آهکی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کود شیمیایی سولفات روی (ZnSO<sub>4</sub>) به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بودند. طی دوره آزمایش ویژگی‌هایی مانند ارتفاع گیاه و شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شد. در پایان دوره کشت، وزن خشک و غلظت روی ریشه، اندام هوایی و دانه با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همچنین پ.هاش و مقدار روی قابل دسترس خاک نیز به ترتیب با استفاده از پ.هاش‌متر و عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** مقدار روی قابل دسترس خاک در هر یک از سطوح نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد. بیش‌ترین مقدار روی قابل دسترس خاک در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی با افزایش ۵۲/۷۳٪ نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. تأثیر تیمارهای نانوذرات اکسید روی و سولفات روی بر وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و کلروفیل در سطح ۱ درصد و بر وزن خشک ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. ترتیب عملکرد اندام هوایی و ریشه، غلظت و جذب روی در تیمارها به‌صورت ZnSO<sub>4</sub> < ZnO NPs100 < ZnO NPs200 < ZnO NPs300 بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد ریشه، ساقه و دانه در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی به ترتیب با افزایش ۴۳/۰۲، ۲۴/۹۱ و ۳۷/۰۸٪ نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد. بیش‌ترین مقدار غلظت روی در ریشه و اندام هوایی به ترتیب با افزایش ۶۲/۱۱ و ۱۱۱/۱۹٪ در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش جذب روی ساقه و دانه داشتند. بیش‌ترین مقدار غلظت و جذب روی دانه نیز در سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد.

\* مسئول مکاتبه: [m.norouzi@scu.ac.ir](mailto:m.norouzi@scu.ac.ir)

**نتیجه گیری:** نتایج نشان داد که استفاده از نانوذرات اکسید روی موجب افزایش عملکرد، غلظت و جذب عنصر روی ریشه و اندام هوایی گندم شد. بنابراین می توان کاربرد نانوذرات را به عنوان یکی از روش های نوین جهت بهبود عملکرد و کیفیت محصولات زراعی و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در نظر گرفت.

**واژه های کلیدی:** کود شیمیایی، جذب روی، گندم، نانوذرات اکسید روی

### مقدمه

محصولات زراعی مبتلا به کمبود روی اثرات منفی بر روی رشد و سلامت انسان داشته و یک سوم مردم دنیا را تحت تأثیر قرار داده است (۲، ۶ و ۴۷). حد بحرانی روی در خاک ها، ۱ میلی گرم در کیلوگرم (۳۶) و در بافت های گیاهی بین ۱۵ تا ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم است (۲۸).

رویکردهای مدیریتی غلط در راستای برطرف نمودن کمبود عناصر غذایی در محصولات کشاورزی و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی موجب ایجاد آلودگی های زیست محیطی شده و به دنبال آن سلامت انسان و سایر موجودات را به خطر انداخته است. بنابراین استفاده از روش های نوین در جهت توسعه پایدار و افزایش عملکرد باید در نظر گرفته شود. برای کاهش تخریب منابع آب، خاک و هوا در اثر مصرف مواد شیمیایی مختلف و برای افزایش کارایی مصرف نهاده های تولید و سلامت غذا و محیط جایگزینی کودها و مکمل های شیمیایی با روش های جدیدی مانند تیمارهای فیزیکی و استفاده از ترکیبات نانو، پیشنهاد شده است (۱). پیشرفت در فناوری نانو ابزاری کارآمد جهت استفاده از ترکیبات شیمیایی در کشاورزی فراهم کرده و در نتیجه باعث کاهش مصرف مواد شیمیایی می شود (۵۳). نانوذرات ممکن است در بخش های مختلف کشاورزی مانند مصرف کود و مدیریت آبیاری کاربرد داشته باشد. بنابراین، کشاورزی مبتنی بر فناوری نانو می تواند تولید مواد غذایی با کیفیت را افزایش دهد (۴۵). کاربرد و ترویج

بیش از ۸۰ درصد از زمین های کشاورزی از کمبود روی رنج می برند و گیاهان رشد یافته در این زمین ها ممکن است دچار کمبود روی باشند که در نتیجه عملکرد آن ها کاهش می یابد (۲۶). کمبود روی در خاک های آهکی سراسر دنیا از جمله ایران وجود دارد. از دلایل عمده کمبود روی در خاک های ایران می توان به پ.هاش بالای خاک، آهکی بودن خاک، مصرف بیش از حد از کودهای فسفاته، غلظت بالای بیکربنات در آب های آبیاری و عدم استفاده از کودهای حاوی روی در خاک اشاره نمود (۱۰ و ۱۴). روی یکی از عناصر ضروری گیاه است که نقش های متابولیکی زیادی در گیاه دارد. از مهم ترین آن ها حضور در ساختمان بسیاری از آنزیم ها مانند هیدروژنازها، پروتئازها، پپتیدازها و فسفوهیدرلازها است (۲۸) همچنین این عنصر در قسمت های فعال گیاه مانند برگ ها، شاخه های جوان، جوانه های برگ، گل و گیاه تجمع می یابد. این عنصر بیش تر به صورت  $Zn^{2+}$  جذب شده و در پ.هاش بالا به صورت هیدروکسید روی ( $Zn(OH)_2$ ) نیز توسط گیاه جذب شود (۲۷). یکی از بهترین روش ها برای برطرف نمودن کمبود روی، غنی سازی زیستی - زراعی محصولات کشاورزی است (۲۶). بنابراین با توجه به موارد گفته شده می توان گفت که گیاهان رشد یافته در خاک های آهکی در معرض کمبود عناصر غذایی کم مصرف کاتیونی مانند روی قرار دارند. مصرف

فناوری نانو برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف کود ضروری به نظر می‌رسد (۴۸).

اگرچه در رابطه با اثر کودها در ابعاد نانو بر رشد گیاه مطالعات بسیار محدودی انجام شده است (۱۹)، اما در سال‌های اخیر، نحوه تأثیر عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است (۸، ۳۴، ۳۹، ۴۵ و ۴۹). تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و فعالیت‌های کاتالیزوری آن‌ها را تغییر می‌دهد و سبب افزایش فعالیت‌های شیمیایی و نفوذپذیری این ذرات به غشای سلولی می‌شود (۳۰). نانوذرات به دلیل انحلال‌پذیری بیشتر، وارد غشای سلولی شده و فعالیت‌های شیمیایی را افزایش می‌دهد.

تأثیر نانوذرات بر گیاهان به ویژگی‌های نانوذرات، غلظت مورد استفاده، شیوه کاربرد آن‌ها و گونه گیاهی بستگی دارد (۲۰، ۵۱ و ۵۶). حلالیت، تراکم و تغییر ویژگی‌های سطحی نانوذرات اکسید روی ممکن است قابلیت دسترسی زیستی این ذرات را تغییر دهد (۳۳). به نظر می‌رسد واکنش‌های اصلی نانوذرات در سیستم‌های خاک و گیاه، شامل تجمع و انحلال نانوذرات در خاک، برهمکنش با ترشحات ریشه‌ای و جذب روی سطح ریشه باشد (۳۵). علاوه بر نوع و غلظت نانوذرات، ویژگی‌های مختلف خاک مثل pH، هاش، مقدار ماده آلی و هدایت الکتریکی، قابلیت دسترسی نانوذرات را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۲). از جمله نانوذرات مورد استفاده در پژوهش‌های کشاورزی می‌توان به نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs) اشاره کرد که دارای سطح ویژه بسیار بالایی می‌باشد. تاکنون اغلب مطالعات در زمینه تأثیر نانوذرات اکسید روی بر رشد گیاه در محیط کشت هیدروپونیک بوده است (۹، ۲۳ و ۲۴). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که نانوذرات روی توسط ریشه‌های جوانه ماش و

نخود، را جذب شد و طول ریشه، بخش هوایی و زیست‌توده ریشه و بخش هوایی افزایش یافت (۲۵ و ۴۲). رالیا و طرفدار (۲۰۱۳) گزارش کردند که نانوذرات روی موجب افزایش رشد ریشه و عملکرد اندام هوایی گیاه گوآر<sup>۱</sup> شده است (۴۴).

در آزمایشی که بر روی گیاه نخودفرنگی صورت گرفت، مشاهده شده که نانوذرات اکسید روی با قطر ۲۰-۳۰ نانومتر موجب افزایش سطوح هورمون ایندول استیک‌اسید در ریشه‌ها شد. همچنین با افزایش هورمون اکسین، درصد جوانه‌زنی و رشد ریشه نخودفرنگی افزایش یافت (۴).

تیمار دانه‌های بادام‌زمینی با نانوذرات اکسید روی، ویژگی‌های عملکردی را در مقایسه با کود شیمیایی سولفات روی افزایش داد (۴۲). امیرجانی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش نمودند که نانوذرات اکسید روی سبب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک بخش هوایی، سطح برگ و طول ریشه گیاه گندم شدند ولی با افزایش غلظت نانو ذرات (۳، ۶، ۹ و ۱۲ میکرومولار)، این شاخص‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، آن‌ها دلیل این کاهش را تنش عناصر سنگین از جمله روی دانستند (۳). این یافته‌ها نشان می‌دهد که با وجود تأثیر مثبت نانوذرات بر رشد گیاه، باید جهت جلوگیری از خطر ایجاد سمیت برای گیاه، مقادیر مناسب نانوذرات اکسید روی به خاک افزوده شود. گیاهانی که در حضور نانوذرات اکسید روی رشد می‌کنند به نانوذرات و یون روی آزاد شده از آن‌ها پاسخ نشان می‌دهند، بنابراین فاکتورهایی که حلالیت روی از نانوذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد در پاسخ گیاه دارای اهمیت می‌باشد (۵۵). با این وجود تاکنون در زمینه تأثیر کاربرد نانوذرات اکسید روی در خاک و ارزیابی کارایی این ترکیبات بر عملکرد، غلظت و جذب روی

1- *Cyamopsis tetragonoloba* L.

این که غلظت محلول اولیه حفظ شود، در روی بالن ته‌گرد یک مبرد نصب شد تا آبی که تبخیر می‌شود به مایع تبدیل شود. بعد از ۲ ساعت، حرارت دادن متوقف شد تا محلول با هم‌زدن سرد شود. بعد از سرد شدن، محلول با استفاده از یک فیلتر آب‌گریز پلی‌تترا فلئورو اتیلن (PTFE) با سایز ۰/۱ میکرومتر صاف شد. محصول با استفاده از اتانول سه بار شسته شد تا مواد آلی آن حذف شود. پودر در محلول اتانول با استفاده از حمام فراصوت<sup>۱</sup> پراکنده شد و در یک آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب انتخاب و بعد از هوا خشک شدن برخی ویژگی‌های اولیه آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۴۶)، هدایت الکتریکی و پ.هاش خاک در عصاره ۱:۱ خاک به آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش ختنی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۵)، فسفر قابل‌دسترس به روش اولسن (۴۰)، پتاسیم قابل‌دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیترژن به روش کجلدال تعیین گردیدند (۱۲). برای اندازه‌گیری روی قابل‌دسترس خاک از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد و غلظت روی در عصاره به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر آ-آنالیز ۲۰۰) قرائت شد (۲۲). خاک مورد آزمایش بر اساس حد بحرانی کمبود روی در خاک (۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۳۶)، دچار کمبود شدید روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (روی قابل‌دسترس) بود (جدول ۱). برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. مدیریت کودی بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد (۳۱). بذر گندم پس از ضدعفونی کردن با

در گیاه گندم مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی بر برخی ویژگی‌های رشدی، غلظت و جذب روی در گندم می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش تأثیر نانوذرات به صورت جامد و ترکیب شده با خاک بر روی گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم چمران مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش شامل نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، کود شیمیایی سولفات روی به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد بود. مقدار کود شیمیایی سولفات روی نیز بر اساس مقدار رایج مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد.

سنتز نانوذرات اکسید روی توسط روش هم‌رسوبی: سنتز نانوذرات به روش هم‌رسوبی (Co-precipitation) انجام شد (۱۳). یک میلی‌مول از استات روی ۲ آبه در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب عاری از یون (دیونیزه) حل و با استفاده از کاغذ صافی، محلول صاف گردید تا ناخالصی‌های موجود در آن حذف شد. ۳ میلی‌مول تری اتیل آمین و ۲ میلی‌مول ۱- آمینو پروپیل به یک بالن ته‌گرد حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول مطلق (درجه خلوص ۹۹/۸٪) اضافه شد و محلول با استفاده از مگنت با یک دور ثابت هم‌زده شد تا یک محلول همگن حاصل شود. سپس محلول آبی حاوی نمک روی به محلول اتانول مطلق تحت چرخش ثابت اضافه شد. بالن حاوی محلول به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و برای

1- Ultrasonic

محلول‌های استاندارد مورد نظر به دستگاه داده شد و سپس محتوای عنصر روی در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. میزان جذب روی نیز از حاصل ضرب وزن خشک (عملکرد) در غلظت روی به دست آمد.

پس از برداشت گندم، پ.ه‌اش و روی قابل دسترس خاک نیز به ترتیب با استفاده از پ.ه‌اش متر و عصاره‌گیر DTPA اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۰.۰۵ انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

هیپوکلیت سدیم یک درصد و چندبار شست و شو با آب مقطر کشت شد (۵۴). رطوبت خاک گلدان‌ها طی دوره آزمایش از طریق وزنی تقریباً در حد ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) نگه داشته شد. در طی دوره آزمایش، میزان کلروفیل گیاه با استفاده از دستگاه SPAD-502 اندازه‌گیری شد. در انتهای دوره کشت ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد. وزن خشک ریشه، ساقه (پس از ۷۲ ساعت قرار گرفتن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس آون) و دانه نیز بر حسب گرم در گلدان با ترازوی دو رقم اعشار اندازه‌گیری شدند. برای تعیین غلظت روی در هر یک از اجزای گندم از روش هضم خشک (هضم با اسید هیدروکلریک ۲ نرمال) و دستگاه جذب اتمی استفاده شد. برای این منظور، ابتدا

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some chemical and physical properties of soil.

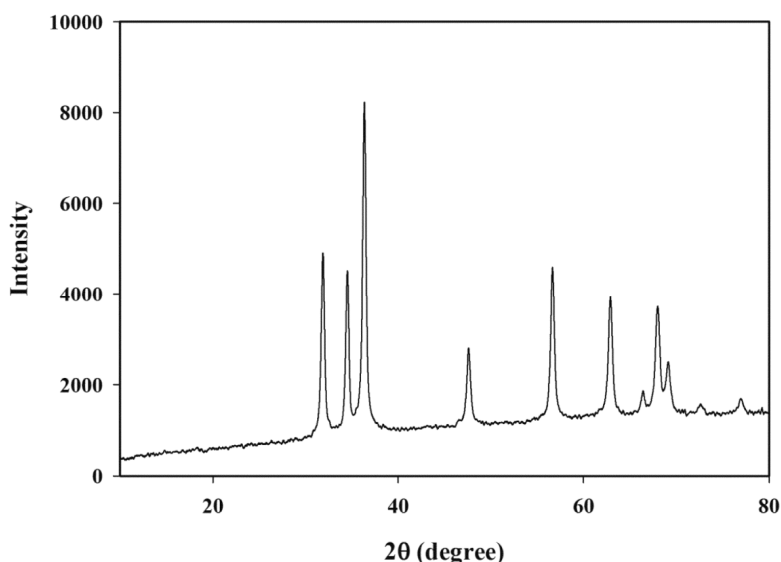
مقدار (Value)	ویژگی (Properties)
7.8	پ.ه‌اش pH
3.5	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS.m <sup>-1</sup> )
0.07	نیتروژن (%) (Nitrogen) (%)
7.1	فسفر قابل جذب (mg.kg <sup>-1</sup> ) (Available Phosphorus) (mg. kg <sup>-1</sup> )
0.55	روی قابل دسترس (mg.kg <sup>-1</sup> ) (Available Zinc) (mg.kg <sup>-1</sup> )
0.71	ماده آلی (%) (Organic Matter) (%)
290	پتاسیم قابل تبادل (mg.kg <sup>-1</sup> ) (Exchangeable Potassium)(mg.kg <sup>-1</sup> )
Clay Loamy	بافت خاک (Soil Texture)

## نتایج و بحث

### تعیین مورفولوژی نانوذرات اکسید روی

روش تفرق اشعه ایکس (XRD): یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه میزان بلورینگی مواد، استفاده از روش تفرق اشعه ایکس ((X-ray diffraction (XRD)) می‌باشد. نانوذرات به صورت ترکیبی از حالت آمورف و بلوری می‌باشند. در یک الگوی XRD، حوزه‌های آمورف قله‌های پهن و حوزه‌های بلوری قله‌های تیز تشکیل می‌دهند. از نسبت شدت این قله‌ها می‌توان برای تعیین بلورینگی استفاده کرد. الگوی پراش پرتو ایکس پودر نانوذرات اکسید روی سنتز شده در شکل

۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، همه پیک‌ها به خوبی با الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات ذکر شده توسط پژوهشگران دیگر تطابق دارند (۱۳ و ۱۸). پیک‌های اضافی و همچنین ناخالصی در طیف پراش پرتو ایکس این ترکیب مشاهده نشد که تأیید می‌کند نانوذرات سنتز شده به صورت خالص می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است پیک‌ها با شدت زیاد و باریک می‌باشند که این موضوع بیانگر ویژگی کریستالی نانوذرات اکسید روی می‌باشد.

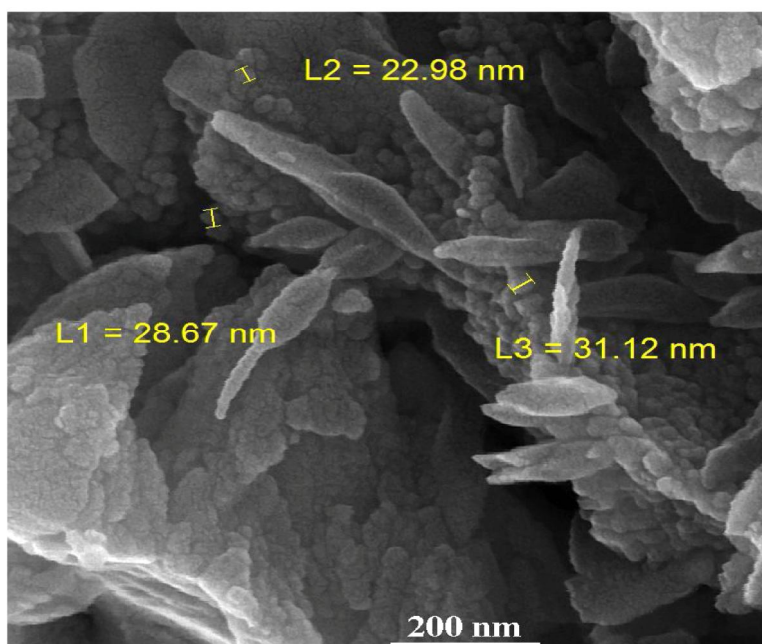


شکل ۱- الگوی XRD نانوذرات اکسید روی.

Figure 1. XRD pattern of zinc oxide nanoparticles.

میانگین قطر ذرات نانوذرات اکسید روی در محدوده ۲۰-۳۰ نانومتر بوده و شکل ذرات نیز تقریباً کروی می‌باشد.  
پ.هاش و روی قابل دسترس خاک: تأثیر تیمارها بر پ.هاش و روی قابل دسترس خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

آنالیز SEM: برای مطالعه نحوه پراکندگی نانوذرات اکسید روی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی ((Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)) استفاده شد. شکل ۲ تصویر FE-SEM مربوط به نانوذرات اکسید روی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است،



شکل ۲- تصویر FESEM نانوذرات اکسید روی.

Figure 2. FESEM image of zinc oxide nanoparticles.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پ.هاس و روی قابل دسترس خاک.

Table 2. Variance Analysis of the treatments effect on pH and soil available zinc.

میانگین مربعات Mean Square		درجه آزادی df	منبع تغییرات (Source of Variation)
روی قابل دسترس خاک Soil Available Zinc	پ.هاس pH		
0.04**	0.01**	4	تیمار Treatment
0.0001	0.0001	10	خطا Error
1.4	0.13	-	ضریب تغییرات C.V

\*\* معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

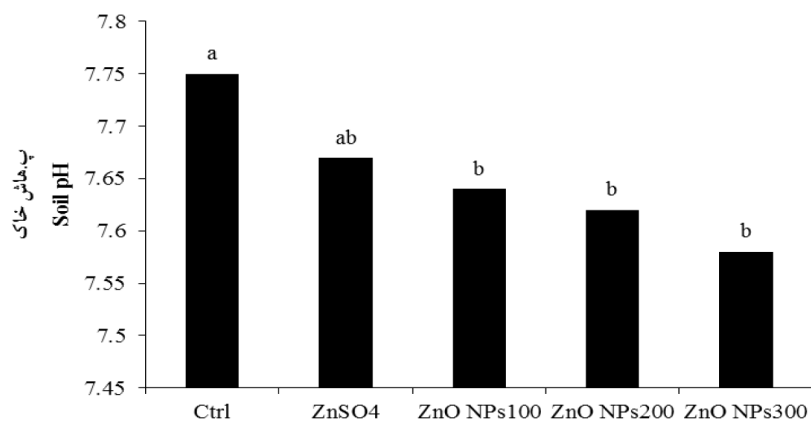
\*\* is significant at 1%.

۵۲/۷۳٪) در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۴). بیشترین و کمترین غلظت روی قابل دسترس خاک به ترتیب در تیمار نانوذرات اکسید روی در سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و شاهد مشاهده شد (شکل ۴). کاهش پ.هاس می تواند به دلیل سرعت حلالیت زیاد نانوذرات اکسید روی (۱۱) باشد که به سرعت با

نانوذرات اکسید روی، پ.هاس خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری کاهش دادند (شکل ۳). تیمار نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بیشترین تأثیر را بر کاهش پ.هاس داشت (شکل ۳). تمامی تیمارها سبب افزایش مقدار روی قابل دسترس خاک (۲۰ تا

روی، پروتون ( $H^+$ ) از گروه هیدروکسیل نانوذرات جدا شده و وارد محیط خاک می‌شود و باعث کاهش پ.هاش می‌شود.

خاک وارد واکنش شده و در نتیجه با ایجاد شرایط مناسب، قابلیت دسترسی گیاه به عنصر روی را افزایش می‌دهد. به عبارتی با هیدرولیز نانوذرات اکسید

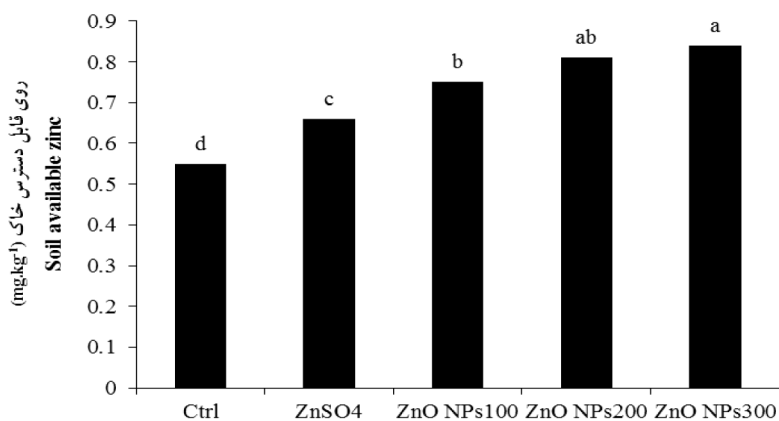


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر پ.هاش خاک.

Figure 3. Compare the average effect of treatments on soil pH.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۰.۰۵٪ می‌باشند.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر روی قابل دسترس خاک.

Figure 4. Compare the average effect of treatments on soil available Zn.

حروف مشترک بیانگر عدم معنی داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۰.۰۵٪ می‌باشند.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).



عملکرد، کلروفیل و ارتفاع گیاه گندم: تأثیر تیمارها بر عملکرد ریشه در سطح ۱ درصد و بر عملکرد کلروفیل در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی های گندم.

Table 3. Variance Analysis of the treatments effect on some characteristics of wheat.

میانگین مربعات Mean Square					درجه آزادی df	منبع تغییرات (Source of Variation)
کلروفیل Chlorophyll	ارتفاع گیاه Plant height	عملکرد دانه Grain Yield	عملکرد ساقه Shoot Yield	عملکرد ریشه Root Yield		
9.19**	100.41**	5.96**	1.61**	0.05*	4	تیمار Treatment
0.19	0.09	0.08	0.13	0.01	10	خطا Error
0.97	0.41	2.62	3.62	11.39	-	ضریب تغییرات C.V

\*\* و \* به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد.

\*\* and \* are respectively significant at 1% and 5%.

مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴). نانوذرات اکسید روی مقدار کلروفیل را به طور معنی داری (۴/۲۸ تا ۹/۸۹٪) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴). بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل به ترتیب در تیمارهای نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد.

روی در تولید اکسین نقش دارد بنابراین افزایش رشد گیاه به دلیل گسترش طول گره های داخلی به دنبال افزایش اکسین می باشد (۴۲). از آنجایی که روی در ساختار و همچنین فعالسازی بسیاری از آنزیم های گیاهی وجود دارد و عنصری ضروری برای ساخت این آنزیم ها به شمار می رود، کمبود این عنصر منجر به کاهش فتوسنتز و تولید پروتئین شده و از طرف دیگر با کاهش تولید کربوهیدرات، عملکرد نیز کاهش می یابد. بنابراین با افزایش میزان روی در گیاه فعالیت های آنزیمی مانند RNA و DNA پلی مرز،

در میان تیمارها، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم عملکرد ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری (۴۳/۰۲٪) افزایش داد (جدول ۴). عملکرد ساقه به طور معنی داری تحت تأثیر نانوذرات اکسید روی قرار گرفت (جدول ۴). نانوذرات اکسید روی عملکرد ساقه را به طور معنی داری (۱۷/۳۸ تا ۲۴/۹۱٪) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴). نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، عملکرد دانه را به طور معنی داری (۱۰/۶۹ تا ۳۷/۰۸٪) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۴). نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و سولفات روی به ترتیب، بیشترین و کمترین تأثیر را بر افزایش عملکرد دانه گندم داشتند (جدول ۴).

ارتفاع ساقه به طور معنی داری تحت تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی قرار گرفت (جدول ۴). نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی، ارتفاع ساقه را به طور معنی داری (۲/۳۸ تا ۱۶/۹۵٪) در

نخودفرنگی افزایش داد (۷). نانوذرات اکسید روی رشد ریشه، طول اندام هوایی و زیست توده را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد (۸). اثر مثبت عنصر روی در افزایش ویژگی های رشدی گیاه به این دلیل است که روی در متابولیسم نیتروژن نقش حیاتی دارد (۲۹) و با توجه به این که نیتروژن یک بخش ضروری از کلروفیل است می توان گفت که عنصر روی به طور غیرمستقیم در محتوای کلروفیل گیاه مؤثر است (۱۷) و (۳۷). کاربرد نانوذرات اکسید روی در بررسی های دیگر پژوهشگران منجر به افزایش محتوای کلروفیل گیاهانی مانند بادام زمینی، لوبیا، ارزن، نخود سبز و پنبه شد (۳۸، ۴۲، ۴۴، ۵۰ و ۵۲).

هورمون ایندول استیک اسید (IAA) و جیبرلین افزایش یافته و در نهایت موجب افزایش عملکرد می شود (۲۸). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایشی که بر روی بادام زمینی انجام دادند، افزایش عملکرد غلاف خشک بادام زمینی در هنگام استفاده از نانوذرات را گزارش کردند (۴۲). در آزمایشی که بر روی گیاه سویا انجام شد، دریافتند که حجم زیست توده غلاف و دانه گیاهان سویا رشد کرده در مخلوط خاک و اکسید نانوذرات روی نسبت به تیمار شاهد و نانوذرات اکسید سریم<sup>۱</sup> به طور معنی داری افزایش یافت (۴۳). بورمن و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که نانوذرات اکسید روی عملکرد را در گیاه

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر برخی ویژگی های گندم.

Table 4. Compare the average effect of treatments on some characteristics of wheat.

شاخص Spad Spad index	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	عملکرد دانه (گرم بر گلدان) Grain Yield (g/pot)	عملکرد ساقه (گرم بر گلدان) Shoot Yield (g/pot)	عملکرد ریشه (گرم بر گلدان) Root Yield (g/pot)	تیمار Treatment
42.73 <sup>c</sup>	68.66 <sup>d</sup>	8.98 <sup>c</sup>	8.96 <sup>c</sup>	0.86 <sup>b</sup>	Ctrl
46.03 <sup>a</sup>	70.3 <sup>c</sup>	9.94 <sup>b</sup>	9.48 <sup>bc</sup>	0.98 <sup>ab</sup>	ZnSO <sub>4</sub>
44.56 <sup>b</sup>	80.3 <sup>a</sup>	10.55 <sup>b</sup>	10.13 <sup>ab</sup>	1.04 <sup>ab</sup>	ZnO NPs <sub>100</sub>
46.66 <sup>a</sup>	80.3 <sup>a</sup>	12.05 <sup>a</sup>	10.43 <sup>ab</sup>	1.09 <sup>ab</sup>	ZnO NPs <sub>200</sub>
46.96 <sup>a</sup>	79.3 <sup>b</sup>	12.31 <sup>a</sup>	10.78 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	ZnO NPs <sub>300</sub>

حروف مشترک بیانگر عدم معنی داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می باشد.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

Ctrl, ZnSO<sub>4</sub>, ZnO NPs<sub>100</sub>, ZnO NPs<sub>200</sub> و ZnO NPs<sub>300</sub> به ترتیب شامل تیمارهای شاهد، کود شیمیایی سولفات روی، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک هستند.

Ctrl, ZnSO<sub>4</sub>, ZnO NPs<sub>100</sub>, ZnO NPs<sub>200</sub>, ZnO NPs<sub>300</sub> include control, chemical fertilizer of zinc sulfate, ZnO nanoparticles treatments at level of 100, 200 and 300 mg.kg<sup>-1</sup> of soil, respectively.

تأثیر معنی داری در سطح ۱٪ بر غلظت و جذب روی در ریشه، ساقه و دانه گندم داشته است (جدول ۵).

غلظت و جذب روی گیاه گندم: نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و میزان جذب روی در ریشه، ساقه و دانه گندم در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، تیمارهای مورد مطالعه

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم.

**Table 5. Variance Analysis of the treatments effect on concentration and uptake of zinc in wheat.**

میانگین مربعات Mean Square						درجه آزادی Df	منبع تغییرات (Source of Variation)
جذب دانه Grain Uptake	جذب ساقه Shoot Uptake	جذب ریشه Root Uptake	غلظت روی در دانه Zn Concentration in Grain	غلظت روی در ساقه Zn Concentration in Shoot	غلظت روی در ریشه Zn Concentration in Root		
0.049**	0.024**	0.0001**	43.99**	159.24**	41.27**	4	تیمار Treatment
0.0003	0.0007	0.000007	0.26	0.17	0.16	10	خطا Error
2.63	3.37	13.11	0.80	1.68	2.05	-	ضریب تغییرات C.V

\*\* معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

\*\* is significant at 1%.

نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش جذب روی ساقه و دانه داشتند (جدول ۶).

با توجه به بحث کاهش پ.هاش خاک تحت تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی (شکل ۳)، حلالیت روی در خاک افزایش یافت و در نتیجه شرایط برای جذب روی توسط گیاه فراهم شد. به عبارتی دیگر با کاهش هر واحد پ.هاش میزان حلالیت روی ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد (۲۱)، در نتیجه روی قابل دسترس خاک تحت تأثیر نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی افزایش یافت. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، نانوذرات به واسطه داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مانند سطح ویژه، بار سطحی و حلالیت بسیار بالا و همچنین اندازه کوچک قادرند به راحتی به بافت‌های گیاهی نفوذ کنند و در بین اندام‌های مختلف گیاه جابه‌جا شوند. همچنین می‌توان گفت که این افزایش غلظت ممکن است در نتیجه تحویل آنی روی آزاد

غلظت روی ریشه، ساقه و دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۶). تیمارها غلظت روی ریشه (۱۳/۱۶ تا ۶۲/۱۱٪)، غلظت روی ساقه (۱۷/۸۱ تا ۱۱۱/۱۹٪) و غلظت روی دانه (۱۵/۰۹ تا ۶۰/۳۷٪) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶). نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کود شیمیایی سولفات روی به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی ریشه، ساقه و دانه داشتند (جدول ۶). در میان تیمارها، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۳۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، جذب روی ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۶). جذب روی ساقه و دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نانوذرات و کود شیمیایی قرار گرفت. نانوذرات اکسید روی و کود شیمیایی سولفات روی جذب روی ساقه (۲۶/۶۶ تا ۱۵۳/۳۳٪) و جذب روی دانه (۱۵/۰۹ تا ۶۰/۳۷٪) را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶).

وجود آمد که بیانگر جذب و جابجایی نانوذرات در جوانه‌ها می‌باشد (۲۵). پراساد و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌داری در محتوای روی برگ‌ها و دانه‌ها به واسطه تیمار با نانوذرات اکسید روی نسبت به تیمارهای کلات سولفات روی مشاهده کردند، آن‌ها همچنین اثرات زیان‌آوری را در غلظت‌های بالای نانوذرات اکسید روی گزارش کردند (۴۲). پریستر و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمود که مخلوط خاک و نانوذرات اکسید روی، سبب افزایش معنی‌دار روی در گیاه سویا شد (۴۳). دوک و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که محلول نانوذرات اکسید روی باعث افزایش غلظت روی در گیاه ماش نسبت به تیمار شاهد شد (۸). در آزمایشی که بر روی گندم صورت گرفت، نانوذرات اکسید روی موجب افزایش غلظت روی در گیاه شد (۵۵).

شده از نانوذرات به سطح ریشه و یا به علت نفوذ نانوذرات اکسید روی به درون سلول گیاهی باشد (۵۵). با این وجود، شواهد مستقیم مبنی بر فرآیندهای جذب نانوذرات و پراکندگی آن‌ها در گیاه و در سطح سلولی نادر است (۱۶).

لوپز-مورنو و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایشی که بر روی سویا انجام دادند دریافتند که جذب و تجمع روی در غلظت پایین نانوذرات اکسید روی نسبت به غلظت بالای آن، بیش‌تر بود (۲۳). دو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که نانوذرات اکسید روی در بافت‌های گندم تجمع یافتند و به دلیل سرعت حلالیت زیاد نانوذرات اکسید روی در خاک، تجمع روی در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود (۱۱). ماهاجان و همکاران (۲۰۱۱) مشاهده کردند که با افزایش مقدار نانوذرات اکسید روی افزایش معنی‌داری در غلظت روی در ریشه جوانه‌های ماش و نخودفرنگی به

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت و جذب روی در گندم.

Table 6. Compare the average effect of treatments on concentration and uptake of zinc in wheat.

تیمار Treatment	غلظت روی در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Root (mg/kg)	غلظت روی در ساقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Shoot (mg/kg)	غلظت روی در دانه (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Grain (mg/kg)	جذب ریشه (میلی‌گرم بر گلدان) Root Uptake (mg/pot)	جذب ساقه (میلی‌گرم بر گلدان) Shoot Uptake (mg/pot)	جذب دانه (میلی‌گرم بر گلدان) Grain Uptake (mg/pot)
Ctrl	15.73 <sup>c</sup>	17.06 <sup>c</sup>	59.43 <sup>d</sup>	0.013 <sup>c</sup>	0.15 <sup>c</sup>	0.53 <sup>c</sup>
ZnSO <sub>4</sub>	17.8 <sup>d</sup>	20.1 <sup>d</sup>	61.93 <sup>c</sup>	0.017 <sup>bc</sup>	0.19 <sup>d</sup>	0.61 <sup>d</sup>
ZnO NPs <sub>100</sub>	19.63 <sup>c</sup>	23.33 <sup>c</sup>	63.6 <sup>b</sup>	0.02 <sup>bc</sup>	0.23 <sup>c</sup>	0.67 <sup>c</sup>
ZnO NPs <sub>200</sub>	21.26 <sup>b</sup>	26.33 <sup>b</sup>	64.63 <sup>b</sup>	0.023 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>
ZnO NPs <sub>300</sub>	25.5 <sup>a</sup>	36.03 <sup>a</sup>	69.70 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.85 <sup>a</sup>

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۰.۰۵ می‌باشد.

Same letters mean no statistical difference between treatments at Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

Ctrl, ZnSO<sub>4</sub>, ZnO NPs<sub>100</sub>, ZnO NPs<sub>200</sub>, ZnO NPs<sub>300</sub> به ترتیب شامل تیمارهای شاهد، کود شیمیایی سولفات روی، نانوذرات اکسید روی به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هستند.

Ctrl, ZnSO<sub>4</sub>, ZnO NPs<sub>100</sub>, ZnO NPs<sub>200</sub>, ZnO NPs<sub>300</sub> include control, chemical fertilizer of zinc sulfate, ZnO nanoparticles treatments at level of 100, 200 and 300 mg.kg<sup>-1</sup> of soil, respectively.

### نتیجه گیری

نانوذرات با وجود حلالیت کم، به واسطه داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد خود و توانایی آن‌ها در رهاسازی آرام عناصر، از هدررفت و کاربرد چندباره کودها جلوگیری می‌کند. در مقابل با وجود حلالیت بیش‌تر کود شیمیایی سولفات روی، در خاک‌های آهکی و با پ‌هش بالا که بیش‌تر خاک‌های ایران را تشکیل می‌دهد، در طی مدت کوتاهی به‌صورت غیرقابل جذب در خواهند آمد. بنابراین نیاز به افزودن مجدد این عنصر در خاک به وجود می‌آید که خود باعث انباشتگی مقادیر بالای عنصر به‌صورت غیرقابل جذب می‌گردد و سبب آلودگی محیط زیست می‌شود. نتایج

حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از نانوذرات، می‌تواند موجب افزایش عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه گندم شود. با این وجود تجاری‌سازی و عرضه نانوذرات به‌عنوان کود به بازار نیازمند انجام پژوهش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای بیش‌تری بوده و مسائل آلودگی محیط زیست و سلامت انسان باید در نظر گرفته شود. بنابراین انجام پژوهش‌های جدید در زمینه اصلاح شیمیایی و پوشش‌دار کردن نانوذرات به‌منظور افزایش حلالیت و کارایی، پیشنهاد می‌گردد.

### منابع

1. Aladjadjiyan, A. 2007. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. J. Central Europ. Agric. 8: 3. 369-380.
2. Alloway, B.J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry and Health. 31: 5. 537-548.
3. Amirjani, M.R., Askary Mehrabadi, M., and Azizmohamadi, F. 2016. Effect of ZnO nanoparticles on vegetative factors, elements content and photosynthetic pigments of wheat (*Triticum aestivum*). Plant Biol. J. 27: 8. 34-48. (In Persian)
4. Avinash, C.P., Sharda, S.S., and Raghavendra, S.Y. 2010. Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of Cicer arietinum. J. Exp. Nanosci. 5: 6. 488-497.
5. Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. 1965. Methods of soil analysis: Part 2. Agronomy Monogr, ASA, Madison, WI.
6. Borrill, P., Connorton, J.M., Balk, J., Miller, A.J., Sanders, D., and Uauy, C. 2014. Biofortification of wheat grain with iron and zinc: integrating novel genomic resources and knowledge from model crops. Frontiers in plant science. 21: 5. 53.
7. Burman, U., Mahesh, S., and Praveen, K. 2013. Effect of zinc oxide nanoparticles on growth and antioxidant system of chickpea seedlings. Toxicological & Environmental Chemistry. 95: 4. 605-612.
8. Dhoke, S.K., Mahajan, P., Kamble, R., and Khanna, A. 2013. Effect of nanoparticles suspensions on the growth of mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. Nanotechnology Development. 3: 1. 1-5.
9. Dimkpa, C.O., Calder, A., Britt, D.W., McLean, J.E., and Anderson, A.J. 2011. Responses of a soil bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6 to commercial metal oxide nanoparticles compared with responses to metal ions. Environmental Pollution. 159: 7. 1749-1756.
10. Dorostkar, V., Afyuni, M., and Khoshgoftarmanesh, A. 2013. Effects of preceding crop residues on total and bio-available zinc concentration and phytica concentration in wheat grain. J. Water Soil Sci. (J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.). 17: 64. 81-93. (In Persian)
11. Du, W., Sun, Y., Ji, R., Zhu, J., Wu, J., and Guo, H. 2011. TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles negatively affect wheat growth and soil enzyme activities in agricultural soil. J. Environ. Monitor. 13: 4. 822-828.

12. Gupta, P.K. 2004. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios (India), 438p.
13. Hsieh, C.H. 2007. Spherical zinc oxide nano particles from zinc acetate in the precipitation method. J. Chine. Chem. Soc. 54: 1. 31-34.
14. Kadkhodaie, A., Kalbasi, M., Solhi, M., Nadian, H., and Gholami, A. 2014. Effect of applying plant residues and zinc sulfate on chemical forms of zinc in rhizosphere and bulk soil and its relationship to wheat grain. J. Appl. Sci. Agric. 9: 3. 942-947.
15. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis, Part 1: physical and mineralogical methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
16. Kole, C., Kumar, D.S., and Khodakovskaya, M.V. 2016. Plant Nanotechnology: Principles and Practices. Springer.
17. Kumar, P., and Arora, J.S. 2000. Effect of micronutrients on gladiolus. J. Ornam. Hort. New Ser. 3: 2. 91-93.
18. Lanje, A.S., Sharma, S.J., Ningthoujam, R.S., Ahn, J.S., and Pode, R.B. 2013. Low temperature dielectric studies of zinc oxide (ZnO) nanoparticles prepared by precipitation method. Adv. Powder Technol. 24: 331-335.
19. Lin, D.H., and Xing, B. 2008. Root uptake and Phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environmental Science and Technology. 42: 5580-5585.
20. Lin, D.H., and Xing, B.S. 2007. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root elongation. Environ. Pollut. 150: 243-250.
21. Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons Ltd.
22. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 43: 421-428.
23. López-Moreno, M.L., de la Rosa, G., Hernández-Viezcas, J.Á., Castillo-Michel, H., Botez, C.E., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2010. Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO<sub>2</sub> nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. Environmental science and technology. 44: 19. 7315-7320.
24. Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y., and Kolmakov, A. 2010. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: phytotoxicity, uptake and accumulation. Science of the total environment. 408: 16. 3053-3061.
25. Mahajan, P., Dhoke, S.K., and Khanna, A.S. 2011. Effect of nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiata*) and gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. J. Nanotechnol. 1: 1-7.
26. Malakouti, M.J. 2005. Important role of zinc in enhancing crop yield and improving human health. General Meeting of Third world Academy of Science. TWAS 16<sup>th</sup>. Alexandria, Egypt.
27. Malakouti, M.J., and Homaei, M. 2004. Fertility of arid and semi-arid soils: Problems and solutions. Tarbiat Modares University. 482p. (In Persian)
28. Marschner, H. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press. pp. 214-225.
29. Maurya, R., and Kumar, A. 2014. Effect of micronutrients on growth and corm yield of gladiolus. Plant Arch. 14: 1. 529-533.
30. Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. World Appl. Sci. J. 7: 1. 36-40.
31. Milani, P., Malakouti, M.J., Khademi, Z., Balali, M., and Mashayekhi, M. 1998. A fertilizer recommendation model for the wheat field of Iran. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian)
32. Moghaddasi, S., Fotovat, A., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., Khazaei, H.R., and Khorassani, R. 2017. Bioavailability of coated and uncoated ZnO nanoparticles to cucumber in soil with or without organic matter. Ecotoxicology and environmental safety. 144: 543-551.
33. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., and Chaney, R.L. 2015. Fate and effect of tire rubber ash nano-particles (RANPs) in cucumber. Ecotox Environ. Safe. 115: 137-143.

34. Moghaddasi, S., Khoshgoftarmanesh, A.H., Karimzadeh, F., and Chaney, R.L. 2013. Preparation of nano-particles from waste tire rubber and evaluation of their effectiveness as zinc source for cucumber in nutrient solution culture. *Sci. Hortic.* 160: 398-403.
35. Monreal, C.M., Derosa, M., Mallubhotla, S.C., Bindeaban, P.S., and Dimkpa, C. 2015. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients. *Boil Fertile Soils.* 52: 423-437.
36. Mortvedt, J.J. 1985. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. *J. Environ. Qual.* 14: 424-427.
37. Mousavi, S.R., Galavi, M., and Rezaei, M. 2013. Zinc (Zn) importance for crop production, A review. *Inter. J. Agron. Plant Prod.* 4: 1. 64-68.
38. Mukherjee, A., Sun, Y., Morelius, E., Tamez, C., Bandyopadhyay, S., Niu, G., White, J.C., Peralta-Videa, J.R., and Gardea-Torresdey, J.L. 2016. Differential toxicity of bare and hybrid ZnO nanoparticles in green pea (*Pisum sativum* L.): A life cycle study. *Front. Plant Sci.*
39. Naderi, M., and Abedi, A. 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutant. *J. Nanotechnol.* 11: 1. 18-26.
40. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil an2)*, Pp: 403-430.
41. Pandey, A., Sanjay, S.S., and Yadav, R.S. 2010. Application of ZnO nanoparticles influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *J. Experimentation. Nanosci.* 5: 6. 488-497.
42. Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., and Sajanalal, P.R., and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of Peanut. *J. Plant Nutr.* 35: 6. 905-927.
43. Priester, J.H., Ge, Y., Mielke, R.E., Horst, A.M., Moritz, S.C., Espinosa, K., Gelb, J., Walker, S.L., Nisbet, R.M., An, Y.J., Schimel, J.P., Palmer, R.G., Viezcas, J.A.H., Zhao, L., Torresdey, J.L.G., and Holden, P.A. 2012. Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 109: 2451-2456.
44. Raliya, R., and Tarafdar, J.C. 2013. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agric Res.* 2: 48-57.
45. Razzaq, A., Ammara, R., Jhazab, H.M., Mahmood, T., Hafeez, A., and Hussain, S. 2015. A novel nanomaterial to enhance growth and yield of wheat. *J. Nanosci. Technol.* 2: 1. 55-58.
46. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis*, Pp: 417-435.
47. Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J., and Tandon, H.L.S. 2006. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin.* 16: 207-208.
48. Shankamma, K., Yallappa, S., Shivanna, M.B., and Manjanna, J. 2015. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Applied Nanoscience.* 6: 983-990.
49. Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Prabu, P., Rajendran, V., and Kannan, N. 2012. Growth and physiological responses of maize (*Zea mays* L.) to porous silica nanoparticles in soil. *J. Nanopart. Res.* 14: 12. 1-14.
50. Tarafdar, J.C., Raliya, R., Mahawar, H., and Rathore, I. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). *Agric. Res.* 3: 257-262.
51. Torney, F., Trewyn, G.B., Lin, V.S.Y., and Wang, K. 2007. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nanotechnol.* 2: 295-300.
52. Venkatachalam, P., Priyanka, N., Manikandan, K., Ganeshbabu, I., Indiraarulsevi, P., Geetha, N., and Sahi, S.V. 2017. Enhanced plant growth promoting role of phycocompounds coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry.* 110: 118-127.

53. Walker, L. 2005. Nanotechnology for agriculture, food and the environment Presentation at Nanotechnology Biology Interface: Exploring models for oversight, University of Minnesota, USA.
54. Wang, Y.X.A., and Oyaizu, H. 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofu-ran-contaminated soil. *J. Hazard. Mater.* 168: 760-764.
55. Watson, J.L., Fang, T., Dimkpa, C.O., Britt, D.W., McLean, J.E., Jacobson, A., and Anderson, A.J. 2015. The phytotoxicity of ZnO nanoparticles on wheat varies with soil properties. *Biometals.* 28: 1. 101-112.
56. Zhang, L., Su, M., Liu, C., Chen, L., Huang, H., Wu, X., Liu, X., Yang, F., Gao, F., and Hong, F. 2007. Antioxidant stress is promoted by nano-anatase in spinach chloroplasts Under UV-B radiation. *Biol. Trace Elem. Res.* 121: 1. 69-79.





## The effectiveness of synthesized ZnO nanoparticles on Zn uptake and some growth indices of wheat

A. Abdollahi<sup>1</sup>, \*M. Norouzi Masir<sup>2</sup>, M. Taghavi Zahedkolaei<sup>3</sup> and A.A. Moezzi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

<sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

<sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Chemistry, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

<sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 12/15/2017; Accepted: 02/17/2018

### Abstract

**Background and Objectives:** Micronutrient deficiency like Zinc is one of the common problems in worldwide soils especially calcareous soils. Therefore, application of new methods including Zinc Oxide Nanoparticles is increasing to improve nutritional status of this element in crops. Many studies showed that ZnO Nanoparticles application lead to increase of plant yield. Thus, present study was conducted to investigate ZnO Nanoparticles effects on yield, concentration and uptake of Zn in root, shoot and grain of wheat under greenhouse cultivation in a calcareous soil.

**Materials and Methods:** This study was conducted in greenhouse condition as a completely randomized design with three replications. Treatment consisted of three levels of Zinc Nanoparticles (100, 200 and 300 mg.kg<sup>-1</sup>), ZnSO<sub>4</sub> (40 kg.ha<sup>-1</sup>) and Control. During the experiment, some parameters such as plant height and chlorophyll index were measured. At the end of cultivation period, dry weight and Zn concentration of root, shoot and grain was determined using Atomic Absorption Spectroscopy. Moreover, pH and soil available zinc was measured using pH meter and DTPA.

**Results:** The amount of soil available Zinc in all levels of ZnO Nanoparticles was significantly ( $P < 0.01$ ) increased compared to control. The maximum amount of soil available Zn was observed in level of 300 mg.kg<sup>-1</sup> ZnO Nanoparticles with 52.73% increment compared to control. The sequence of shoot and root yield, concentration and uptake of Zn in treatments was as follow: ZnSO<sub>4</sub> < ZnO NPs<sub>100</sub> < ZnO NPs<sub>200</sub> < ZnO NPs<sub>300</sub>. The maximum yield of root, shoot and grain was obtained in level of 300 mg.kg<sup>-1</sup> of ZnO Nanoparticles with 43.02, 24.91 and 37.08% increment compared to control, respectively. The maximum concentration of Zn was observed in root and shoot in level of 300 mg.kg<sup>-1</sup> of ZnO Nanoparticles with 62.11 and 111.19% increment compared to control, respectively., maximum concentration and uptake of Zn of grain was observed in level of 300 mg.kg<sup>-1</sup> of ZnO Nanoparticles.

**Conclusions:** The results showed that application of ZnO Nanoparticles increased yield, concentration and uptake of Zn in root and shoot of Wheat. Therefore, application of nanoparticles can be considered as one of the new methods for improving yield and quality of crops and reducing the use of chemical fertilizers.

**Keywords:** Chemical Fertilizer, Zn Uptake, Wheat, ZnO Nanoparticles

\* Corresponding Author; Email: m.norouzi@scu.ac.ir

