

تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار بر میزان جذب روی و برخی شاخص های رشدی گندم در شرایط گلخانه ای

علی عبدالهی^۱، مهدی تقوی^{۲*}، مجتبی نوروزی مصیر^۳، و عبدالامیر معزی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۲- استادیار گروه شیمی دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۳- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- ۴- دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>در میان فناوری های نوین، فناوری نانو نقش مهمی در کشاورزی و تولید مواد غذایی دارد. در این راستا، آزمایشی به صورت طرح کامل تصادفی برای بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار بر ویژگی های عملکردی و غلظت و جذب و روی گندم انجام شد. تیمارهای آزمایش، شامل نانو ذرات اکسید آهن عامل دار (هیدروکسیل OH، کربوکسیل COOH، آمین NH₂) هر کدام در سه سطح (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، سولفات روی (ZnSO₄) (در سطح ۴۰ کیلوگرم در هکتار) و تیمار شاهد بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار روی قابل دسترس خاک در تیمار نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. بیشترین مقدار عملکرد ریشه و ساقه در تیمار نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار بیشترین تأثیر را بر غلظت و جذب روی در گندم داشتند. بنابراین استفاده از نانو ذرات به مقدار مناسب می تواند موجب بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک، محصولات و در نهایت انسان شود.</p>	<p>دریافت: ۹۶/۰۹/۲۶ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۴/۲۷</p> <p>کلمات کلیدی: نانو ذرات، روی قابل دسترس، عملکرد، غلظت روی، گندم</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: m.taghavi@scu.ac.ir</p>

مقدمه

روی یکی از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاهان، حیوانات و انسانهاست (۲۸ و ۳۹). میانگین غلظت روی کل در خاک های تحت کشت، حدود ۶۵ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد. (۱ و ۲). گیاهان روی را عمدتاً به شکل کاتیون دوبار مثبت (Zn^{2+}) جذب می کنند (۲۳). این عنصر برای ساختار آنزیم های، مهم

گیاهی ضروری بوده و در نبود آن پروتئین سازی و رشد گیاه با مشکل مواجه می شود. در یک سیستم بیولوژیکی روی تنها فلزی است که در همه کلاس های آنزیم ها از جمله اکسیدوریداکتازها، ترانسفرازها، هیدرولازها، لیاسزها، ایزومرازها و لیگازها وجود دارد (۳۸). نزدیک به ۱۰ درصد از پروتئین موجود در ژنوم انسان برای ساختار و انجام فعالیت های کاربردی خود نیازمند روی

نانو ذرات آهن، از جمله نانو ذراتی است که در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است. محققان در یافته‌های خود اثرات مثبت و منفی نانو ذرات را ارائه دادند. تأثیر نانو ذرات بر گیاه به ترکیب، غلظت، سایز و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین گونه‌های گیاهی بستگی دارد (۳۶). در آزمایش گلخانه‌های که بر روی گیاه گندم انجام شد، دریافتند که کاربرد پودر نانو ذرات اکسید آهن موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (۲۴). همچنین گزارش شده است که نانو ذرات اکسید آهن عملکرد سویا را افزایش داد (۳۵). در آزمایشی که بر روی گیاه گندم صورت گرفت، نانو ذرات اکسید آهن محلول پاشی شده ویژگی‌های رشدی و عملکردی گیاه گندم را افزایش می‌دهد (۷). شانکراما و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند نانو ذرات اکسید آهن باعث افزایش پارامترهای رشدی در گیاه گوجه فرنگی شده است (۳۴).

اگرچه نانو ذرات از عوامل اصلی و تعیین کننده رشد نیستند، اما به واسطه دارا بودن ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاص، قادر به تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه خواهند بود. همچنین ترشحات ریشه‌ای تراوش شده در پاسخ به جذب نانو ذرات فلزی توسط گیاه نیز، از دیگر مکانیسم‌های احتمالی در تغییر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک می‌باشد (۳۰). با وجود مطالعات انجام شده، تاکنون در زمینه تأثیر نانو ذرات اکسید آهن حاوی گروه‌های عاملی مختلف بر رشد کمی و کیفی گیاه گندم مطالعه‌ای انجام نشده است؛ بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار و کود شیمیایی سولفات روی بر عملکرد، غلظت و جذب روی در گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، در قالب طرح کامل تصادفی

است (۳ و ۲۱). حداقل یک سوم مردم دنیا از کمبود روی رنج می‌برند (۱۲)؛ بنابراین، به منظور کاهش سوء تغذیه مواد مغذی، عواملی نظیر نوع خاک، گیاه، ارقام و سایر عوامل باید در نظر گرفته شود (۱۵ و ۳۷). به طور کلی جذب روی در خاک‌های مختلف متفاوت است و به ویژگی‌های خاک مانند پ.هاش، نوع و مقدار رس‌ها، ماده آلی، مقدار اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی، میزان فسفر و میزان کربنات‌ها بستگی دارد (۲، ۱۱ و ۲۲).

بخش اعظمی از اراضی قابل کشت در ایران آهکی است و به همین دلیل فراهمی عناصر کم مصرف، نظیر روی پایین می‌باشد. یکی از ویژگی‌های خاک‌های آهکی، کمبود عناصر ریزمغذی بوده که ناشی از حلالیت پایین این عناصر در پ.هاش بالای خاک است (۲۳). پ.هاش به صورت مستقیم و غیر مستقیم رفتار عناصر خاک (۳۳ و ۴۰) و همچنین فراهمی زیستی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۳ و ۱۶). فراهمی زیستی عناصر ریز مغذی، مثل روی به طور معنی داری در پ.هاش بالاتر از ۷ کاهش می‌یابد (۱۰). یکی از روش‌های معمول برای رفع کمبود روی در خاک‌های آهکی استفاده از کودهای شیمیایی سولفات است. به دلیل بالا بودن میزان کربنات کلسیم در این خاک‌ها، میزان بازیابی کودهای روی اضافه شده به خاک کم‌تر از ۵ درصد است (۲۰)؛ بنابراین استفاده از روش‌های جایگزین و افزایش کارایی مصرف کود بهترین گزینه برای جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی است. تغییر در فناوری‌های مربوط به کشاورزی، مهم‌ترین عامل در ایجاد کشاورزی مدرن است. در میان فناوری‌های نوین، فناوری نانو نقش مهمی در کشاورزی و تولید مواد غذایی دارد. بنابراین فناوری نانو زمینه مناسبی را در تولید محصولات غذایی و کشاورزی فراهم آورده و با گسترش آن کاربردهای جدیدی در زیست فناوری گیاهی و کشاورزی ایجاد شده است؛ از این رو، نانو ذرات و نانوکپسول‌ها ابزاری کارآمد برای توزیع بهتر عناصر غذایی و در نتیجه، کاهش صدمات جانبی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی می‌باشند (۲۷).

کشت شد. سنتر نانو ذرات به روش هم‌رسوبی (Co-precipitation) انجام گردید.

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 گردید. 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. میزان جذب روی نیز، از حاصل‌ضرب وزن خشک (عملکرد) در غلظت روی به‌دست آمد.

پس از برداشت گندم، پ.هاش و روی قابل دسترس خاک نیز به‌ترتیب با استفاده از پ.هاش‌متر و عصاره‌گیر DTPA و دستگاه جذب اتمی، اندازه‌گیری شد. در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک مورد مطالعه ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم افزار رایان‌های SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها نیز، با استفاده از آزمون Tukey در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم نمودارها نیز، با استفاده از نرم افزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج

تعیین مورفولوژی نانوذرات اکسید روی

آنالیز SEM

برای مطالعه‌ی نحوه‌ی پراکندگی نانو ذرات اکسید روی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) (Field Emission Scanning Electron Microscopy) استفاده شد. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ تصاویر FE-SEM مربوط به نانوذرات اکسید آهن عامل‌دار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، میانگین قطر ذرات نانوذرات اکسید آهن در محدوده‌ی ۲۰-۱۰ نانومتر و شکل ذرات نیز، تقریباً کروی می‌باشد.

و در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش تأثیر نانو ذرات به صورت جامد پودری شکل و ترکیب شده با خاک بر روی گندم (*Triticum aestivum L.*) رقم چمران مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایش، شامل نانو ذرات اکسید آهن عامل‌دار (کربوکسیل COOH، هیدروکسیل OH و آمین NH₂) به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، کود شیمیایی سولفات روی به مقدار ۴۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد (بدون افزودن هر گونه تیمار معدنی و شیمیایی) بود. مقدار کود شیمیایی سولفات روی نیز، بر اساس مقدار رایج مصرفی در اراضی کشاورزی می‌باشد.

نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت مرکب انتخاب شدند و بعد از هوا خشک شدن برخی ویژگی‌های اولیه آن شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۳۱)، هدایت الکتریکی و پ.هاش خاک در عصاره ۱:۱ خاک به آب، مواد آلی به روش والکی و بلک، آهک به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (۵)، فسفر قابل دسترس به روش اولسن (۲۹)، پتاسیم قابل دسترس با استفاده از استات آمونیوم و نیتروژن به روش کج‌لدال تعیین گردیدند (۹). برای اندازه‌گیری روی قابل دسترس از محلول DTPA استفاده شد و غلظت روی در عصاره به وسیله دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین المر آ-آنالیز ۲۰۰) قرائت گردید (۱۸). خاک مورد آزمایش بر اساس حد بحرانی کمبود روی در خاک (۱/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۲۶) دچار کمبود شدید روی قابل عصاره‌گیری با DTPA (اصطلاحاً قابل جذب) 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 مدل توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شد.

بذر گندم پس از ضد عفونی کردن با هیپوکلریت سدیم یک درصد و چندبار شست‌وشو با آب مقطر (۴۱)

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدار (Value)	ویژگی (Properties)
7.8	pH
3.5	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS.m^{-1})
0.07	نیترژن (%) (Nitrogen) (%)
7.1	فسفر قابل جذب (mg.kg^{-1}) (Available Phosphorus) (mg.kg^{-1})
0.55	روی قابل دسترس (mg.kg^{-1}) (Available Zinc) (mg.kg^{-1})
0.71	ماده آلی (%) (Organic Matter) (%)
290	پتاسیم قابل تبادل (mg.kg^{-1}) (Exchangeable Potassium) (mg.kg^{-1})
Clay Loamy	بافت خاک (Soil Texture)
11.23	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cmol.kg^{-1}) (Cation Exchange Capacity) (Cmol.kg^{-1})
38	کربنات کلسیم (%) (Calcium Carbonate Equivalent) (%)

O در ۶۴۶ سانتی‌متر قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵). هم‌چنین در طیف FT-IR نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار پیک شاخص مربوط به ارتعاش کششی O-H در ۳۴۳۵ سانتی‌متر و پیک مربوط به ارتعاش کششی پیوند Fe-O در ۶۳۹ سانتی‌متر قابل مشاهده است. طیف FT-IR این ترکیب پیک‌های شاخصی را در ۲۹۷۱ سانتی‌متر مربوط به ارتعاش کششی C-H آلیفاتیک، در ۱۲۴۰ سانتی‌متر جذب قوی مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-O و پیک C=O گروه کربوکسیلیک اسید در ناحیه ۱۷۱۸ سانتی‌متر ظاهر می‌نماید و ساختار مورد نظر را تایید می‌کند (شکل ۶).

پ.هاش و روی قابل دسترس خاک

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان می‌دهد که تأثیر تیمارها بر پ.هاش و روی قابل دسترس خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها

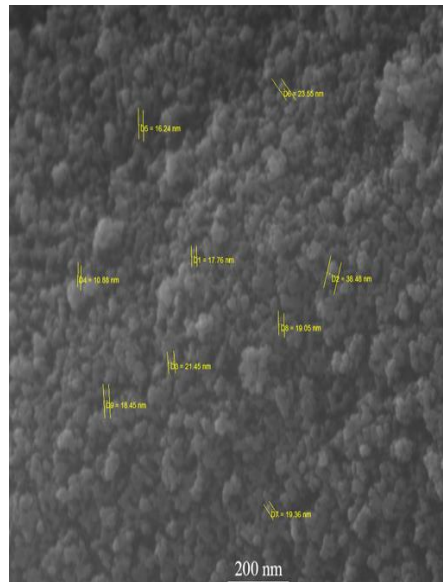
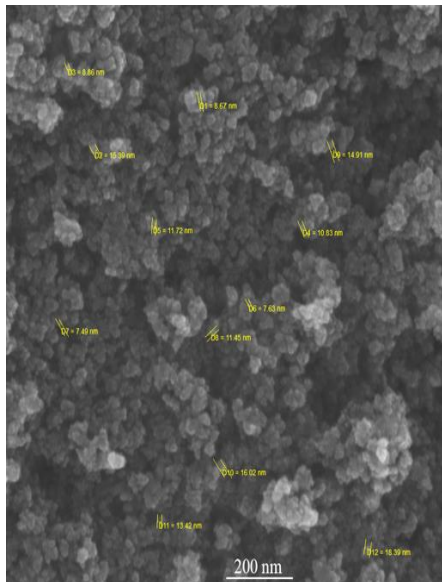
آنالیز FTIR

ساختار شیمیایی نانوذرات آهن خالص و نانوذرات آهن عامل‌دار شده توسط دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) اثبات شد. طیف‌های FT-IR نانو ذرات آهن هیدروکسیل‌دار ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-OH}$)، طیف نانو ذرات آهن آمین‌دار ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-NH}_2$) و نانوذرات آهن کربوکسیل‌دار ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-COOH}$)، به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند. در طیف FT-IR نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل‌دار پیک شاخص مربوط به ارتعاش کششی O-H در ۳۴۵۵ سانتی‌متر و پیک مربوط به ارتعاش کششی پیوند Fe-O در ۶۵۴ سانتی‌متر قابل مشاهده است (شکل ۴).

در طیف FT-IR نانو ذرات آهن آمین‌دار پیک شاخص مربوط به ارتعاش کششی N-H به صورت دوشاخه در ۳۴۲۹ و ۳۴۵۸ سانتی‌متر و پیک مربوط به ارتعاش کششی پیوند Fe-

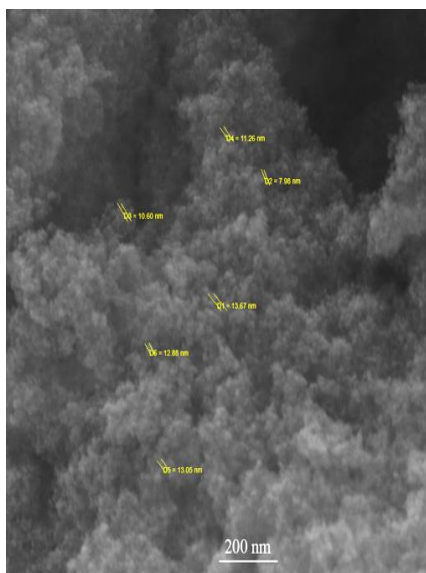
تیمارها سبب کاهش پ.هاش خاک، نسبت به تیمار شاهد شدند (شکل ۷).

آشکار می‌سازد که به استثناء تیمارهای نانو ذرات اکسید آهن آمین‌دار به مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سایر



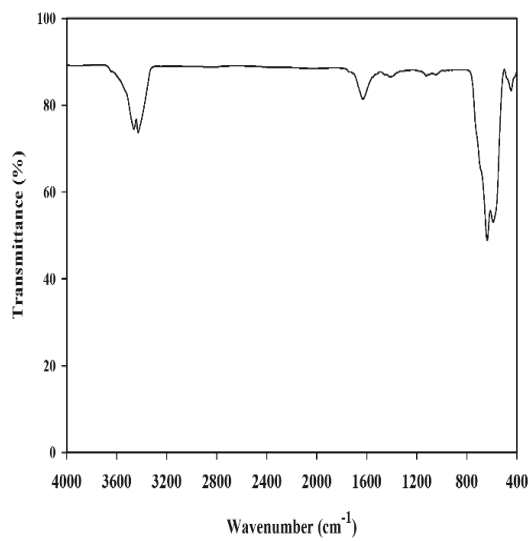
شکل (۲) تصویر FESEM نانوذرات اکسید آهن آمین‌دار
Figure (2) FESEM image of Amine iron oxide nanoparticles

شکل (۱) تصویر FESEM نانوذرات اکسید آهن هیدروکسیل‌دار
Figure (1) FESEM image of Hydroxyl iron oxide nanoparticles

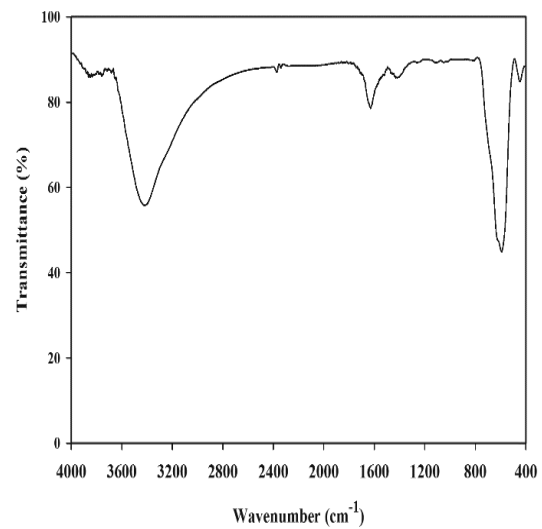


شکل (۳) تصویر FESEM نانوذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار
Figure (3) FESEM image of Carboxyl iron oxide nanoparticles

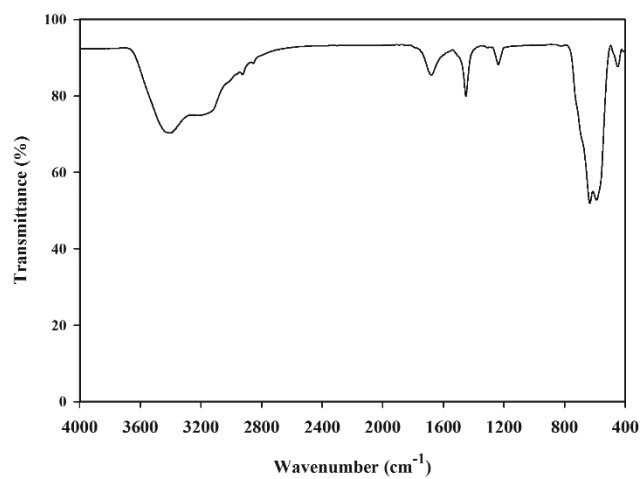
عبدالهی و همکاران: تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار بر میزان جذب...



شکل (۵) طیف FT-IR نانو ذرات اکسید آهن آمین دار
Figure(5) FT-IR spectrum of Amine iron oxide nanoparticles



شکل (۴) طیف FT-IR نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار
Figure(4) FT-IR spectrum of Hydroxyl iron oxide nanoparticles



شکل (۶) طیف FT-IR نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار
Figure(6) FT-IR spectrum of Carboxyl iron oxide nanoparticles

جدول (۲) تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پ.هاش و روی قابل دسترس خاک
Table (2) Variance Analysis of the treatments effect on pH and soil available zinc

میانگین مربعات Mean Square			
رومی قابل دسترس خاک Soil Available Zinc	pH	درجه آزادی Df	منبع تغییرات (Source of Variation)
0.08245636**	0.02456182**		تیمار Treatment
0.00006364	0.00013333	10	خطا Error
1.040921	0.151379	22	ضریب تغییرات C.V

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

گروه عاملی OH- دارد و در نهایت ویژگی بازی این ترکیب نسبت به OH- بیش تر است و توانایی تغییر پ.هاش خاک را ندارد (شکل ۹). حلالیت روی با کاهش هر واحد پ.هاش ۱۰۰ برابر افزایش می یابد (۱۷) و منجر به افزایش مقدار روی قابل دسترس خاک می شود (شکل ۸).

عملکرد، کلروفیل و ارتفاع گندم

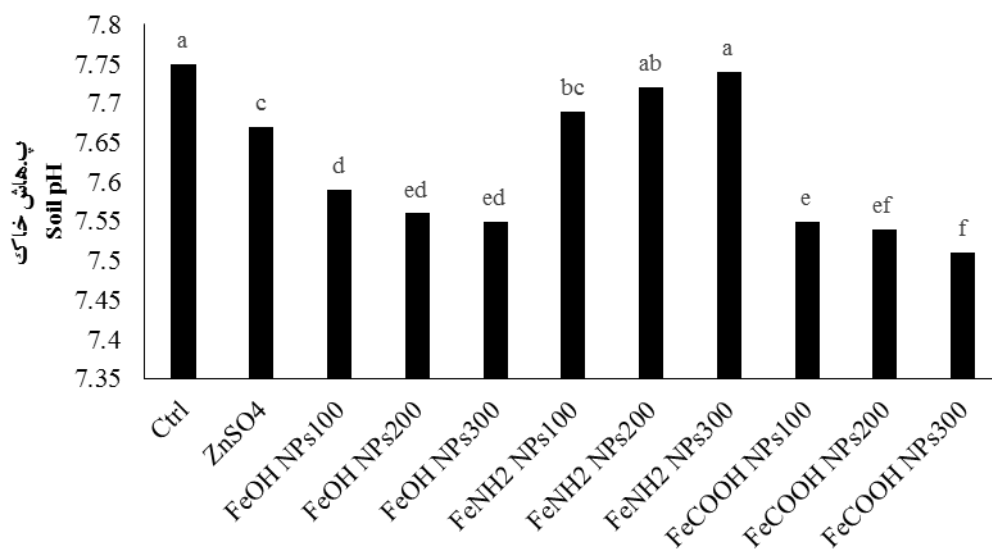
تأثیر تیمارها بر عملکرد ریشه، ساقه، دانه، مقدار کلروفیل و ارتفاع گیاه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳). در میان تیمارها، نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و شاهد، به ترتیب بیش ترین و کم ترین تاثیر را بر عملکرد ریشه و ساقه گندم داشتند (جدول ۴) تمامی تیمارها، عملکرد دانه را به طور معنی داری (۱۰/۶۸ تا ۳۶/۵۱ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش دادند (جدول ۴). نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و سولفات روی، به ترتیب بیش ترین و کم ترین تاثیر را بر افزایش عملکرد دانه گندم داشتند (جدول ۴). ارتفاع ساقه به طور معنی داری تحت تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار قرار گرفت (جدول ۴). تمامی تیمارها ارتفاع ساقه را به طور معنی داری (۲/۳۷ تا ۱۸/۵۴ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش دادند (جدول ۴). در بین تمامی تیمارهای آزمایش، بیش ترین و کم ترین میزان کلروفیل به ترتیب در تیمارهای نانو

تیمار نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک بیش ترین تأثیر را بر کاهش پ.هاش خاک داشت (شکل ۷). تمامی تیمارها، سبب افزایش مقدار روی قابل دسترس خاک (۵/۴۵ تا ۸۳/۶۴ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد شدند (شکل ۸). بیش ترین کم ترین غلظت روی قابل دسترس خاک، به ترتیب در تیمار نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و شاهد مشاهده شد (شکل ۸). نانو ذرات آهن عامل دار، به دلیل داشتن گروه های عاملی منجر به تغییرات پ.هاش خاک شدند. ترتیب قدرت اسیدی نانو ذرات به صورت زیر می باشد:

Fe3O4-COOH > Fe3O4-OH > Fe3O4-NH2
 حضور گروه COOH و SO₃H بر سطوح نانو ذرات، باعث کاهش پ.هاش خاک شده است. گروه های SO₃H و COOH از جمله اسیدهای قوی هستند و نسبت به گروه های عاملی OH و NH₂ قدرت اسیدی بیش تری دارند؛ بنابراین می توانند پ.هاش خاک را تا حدودی کاهش دهند (شکل ۹). گروه عاملی OH- موجود بر سطح نانو ذرات اکسید آهن الکترون گاتیوی بیش تری، نسبت به گروه های عاملی NH₂- دارد؛ بنابراین، هیدروژن در گروه عاملی OH- به راحتی آزاد شده و پ.هاش خاک را کاهش می دهد. گروه عاملی NH₂- دارای زوج الکترون های آزاد است و الکترون گاتیوی کم تری نسبت به

سرعت بخشیدن به متابولیسم گیاه باشد (۸) که به طور مثبتی فرآیندها زیستی سنتز کربوهیدرات و مقدار آمینواسیدها را افزایش می‌دهد (۶). احتمال دیگری که ممکن است در افزایش عملکرد گیاه در این آزمایش نقش داشته باشد، نفوذ نانو ذرات اکسید آهن به درون بافت گیاهی و نیز احیاء آهن نانو ذرات توسط کلات کننده‌های ریشه گندم است. این کلات کننده‌ها پس از این که با آهن تشکیل کمپلکس دادند، آهن احیاء و توسط گیاه جذب می‌شود. آهن در ساخت پروتئین و کلروپلاست و فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌ها نقش اساسی دارد (۲۳).

ذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار به مقدار ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و شاهد به دست آمد (جدول ۴). روی در ساختار و همچنین فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های گیاهی وجود دارد و عنصری ضروری برای ساخت این آنزیم‌ها به شمار می‌رود. کمبود این عنصر منجر به کاهش فتوسنتز و تولید پروتئین می‌شود و از طرفی با کاهش تولید کربوهیدرات، عملکرد نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین، با افزایش میزان روی در گیاه، فعالیت‌های آنزیمی نظیر RNA و DNA پلی‌مراز، هورمون ایندول استیک اسید (IAA) و جیبرلین افزایش می‌یابد و در نهایت، موجب افزایش عملکرد می‌شود (۲۳). از طرفی، افزایش عملکرد ممکن است به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد نانو ذرات و پتانسیل آن‌ها در

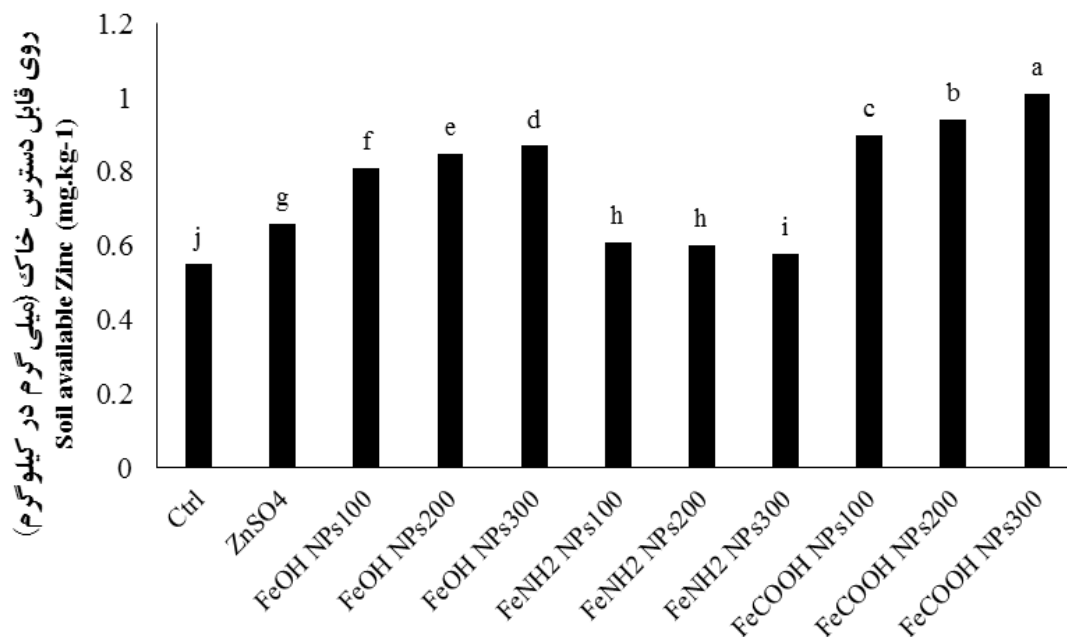


شکل (۷) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر پ.هاش خاک

Figure (7) Compare the average effect of treatments on soil pH

حروف مشترک بیانگر عدم معنی‌داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می‌باشند.

Ctrl: شاهد، ZnSO₄: سولفات روی، FeOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل‌دار سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل‌دار سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل‌دار سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین‌دار سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین‌دار سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین‌دار سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار سطح ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل‌دار سطح ۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم.



شکل (۸) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر روی قابل دسترس خاک
Figure (8) Compare the average effect of treatments on soil available zinc

حروف مشترک بیانگر عدم معنی داری بین تیمارها بر اساس آزمون توکی در سطح ۵٪ می باشند.
 Ctrl: شاهد، ZnSO₄: سولفات روی، FeOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم.

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						
منبع تغییرات Source of (Variation)	درجه آزادی Df	عملکرد ریشه (گرم بر گلدان) Root Yield (gr/pot)	عملکرد ساقه (گرم بر گلدان) Shoot Yield (gr/pot)	عملکرد دانه (گرم بر گلدان) Grain Yield (gr/pot)	ارتفاع گیاه (سانتی متر) Plant height (cm)	کلروفیل Chlorophyll
تیمار Treatment	10	0.02155908**	1.13340303**	3.04806909**	54.4150152**	8.77583333**
خطا Error	22	0.00179888	0.12537576	0.07568788	0.2522727	0.26136364
ضریب تغییرات C.V	-	4.334310	3.504735	2.499937	0.648189	1.147129

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

جدول (۴) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های گندم

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

تیمار	عملکرد ریشه	عملکرد ساقه	عملکرد دانه	ارتفاع گیاه	کلروفیل
Treatment	(گرم بر گلدان) Root Yield (gr/pot)	(گرم بر گلدان) Shoot Yield (gr/pot)	(گرم بر گلدان) Grain Yield (gr/pot)	(سانتی متر) Plant height (cm)	Chlorophyll
Ctrl	0.865 ^d	8.96 ^d	8.98 ^t	68.66 ^t	42.73 ^e
ZnSO ₄	0.983 ^{bcd}	9.48 ^{cd}	9.94 ^e	70.3 ^e	46.03 ^b
FeOH NPs ₁₀₀	1.021 ^{bc}	10.39 ^{abc}	10.58 ^{ed}	81.4 ^a	44.26 ^{cd}
FeOH NPs ₂₀₀	1.041 ^b	10.76 ^{ab}	11.46 ^{abc}	80.35 ^{ab}	44.03 ^{cde}
FeOH NPs ₃₀₀	1.166 ^a	11.21 ^a	11.61 ^{abc}	79 ^{bc}	44.53 ^c
FeNH ₂ NPs ₁₀₀	0.93 ^{bcd}	9.72 ^{cd}	10.14 ^e	80.8 ^a	42.95 ^{de}
FeNH ₂ NPs ₂₀₀	0.91 ^{cd}	9.81 ^{bcd}	10.98 ^{cd}	80.36 ^{ab}	42.9 ^{de}
FeNH ₂ NPs ₃₀₀	0.903 ^{cd}	10.03 ^{bc}	11.15 ^{bcd}	78.63 ^c	42.75 ^e
FeCOOH NPs ₁₀₀	0.943 ^{bcd}	10.08 ^{bc}	11.90 ^{ab}	76.8 ^d	46.1 ^b
FeCOOH NPs ₂₀₀	0.96 ^{bcd}	10.28 ^{abc}	12.02 ^a	76.5 ^d	46.33 ^{ab}
FeCOOH NPs ₃₀₀	1.04 ^b	10.39 ^{abc}	12.26 ^a	79.25 ^{bc}	47.6 ^a

Ctrl: شاهد، ZnSO₄: سولفات روی، FeOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم.

مطالعه تأثیر معنی داری در سطح ۱ درصد بر غلظت و جذب روی ریشه، ساقه و دانه گندم داشته است (جدول ۵). تمامی تیمارها به استثناء نانو ذرات اکسید آهن آمین دار (در هر سه سطح مورد مطالعه) غلظت روی ریشه را به طور معنی داری (۱۳/۱۶ تا ۱۰۳/۶۲ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند. به استثناء نانو ذرات اکسید آهن آمین دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم، غلظت روی ساقه به طور معنی داری (۱۷/۸۱ تا ۱۵۹/۲۶ درصد) تحت تأثیر نانو ذرات اکسید آهن عامل دار و کود شیمیایی سولفات روی در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش یافت (جدول ۶). تمامی تیمارها به استثناء نانو ذرات اکسید آهن آمین دار (به مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم)، غلظت روی دانه را به طور معنی داری (۴/۲ تا ۲۶/۸۷ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش دادند (جدول ۶).

بنابراین جذب آهن ممکن است عامل دیگری در افزایش عملکرد گندم باشد؛ برای مثال، سایر محققان نیز در مطالعات خود به بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید آهن بر ویژگی‌های گیاه پرداختند و گزارش دادند که نانو ذرات اکسید آهن ویژگی‌های رشدی گیاه بادام زمینی را افزایش داد (۱۹ و ۳۲). هم‌چنین عسکری و همکاران (۲۰۱۷) دریافتند که کاربرد نانو ذرات اکسید آهن موجب افزایش عملکرد گیاه نعنای شد (۴). در آزمایشی که بر روی گیاه توت فرنگی صورت گرفت، نانو ذرات اکسید آهن موجب افزایش عملکرد این گیاه گردید (۱۴).

غلظت و جذب روی گیاه گندم

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

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 (میلی گرم بر گلدان) Grain Uptake (mg/pot)	جذب ساقه (میلی گرم بر گلدان) Shoot Uptake (mg/pot)	جذب ریشه (میلی گرم بر گلدان) Root Uptake (mg/pot)	غلظت روی در دانه (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Grain (mg/kg)	غلظت روی در ساقه (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Shoot (mg/kg)	غلظت روی در ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم) Zn Concentration in Root (mg/kg)		
0.04625895**	0.04423284**	0.00016669**	100.524561**	346.285636**	121.772742**	10	تیمار Treatment
0.00037230	0.00336651	0.00000082	0.267803	0.201515	0.165909	22	خطا Error
2.642571	4.118749	4.013471	0.784573	1.532255	1.793162	-	ضریب تغییرات C.V

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد

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

جذب روی در ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)	غلظت روی در ساقه (میلی گرم بر کیلوگرم)	غلظت روی در دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)	جذب ریشه (میلی گرم بر گلدان)	جذب ساقه (میلی گرم بر گلدان)	جذب دانه (میلی گرم بر گلدان)	تیمار Treatment
Zn Concentration in Root (mg/kg)	Zn Concentration in Shoot (mg/kg)	Zn Concentration in Grain (mg/kg)	Root Uptake (mg/pot)	Shoot Uptake (mg/pot)	Grain Uptake (mg/pot)	
15.73 ^g	17.06 ^g	59.43 ^{fg}	0.0136 ^f	0.152 ^e	0.533 ^g	Ctrl
17.8 ^f	20.1 ^f	61.93 ^e	0.0174 ^e	0.19 ^d	0.615 ^f	ZnSO ₄
23.9 ^e	31.3 ^e	66.35 ^d	0.0244 ^d	0.325 ^c	0.702 ^e	FeOH NPs ₁₀₀
25.75 ^d	35.43 ^d	68.65 ^c	0.0268 ^{cd}	0.381 ^b	0.786 ^d	FeOH NPs ₂₀₀
26.53 ^d	38.26 ^c	69.15 ^c	0.0309 ^{ab}	0.428 ^a	0.802 ^{cd}	FeOH NPs ₃₀₀
16.7 ^{fg}	19.83 ^f	60.95 ^e	0.0159 ^{ef}	0.192 ^d	0.618 ^f	FeNH ₂ NPs ₁₀₀
16.3 ^g	18.93 ^f	60.75 ^{ef}	0.0148 ^f	0.185 ^{de}	0.667 ^{ef}	FeNH ₂ NPs ₂₀₀
15.86 ^g	17.36 ^g	59.16 ^g	0.0143 ^f	0.174 ^{de}	0.659 ^{ef}	FeNH ₂ NPs ₃₀₀
28.83 ^c	37.4 ^c	71.16 ^b	0.0271 ^c	0.377 ^b	0.846 ^{bc}	FeCOOH NPs ₁₀₀
30.41 ^b	42.33 ^b	72.6 ^b	0.0291 ^{bc}	0.435 ^a	0.873 ^{ab}	FeCOOH NPs ₂₀₀
32.03 ^a	44.23 ^a	75.4 ^a	0.0333 ^a	0.459 ^a	0.924 ^a	FeCOOH NPs ₃₀₀

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

Ctrl: شاهد، ZnSO₄: سولفات روی، FeOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن هیدروکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeNH₂ NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن آمین دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₁₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₂₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم، FeCOOH NPs₃₀₀: نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار سطح ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم.

جذب روی در اجزای مختلف گندم نیز، افزایش پیدا کرد. مطالعات قبل نیز نشان داد که نانو ذرات می تواند اثر مثبتی بر رشد و توسعه گیاه داشته باشند (۲۵ و ۴۲).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه مشاهده شد که نانو ذرات اکسید آهن عامل دار علاوه بر تأثیری که بر کاهش پ.هاش خاک و افزایش روی قابل دسترس خاک داشتند احتمالاً با نفوذ به درون گیاه و جابجایی در طول اندام های مختلف گیاه منجر به افزایش عملکرد شدند. بیشترین میزان غلظت و جذب روی در تیمار ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به دست آمد. استفاده از فناوری نانو در رفع نیاز تغذیه ای گیاه و محصولات زراعی روندی رو به رشد داشته و در سال های اخیر پیشرفت های قابل توجهی در این زمینه صورت گرفته است. با توجه به ویژگی های فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد نانو ذرات، و تأثیری که بر محیط ریشه گیاهان می گذارند می توانند شرایط را برای جذب عناصر کم مصرف نظیر روی مهیا کنند. بنابراین استفاده از نانو ذرات به مقدار مناسب می تواند موجب بهبود فقر عناصر غذایی خاک، محصولات و در نهایت انسان شود.

نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم بیشترین تأثیر را بر افزایش غلظت روی ریشه، ساقه و دانه گندم داشت (جدول ۶). تمامی تیمارها به استثناء نانو ذرات اکسید آهن آمین دار (در هر سه سطح مورد مطالعه)، جذب روی ریشه را به طور معنی داری (۲۷/۹۴ تا ۱۴۴/۸۵ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶). بیشترین و کمترین میزان جذب روی در ساقه، به ترتیب در تیمارهای نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و شاهد به دست آمد. تمامی تیمارها به استثناء نانو ذرات اکسید آهن آمین دار (به مقدار ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم)، جذب روی در ساقه را به طور معنی داری (۲۴/۶۵ تا ۲۰۰/۵۲ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد، افزایش دادند (جدول ۶). تمامی تیمارها جذب روی دانه را به طور معنی داری (۱۵/۳۴ تا ۷۳/۱۹ درصد) در مقایسه با تیمار شاهد افزایش دادند (جدول ۶). بیشترین میزان جذب روی ریشه، ساقه و دانه در تیمار نانو ذرات اکسید آهن کربوکسیل دار به مقدار ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد (جدول ۶). با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش، به واسطه تأثیر معنی داری که تیمارهای آزمایش (به استثناء تیمار نانو ذرات اکسید آهن آمین دار در سطح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) بر کاهش پ.هاش خاک داشتند، میزان روی قابل دسترس خاک افزایش یافت و در نتیجه، غلظت و

منابع

1. Alloway, B. J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium, 128 p.
2. Alloway, B. J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environ. Geochem. Health 31, 537–548.
3. Andreini, C., Bertini, I. and Rosato, A. 2009. Metalloproteomes: a bioinformatics approach. Acc. Chem. Res. 42, 1471–1479.

4. Askary, M., Talebi, S. M., Amini, F. and Dosusti Balout Bangan, A., 2017. Effects of iron nanoparticles on *Mentha piperita* L. under salinity stress. *BIOLOGIJA*. 63 (1): 65-75.
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. Eldin, A. S. 2015. Effect of Magnetite Nanoparticles (Fe₃O₄) as Nutritive Supplement on Pear Saplings. *Sciences*, 5(03), 777-785.
7. Ghafari, H and Razmjoo, J. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (11): 2997-3003.
8. Giraldo, J. P., Landry, M. P., Faltermeier, S. M., McNicholas, T. P., Iverson, N. M., Boghossian, A. A., ... and Strano, M. S. 2014. Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. *Nature materials*, 13(4), 400-408.
9. Gupta PK, 2004. *Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis*. Agrobios (India), 438 p.
10. Han, F. X. 2007. *Biogeochemistry of trace elements in arid environments (Vol. 13)*. Springer Science & Business Media.
11. Havlin JL , Beaton JD, Tisdale SL and Nelson WL 2007. *Soil Fertility and Fertilizers*, 7th ed. SSSA Madison, WI.
12. Hotz, C., Brown, K.H., 2004. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food Nutr. Bull.* 25 (Suppl. 2), S130–S186.
13. Jackson, R.S., 2008. *Wine science. Principles and Applications*. Elsevier, London
14. Jayvanth Kumar, U., Bahadur, V., Prasad, V. M., Mishra, S. and Shukla, P. K., 2017. Effect of Different Concentrations of Iron Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles on Growth and Yield of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. Chandler. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 6(8): 2440-2445.
15. La Frano, M.R., de Moura, F.F., Boy, E., Lönnnerdal, B., and Burri, B.J., 2014. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutr.Rev.* 72, 289–307.
16. Likar, M., Vogel-Mikus, K., Potisek, M., Hancevic, K., Radic, T., Necemer, M., and Regvar, M. 2015. Importance of soil and vineyard management in the determination of grapevine mineral composition. *Sci. Total Environ.* 505, 724–731.
17. Lindsay, W. L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and Sons Ltd.
18. 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.

19. Liu, X.M., Zhang, F.D., Feng, Z.B., He, X.S., Fang, R., and Feng, Z. 2005. Effects of nano ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutr.Fertil.Sci.* 11, 551–555.
20. Maftoun, M., and Karimian, N. 1989. Relative efficiency of two zinc sources for maize (*Zea mays* L.) in two calcareous soils from an arid area of Iran. *Agronomie*, 9(8), 771-775.
21. Maret, W. and Li, Y. 2009. Coordination dynamics of zinc in proteins. *Chem. Rev.* 109, 4682–4707.
22. Marschner, H. 1993. Zinc uptake from soils. In *Zinc in soils and plants* (pp. 59-77). Springer Netherlands.
23. Marschner, P. 2012. *Nutrition of Higher Plants*. third ed. Elsevier.
24. Mazaherinia, S., Astarai, A. R., Fotovat, A. and Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe , Mn , Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal* 7(1): 36-40.
25. Moghadam, A., Vattani, H., Baghaei, N., and Keshavarz, N. 2012. Effect of Different Levels of Fertilizer Nano_Iron Chelates on Growth and Yield Characteristics of Two Varieties of Spinach (" *Spinacia oleracea* " L.): Varamin 88 and Viroflay. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(22), 4813-4818.
26. Mortvedt, J. J. 1985. Plant uptake of heavy metals in zinc fertilizers made from industrial by-products. *J Environ. Qual*, 14:424–427.
27. Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Kumar, D. S. 2010. Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant science*, 179(3): 154-163.
28. Ojeda-Barrios, D.L., Perea-Portillo, E., Hernández-Rodríguez, O.A., Martínez-Téllez, J., Abadía, J., Lombardini, L. 2014. Foliar fertilization with zinc in pecan trees. *HortScience* 49, 562–566
29. Olsen, S.R., and Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilan2)*, Pp: 403-430.
30. Peralta-Videa, J. R., Hernandez-Viezcas, J. A., Zhao, L., Diaz, B. C., Ge, Y., Priester, J. H., Ann Holden, P. and Gardea-Torresdey, J. L. 2014. Cerium dioxide and zinc oxide nanoparticles alter the nutritional value of soil cultivated soybean plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 80, 128-135.
31. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis*. pp: 417-435.
32. Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., ... and Zhu, S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in plant science*, 7.

33. Shaheen, S.M., Tsadilas, C.D., and Rinklebe, J. 2013. A review of the distribution coefficients of trace elements in soil: influence of sorption system, element characteristics, and soil colloidal properties. *Adv. Colloid Interf. Sci.* 201–202, 43–56.
34. Shankamma, K., Yallappa, S., Shivanna, M. B. and Manjanna, J. 2015. Fe₂O₃ magnetic nanoparticles to enhance *S. lycopersicum* (tomato) plant growth and their biomineralization. *Applied Nanoscience*, 6: 983-990.
35. Sheykhbaglou, R., Sedghi, M., Shishevan, M. T and Sharifi, R. S. 2010. Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean. *Notulae Scientia Biologicae*, 2 (2): 112-113.
36. Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. In *Nanotechnology and Plant Sciences*. pp: 19-35. Springer International Publishing.
37. Singh, M.K., Prasad, S.K., 2014. Agronomic aspects of zinc biofortification in rice (*Oryza sativa* L.). *Proc. Natl. Acad, Sci.* 84: 613–623.
38. Sousa, S. F., Lopes, A. B., Fernandes, P. A. and Ramos, M. J. 2009. The zinc proteome: a tale of stability and functionality. *Dalton Transactions*, 7946–7956.
39. Swietlik, D., 2016. Zinc nutrition in horticultural crops. *Hortic. Rev*, 23, 109–180.
40. Teng, Y., Feng, D., Wu, Rui, Z., Song, L., and Wang, J. 2015. Distribution, bioavailability, and potential ecological risk of Cu, Pb, and Zn in soil in a potential groundwater source area. *Environ. Monit. Assess*, 187, 293.
41. Wang, Y.X.A., and Oyaizu, H. 2009. Evaluation of the phytoremediation potential of four plant species for dibenzofuran-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 168: 760-764.
42. Zhu, H., J. Q. Han and Y. Jin. 2008. Uptake, translocation, accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *J. Environ Monit*, 10:713-717.