

## مقایسه مقدار جذب و تجمع آهن در گندم (*Triticum aestivum* L.) با کاربرد اکسیدهای آهن معمولی و نانو همراه با کود کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی

• سیمامظاهری نیا (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

• علیرضا آستارایی

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

• احمد منشی

استاد گروه مواد، دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

• امیر فتوت

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: مهر ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۱۷۰۱۶۴۰

Email: sima.mazaheri61@gmail.com

### چکیده

این تحقیق با هدف مقایسه مقدار جذب و تجمع آهن در گندم با کاربرد اکسیدهای آهن معمولی و نانو حاصل از ضایعات فولاد مبارکه اصفهان در خاک انجام شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورها شامل پودر اکسید آهن معمولی (۰/۰۶-۰/۰۲ میلی‌متر) و نانو اکسید آهن (۲۵-۲۵۰ نانومتر) در پنج سطح صفر، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ درصد و دو سطح کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی (صفر و ۲ درصد وزن خاک) بودند. نتایج نشان داد مقدار جذب و غلظت آهن در گندم با کاربرد نانو اکسید آهن در مقایسه با اکسید آهن معمولی افزایش معنی داری داشت. همچنین متناسب با افزایش اکسیدهای آهن مصرفی مقدار جذب و غلظت آهن گیاه نیز افزایش یافت. کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی مقدار جذب و غلظت آهن گیاه را بطور معنی داری افزایش داد. همچنین کاربرد توأم هر دو نوع اکسید آهن با کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی افزایش معنی داری در مقدار جذب و غلظت آهن گیاه ایجاد نمود. این افزایش در تیمار نانو اکسید آهن حاوی کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی در مقایسه با تیمار اکسید آهن معمولی حاوی کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی بیشتر شد.

کلمات کلیدی: اکسید آهن معمولی، اکسید آهن نانو، کمپوست زباله گرانوله گوگردی، جذب و تجمع آهن، گندم (*Triticum aestivum* L.)

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 92 pp: 103-111

### A comparison of uptake and concentration of iron (Fe) in wheat (*Triticum aestivum* L.) plant using ordinary and nano iron oxides

By: Sima Mazaherinia: M.Sc. Student, Dept. of Soil Science – College of Agriculture-Ferdowsi University of Mashhad, (Corresponding Author; Tel: +989131701640) Ali Reza Astaraei: Associate Prof. of Soil Science, Dept. of Soil Science – College of Agriculture-Ferdowsi University of Mashhad, Ahmad Monshi: Prof. of Material Science, Dept. of Material Science – College of Material-Sanati University of Esfahan Amir Fotovat: Associate Prof. of Soil Science, Dept. of Soil Science – College of Agriculture-Ferdowsi University of Mashhad

Comparison of uptake and concentration of iron (Fe) in wheat (*Triticum aestivum* L.) plant using ordinary and nano iron oxides of Folade Mobarake Esfahan wastes in soil was carried out in a factorial completely randomized design with three replications. Ordinary iron oxide (0.02-0.06 mm) and nano iron oxide (25-250 nm) were used at (0, 0.05, 0.1, 0.5, and 1.0 % w/w) and two levels of urban solid waste compost coated with sulfur (0 and 2% w/w). Results showed that the uptake and concentrations of Fe in wheat increased significantly by using nano iron oxide more than that of ordinary iron oxide. Also, with increasing both iron oxides levels the uptake and concentrations of Fe in wheat increased significantly. Urban solid waste compost coated with sulfur increased the uptake and concentrations of Fe in wheat significantly. Application of both iron oxides along with urban solid waste compost coated with sulfur resulted in a significant increase in the uptake and concentrations of Fe in wheat. This increase was much more in treatment of nano iron oxide with urban solid waste compost coated with sulfur than that of ordinary iron oxide with urban solid waste compost coated with sulfur.

Key words: Nano iron oxide, Ordinary iron oxide, Urban solid waste compost coated with sulfur, Uptake and concentrations of Fe, Wheat (*Triticum aestivum* L.).

### مقدمه

بیش از ۱/۳ مردم جهان از کمبود آهن رنج می برند و اغلب این جمعیت را زنان و کودکان تشکیل می دهند. گیاهان منبع اصلی آهن در رژیم غذایی هستند. بنابراین مصرف گیاهان با سطح کافی از آهن سیاستی ضروری برای بهبود تغذیه بشر است (Ambler و همکاران ۱۹۷۰). با وجود اینکه مقدار آهن در سنگ مادر بیش از سایر عناصر غذایی است و آهن ترکیبات متعددی را با گوگرد و اکسیژن تولید می کند، لیکن درجه حلالیت این مواد به قدری ناچیز است که گیاه در شرایط زیستی نامساعد مانند pH بالا و زیادی کربنات کلسیم نمی تواند نیاز کم خود را از خاک تأمین نماید (Vose، ۱۹۸۲). کمبود آهن که بیشتر به صورت کلروز در برگ های جوان بروز می نماید به عنوان یکی از نارسائی های مهم تغذیه ای در گیاهان بویژه در خاک های آهکی مطرح است، به شدت عملکرد و کیفیت محصول آنها را تحت تأثیر قرار می دهد. خاک های آهکی بیش از ۳۰ درصد از سطح خشکی های زمین را می پوشانند. کمبود آهن به میزان زیاد ممکن است در نهایت باعث نابودی کامل محصول گردد. (Chen و Barak، ۱۹۸۱) در نظر گرفتن اینکه در ۲۰ سانتی متری بالای خاک تقریباً ۵۰۰۰۰ کیلوگرم آهن در هر هکتار خاک زراعی وجود دارد و همچنین این مسأله که گیاهان فقط به ۱-۲ کیلوگرم آهن در هر هکتار نیاز دارند، بنابراین آهن خاک باید برای چندین هزار سال نیاز گیاه را تأمین کند. عمده ترین عامل در ایجاد کلروز ناشی از کمبود آهن در گیاهان پرورش یافته در خاک های آهکی می باشد (Nicolic و Romheld، ۱۹۹۹). در بعضی از موارد کلروز ناشی از آهک در ارتباط با پائین بودن میزان جذب و انتقال آهن به برگ ها اتفاق

می افتد (Bavaresco و Fregoni، ۱۹۹۲) و در موارد دیگر غیر فعال شدن مقادیر بالایی از آهن به عنوان دلیل این مسأله مطرح می گردد (Morales و همکاران، ۱۹۹۸). در مطالعات انجام گرفته در گیاهان متعددی، مشاهده گردیده که کمبود آهن و مس، سبب تاخیر آغاز گلدهی می گردد که خود تحت تأثیر دوره نوری در گیاهان می باشد (Bernier، ۱۹۸۵). برای معالجه کلروز آهن روش های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است از جمله: استفاده از نمک های معدنی آهن، مواد اصلاحی اسید زا، زباله ها و تولیدات جنبی صنایع، کلات های آهن ترکیبات آلی (Hogstrom، ۱۹۸۴). از بین ترکیبات بکار رفته کلات های مصنوعی آهن مؤثرترین آنها بوده است (Mortvedt، ۱۹۸۶). ولی این کلات ها اکثر گران بوده و استفاده از آنها مقرون به صرفه نیست. وجود ترکیبات آلی در خاک دو نقش اساسی در زمینه انحلال آهن بازی می کند ۱- کمک به انحلال آهن از ترکیبات کریستاله ۲- جلوگیری از کریستاله شدن مجدد آهن (Chen و Barak، ۱۹۸۲). در سال های اخیر به واسطه افزایش شهرنشینی و تولید حجم زیاد فاضلاب، کمپوست حاصل از فاضلاب های شهری و کشاورزی (Agglides و Londra، ۲۰۰۰)، کمپوست حاصل از زباله های شهری (Giusquiani et al، ۱۹۸۸) و آبیاری اراضی با فاضلاب شهری (Mohammad Munir و Mazaher، ۲۰۰۳) به عنوان منابع آلی خاک متداول شده اند. در ایران نیز در طی سال های اخیر فعالیت هایی در این زمینه صورت گرفته است، بطوریکه در کارخانه کود آلی مشهد و کارخانه های مشابه در تهران، کرج، اصفهان، شیراز روزانه حجم انبوهی زباله شهری به کمپوست تبدیل می شود. استفاده از فاضلاب های شهری و کمپوست حاصل از آنها در اراضی

به عنوان گیاه محک در نظر گرفته شد و آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (دما ۲۵ درجه و رطوبت ۶۰ تا ۷۰ درصد) انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلفی از نانو پودر اکسید آهن (۲۵۰-۲۵ نانومتر) و پودر اکسید آهن معمولی (۰/۰۶-۰/۰۲ میلی متر) هر کدام پنج مقدار (۰، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۱ درصد وزن خاک) و کود کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی (جدول ۲) در دو سطح صفر و ۲ درصد وزن خاک بودند، که به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. تجزیه آماری داده ها با برنامه Minitab ۱۳/۲ و میانگین داده ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد با نرم افزار MSTAT-C مقایسه شد. اندازه گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Kalute، ۱۹۸۶)، pH نمونه های خاک در گل اشباع با pH متر Metrohm مدل ۶۳۲، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی Jenway ۴۳۱۰ (Richards، ۱۹۵۴)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Pag و همکاران، ۱۹۸۲)، فسفر قابل دسترس با دستگاه اسپکتروفتومتر به روش اولسن (Olsen، ۱۹۷۴)، پتاسیم قابل دسترس از روش عصاره گیری با استات آمونیوم و قرائت آن با دستگاه فلاپم فتومتر (مدل Jenwy-Pey ۷) تعیین شد (Richards، ۱۹۵۴). همچنین تعیین مقدار عناصر کم مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) قابل دسترس در خاک با روش لیندزی و نورول (Lindsay و Norvell، ۱۹۷۸) و در عصاره DTPA-TEA و توسط دستگاه جذب اتمی (واجد شعله و کوره گرافیتی) (مدل Shimadzu AA-۶۷۰) اندازه گیری شد. خاک مورد نیاز برای پر کردن گلدان ها از عمق ۳۰-۰ سانتی متر خاک مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مشهد (بارده بندی Tipice Haplocalcids) تهیه و پس از عبور الک ۲ میلی متری استفاده شد (جدول ۳). نمونه های یک کیلو گرمی از خاک توزین و تیمارهای آزمایشی با توجه به مقادیر در نظر گرفته شده در هر گلدان اعمال شد. تعداد ۶ بذر گندم که قبلاً با آب مقطر خیسانده شده بودند در هر گلدان کاشت شدند بعد از سبز شدن و اطمینان از استقرار گیاهان تعداد آنها در هر گلدان به ۲ عدد کاهش یافت. در طول دوره آزمایش آبیاری گلدان ها در فواصل ۲ روز یکبار طوری انجام شد که تا حد امکان رطوبت خاک گلدان ها در حد ظرفیت مزرعه حفظ شود. ۲ ماه بعد نمونه های گیاهی برداشت و پس از شستشو با آب مقطر آنها را بوسیله آون در دمای ۶۰ درجه تا رسیدن به وزن ثابت خشک کرده، سپس آنها را آسیاب کرده، پس از آن نمونه های خشک و آسیاب شده گیاه با استفاده از روش هضم تر (هضم با اسید نیتریک و اسید پرکلریک) عصاره گیری و جهت اندازه گیری غلظت آهن گیاه، نمونه های هضم شده با DTPA عصاره گیری شده (Rayan و همکاران ۲۰۰۱) و آهن گیاه با دستگاه جذب اتمی (واجد شعله و کوره گرافیتی) (Atomic Absorption Spectrophotometer مدل Shimadzu AA-۶۷۰) تعیین شد. جذب هر عنصر به وسیله گیاه با دو عامل مقدار عنصر در گیاه و وزن خشک گیاه تعیین می شود و عبارت است از حاصلضرب غلظت عنصر در ماده خشک گیاه. لازم به ذکر است که در این آزمایش وزن خشک قسمت هوایی گیاهان در هر گلدان به عنوان ماده خشک گیاه در نظر گرفته شده و بر حسب گرم در گلدان گزارش شده است. بنابراین مقدار جذب آهن که توسط گیاه انجام شده است در این تحقیق به این صورت محاسبه گردید.

کشاورزی دو مشکل را حل می کند: اول مصرف فاضلاب و دوم افزایش مواد آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به خاک (Giusquiani و همکاران، ۱۹۸۸). برخی محققین در بررسی های خود به این نتیجه رسیدند که فاضلاب به عنوان آب آبیاری سبب افزایش غلظت آهن و منگنز در خاک شد ولی غلظت روی و مس افزایش معنی داری نشان نداد که آنها علت افزایش غلظت آهن و منگنز را تشکیل کلات این عناصر با ترکیب آلی اضافه شده توسط فاضلاب دانستند که باعث افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی آنها در خاک های قلیایی و آهکی می شود (Mohammad، Munir و Mazaher، ۲۰۰۳؛ Pascual، و همکاران، ۱۹۹۹). نانو تکنولوژی می تواند فهم و درک ما را از کشاورزی متنوع و افزایش زمینه هایی جهت تولید ماکزیمم محصول به طور دقیق تقویت و بهبود بخشد (Hosseini، ۲۰۰۹). جلوگیری از فرسایش (Tavosi و همکاران، ۲۰۰۷)، تصفیه خاک از آلاینده ها و همچنین غنی سازی خاک نمونه هایی از کاربرد فناوری نانو در خاکشناسی است. در کشاورزی معمولاً برای جبران کمبود های خاک از کود ها استفاده می شود. استفاده از نانو ذرات آهن نسل جدیدی از تکنولوژی پاکسازی محیط زیست است که می تواند راه حل اقتصادی برای برخی مشکلات ناشی از آلاینده ها باشد (Zhang، ۲۰۰۵). همچنین با استفاده از نانو ذرات و نانو کپسول ها می توان کودهایی با رهش کنترل شده یا تاخیری تولید نمود. جذب کودهایی که با این ابعاد تولید می گردند، راحت تر شده و نسبت به کودهای رایج تاثیر بیشتری دارند. علاوه بر آن می توان کودهای شیمیایی زیست سازگار ایجاد کرده و از آلودگی محیط زیست و شوری بیش از حد خاک پرهیز نمود (Ranjbar و Shams، ۲۰۰۹). با توجه به این موضوع که خاک اغلب اراضی زراعی و باغی کشور آهکی است و کمبود آهن از شایع ترین ناهنجاری های تغذیه ای گیاهان بویژه در این نوع خاک ها است. ارایه راه حل برای تامین آهن مورد نیاز گیاه اهمیت قابل توجهی دارد. از آنجا که نانو مواد به دلیل سبک و کوچک بودن ذرات و واکنش پذیری زیاد در محیط های مختلف ممکن است از نظر تغذیه آهن در خاک های آهکی به عنوان یک راه حل جایگزین قابل طرح باشد، این تحقیق به منظور بررسی پتانسیل نانو ذرات اکسید آهن برای افزایش میزان آهن قابل گیاه گندم انجام گردید. همچنین با توجه به تغییر الگوی زندگی در جوامع شهری و روستایی کشور سالانه مقدار قابل توجه زباله با قابلیت تبدیل به کمپوست ایجاد می شود. به همین دلیل کارخانه های تولید کمپوست در اغلب شهرهای بزرگ احداث گردیده است. در بخش دیگر این تحقیق تاثیر کمپوست زباله های شهری به عنوان کود آلی بر میزان جذب گیاهی آهن بررسی شد.

## مواد و روش ها

پودر اکسید آهن ضایعاتی که از فرایند اسید شویی ورقه های فولاد حاصل شده دارای pH اسیدی است (pH=۵/۲) ذرات اکسید آهن قطری بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۶ میکرومتر دارند (جدول ۱). نانو پودر اکسید آهن به روش مکانیکی به وسیله آسیاب گلوله ای (Ball mill) تهیه شد. اندازه ذرات به وسیله میکروسکوپ انتقال الکترونی عبوری (TEM) (مدل Transmission Electron Microscopic (AB) ۹۱۲ Leo) واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد تعیین شد. با توجه به تصاویر حاصل از مشخص شد که ذرات نانو پودر اکسید آهن قطری بین ۲۵ تا ۲۵۰ نانومتر داشتند (شکل ۱). در این آزمایش گندم رقم آتالا

جدول ۱- ترکیب شیمیایی پودراکسید آهن ضایعات (Foruhar, ۱۹۹۹)

ترکیب	فراوانی (%)	ترکیب	فراوانی (□)
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۹۴/۷	Cl <sup>-</sup>	۰/۳
FeO	۱/۴	S	۰/۰۷۷
CaO	۱/۴	C	۰/۰۳۲
MgO	۰/۰۲۱	Mn	۰/۱۶
Na <sub>۲</sub> O	۰/۱۴	Cu	۰/۰۰۵۴
Zn	۰/۰۰۲۲	Cr	۰/۰۰۸۶
Pb	۰/۰۰۵۴	رطوبت	۱/۶۴
L.O.I <sub>۱</sub>	۰/۷۸		

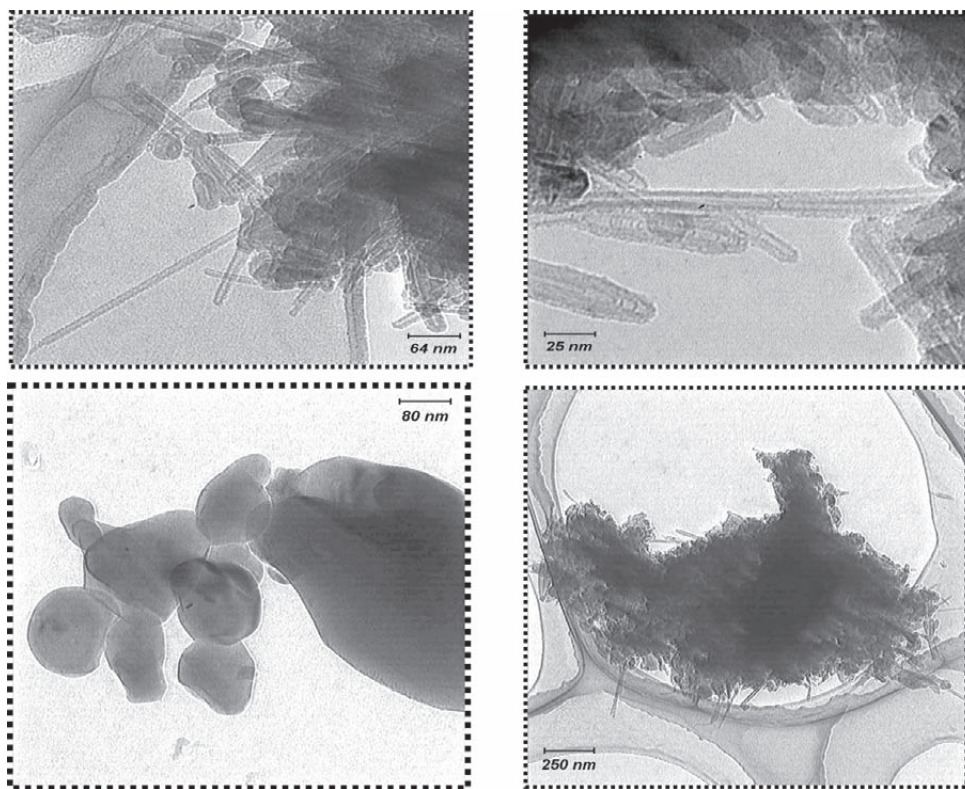
Loss on ignition.)

جدول ۲- خصوصیات کود کمپوست زباله شهری گرانوله گوگردی

Cu	Zn	Mn	Fe	S	K	P	N	EC	pH
mg/kg <.....%.....> <.....ds/m.....>									
۲۱۲/۳	۸/۳	۲۰۱/۹۵	۳/۲	۱۰	۰/۲	۰/۰۲	۱/۳	۷/۴	۶/۸

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک قبل آزمایش

K	P	Cu	Mn	Zn	Fe	CaCo <sub>۳</sub>	N	OM	EC	pH	بافت
mg/kg <.....%.....> <.....ds/m.....>											
۱۱۲	۱۲/۵	۰/۹	۵/۲	۱/۴	۳/۲	۱۴/۸	۰/۰۳	۰/۳۱	۲/۰۵	۷/۴۵	CL



شکل ۱- بزرگنمایی ذرات نانواکسید آهن با میکروسکوپ TEM

تهویه مناسب بخوبی انجام می گیرد (Foruhar, ۱۹۹۹). در تحقیقی گزارش شده که با افزودن مقادیر ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ پی پی ام از یک محصول فرعی صنایع فولاد به یک خاک لومی آهن در گیاهان رشد یافته در این خاک افزایش می یابد (Parkpian و anderson, ۱۹۸۶). با توجه به نمودار ۳ کود کمپوست گرانوله گوگردی باعث افزایش غلظت آهن گیاه شد که نسبت به گیاه بدون اعمال کود کمپوست بود این افزایش معنی دار بود. در تحقیقی گزارش شد مصرف توأم گوگرد و کمپوست باعث افزایش جذب عناصر غذایی آهن، منگنز، روی و مس نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۶۸، ۴۲، ۶۴ و ۵۴ شد (Gudarzi, ۲۰۰۵). مطالعات زیادی افزایش فراهمی آهن را در اثر افزودن پسماندهای آلی گزارش کردند (Casado-Vela و همکاران, ۲۰۰۶).

در نمودار ۴ مشاهده می شود نانو اکسید آهن در کود کمپوست ۲ درصد نسبت به بقیه تیمارها در غلظت آهن گیاه حداکثر تأثیر را داشت و حداقل آن مربوط به تیمار حاوی اکسید آهن معمولی در کود صفر درصد بود که نسبت به بقیه تیمارها معنی دار بود. که این احتمالاً به دلیل این بود که نانو اکسید آهن به دلیل کوچک بودن ذرات کمپلکس های بیشتری نسبت به اکسید آهن معمولی با کود کمپوست تشکیل می دهند و با این تفسیر حلالیت آهن بیشتر می شود و جذب آن توسط گیاه راحتتر است. در تحقیقی نشان داده شد مواد آلی با کمپلکس نمودن عناصر غذایی جذب آنها توسط گیاهان را افزایش

## نتایج بحث

نمودار ۱ نشان داد کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی در افزایش غلظت آهن گیاه تأثیر بیشتری داشته که این افزایش معنی دار بود. این احتمالاً به دلیل خاصیت نانو ذرات و حلالیت بیشتر آنها می باشد همچنین شاید شانس برخورد ریشه ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی بیشتر است.

با توجه به نمودار ۲ همانطور که مشاهده می شود متناسب با افزایش اکسید آهن غلظت آهن گیاه نیز افزایش یافت که این افزایش معنی دار بود. حداکثر افزایش در اکسید آهن ۱ درصد وزن خاک و حداقل آن در اکسید آهن صفر درصد مشاهده شد که نسبت به بقیه تیمارها معنی دار بودند. افزایش معنی دار غلظت آهن در گیاه تحت تیمار اکسید آهن ۱ درصد نسبت به بقیه تیمارها ممکن است به دلیل توانایی پودر اکسیدی در فراهم آوردن آهن قابل جذب گیاه در شرایط آزمایش و نیز اثر ریشه و مکانیزم های اتخاذی گیاه در جذب آهن از پودر اکسیدی باشد. همچنین تأثیر مثبت پودر اکسیدی بر خصوصیات فیزیکی خاک به علت ایجاد خاکدانه توسط آنها، کاملاً مشهود بود. بهبود خصوصیت فیزیکی و از آن جمله تهویه خاک، می تواند یکی از دلایل افزایش غلظت آهن در گیاهان رشد یافته تحت تأثیر تیمارهای حاوی اکسید آهن بیشتر باشد. علت این امر این است که جذب آهن یک جذب فعال بوده و نیاز به انرژی دارد. انرژی جذب از طریق تنفس ریشه ها حاصل می گردد که در شرایط

می دهند (Rise و Tombacz, ۱۹۹۹).

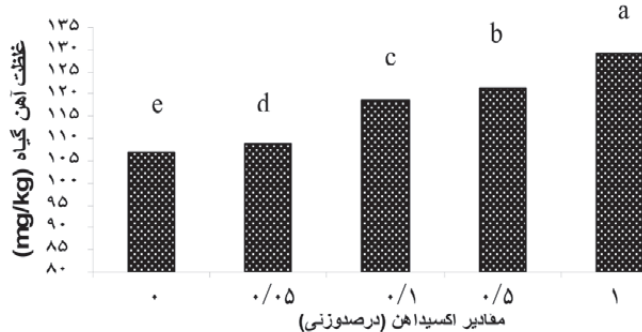
تیمار نانو اکسید آن ۱ درصد نسبت به تیمارهای دیگر حداکثر آهن را در گیاه نشان داد که نسبت به بقیه تیمارها معنی دار بود. همچنین حداقل آهن در گیاه در تیمار اکسید آهن معمولی صفر در صد مشاهده شد که نسبت به تیمار اکسید آهن معمولی ۰/۰۵ درصد و نانو اکسید آهن صفر درصد معنی دار نبود. همچنین تیمار اکسید آهن معمولی ۰/۵ درصد با نانو اکسید آهن ۰/۱ درصد تفاوت معنی داری نداشت (نمودار ۵). که می توان به حلالیت بیشتر و قابلیت دسترسی بیشتر نانو اکسید آهن نسبت به اکسید آن معمولی نسبت داد.

نمودار ۶ نشان می دهد که غلظت آهن گیاه در تیمار حاوی اکسید آهن ۱ درصد و کود ۲ درصد حداکثر بود و با افزایش مقدار آهن همراه کود غلظت آهن گیاه افزایش یافت که این احتمالاً به دلیل خاصیت اسیدی پودرها و همچنین گوگرد موجود در کود کمپوست و تشکیل کمپلکس بیشتر با اکسید آهن می باشد تیمار اکسید آهن ۰/۵ درصد همراه با کود ۲ درصد و تیمار اکسید آهن ۱ درصد بدون کود همچنین تیمار اکسید آهن ۰/۱ درصد با کود ۲ درصد و تیمار اکسید آهن ۰/۵ درصد بدون کود و دو تیمار اکسید آهن ۰ درصد با کود ۲ درصد و اکسید آهن ۰/۵۰ درصد و کود ۲ درصد تفاوت معنی داری نداشت. حداقل آهن گیاه در تیمار اکسید آهن صفر درصد بدون کود مشاهده شد که نسبت به بقیه تیمارها معنی دار بود. ظاهراً کود کمپوست اضافه شده به خاک باعث افزایش تحرک آهن در خاک شده بود. علت تأثیر کود در افزایش غلظت آهن گیاه، احتمالاً افزایش فعالیت میکروبی در اثر کاربرد کود و وجود گوگرد در آن، اکسیداسیون گوگرد به وسیله باکتری ها، کاهش pH خاک و تولید اسید آلی و معدنی شدن ماده آلی خاک و پیرو آن افزایش عناصر غذایی از جمله آهن قابل جذب گیاه است (Wainwright, ۱۹۸۴). در تحقیقی در اثر افزودن ماده آلی به خاک افزایش معنی داری در غلظت آهن محلول مشاهده کردند (Wallace و Jant, ۱۹۶۰). اثر متقابل مقادیر اکسید آهن و کمپوست جدول ۴ نشان می دهد که

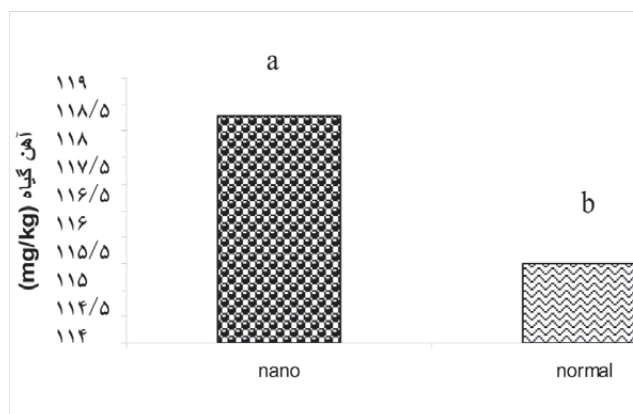
متناسب با افزایش مقادیر اکسید آهن با وبدون کود کمپوست جذب آهن در گیاه افزایش یافت. علت افزایش جذب آهن در این تیمارها احتمالاً به دلیل افزایش غلظت آهن در گیاه می باشد. همچنین مقدار جذب آهن در گیاه در تیمارهای حاوی کمپوست نسبت به تیمارهای بدون کمپوست بیشتر بود که این افزایش به دلیل افزایش وزن خشک گیاه در این تیمارها بود.

اثر متقابل نوع اکسید آهن و کمپوست جدول ۵ نشان داد که حداکثر جذب آهن در تیمار حاوی نانو اکسید آهن با کود کمپوست بوده که نسبت به سایر تیمارها این اختلاف معنی دار بود. همچنین حداکثر جذب آهن در تیمار حاوی نانو اکسید آهن با کود کمپوست بوده که نسبت به سایر تیمارها این اختلاف معنی دار بود.

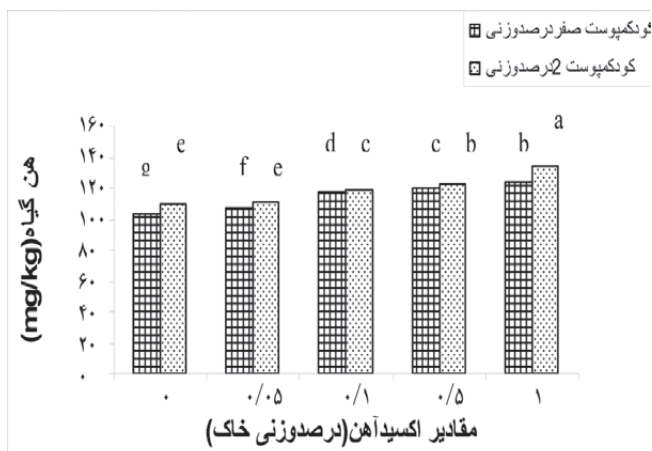
در جدول ۶ مشاهده می شود تیمارهای حاوی اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی داری در جذب آهن داشتند. همچنین با افزایش مقادیر اکسید آهن، جذب آهن گیاه نیز بیشتر شد که این افزایش در تیمارهای حاوی نانو اکسید آهن بمراتب بیشتر بوده که احتمالاً به دلیل فراهمی بیشتر غلظت آهن در خاک توسط این تیمارها بود. استفاده از هر دو نوع اکسید آهن منجر به افزایش غلظت و جذب آهن در گیاه شده که این افزایش در سطح ۵ درصد معنی دار بود. همانطور که در این تحقیق مشاهده شد با کاربرد نانو اکسید آهن در خاک غلظت آهن در گیاه نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش بیشتری داشت. این توصیه با توجه به خصوصیات بررسی شده در این تحقیق ارایه شده و البته برای بررسی رفتار این مواد در خاک ها و گیاهانی با ویژگی های مختلف و شرایط محیطی متفاوت لازم است مطالعات تکمیلی بیشتری انجام شود. همچنین افزودن کود کمپوست زباله شهری همراه با هر دو نوع پودر اکسید آهن باعث افزایش معنی دار غلظت و جذب آهن در گیاه شد. جایگزین کردن کمپوست زباله شهری گرانوله با کودهای شیمیایی به دلیل فواید آن، و اینکه آلودگی کمتر می تواند در سطح وسیعی در باغ ها و مزارع بکار رود.



نمودار ۲- اثر مقادیر مختلف اکسید آهن (درصدوزنی خاک) بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) (مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند (P= ۰/۰۵)).



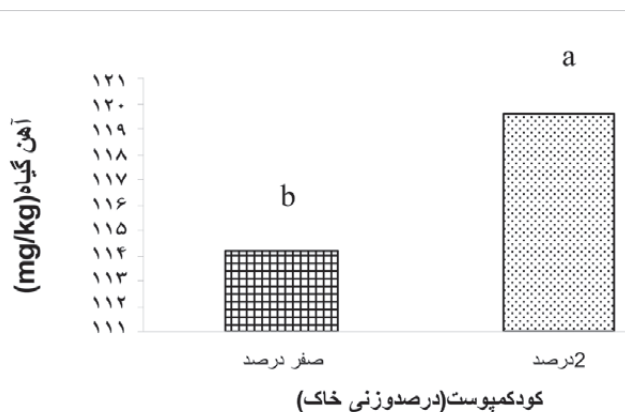
نمودار ۱- اثر دو نوع اکسید آهن (نانو و معمولی) بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) (مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند (P= ۰۵/۰)).



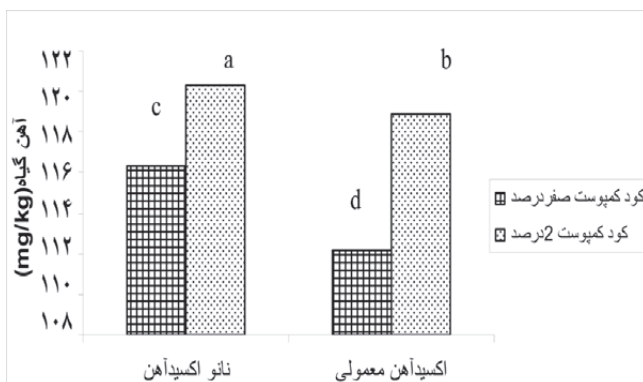
نمودار ۶- اثر متقابل مقادیر اکسید آهن و کود کمپوست (صفر و ۲ درصدوزنی خاک) بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند ( $P=0/05$ ).

### منابع مورد استفاده

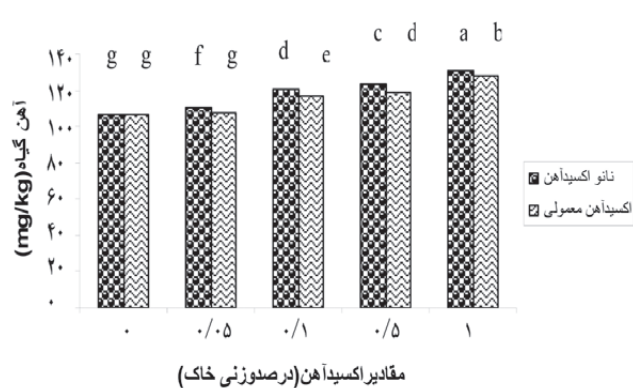
- 1- Ambler, J.E., Brown, G.C., and Gauch, H. G. (1970) Sites of iron reduction in soybean plants. *Agronomy Journal*, Vol, 63, PP. 95-97.
- 2- Agglides, S.M., and Londra P.A. (2000) Effects of compost produced from town wastes and sewage on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, Vol, 71, PP. 253-259.
- 3- Bavaresco, L., Fregoni, M. (1992) Investigation on some physiological parameters involved in chlorosis occurrence in grapevine. *Plant Nutr*, Vol, 15, PP. 1791-1807.
- 4- Bernier, G., Kinet, J.M., and Sachs, R.M. (1985) The physiology of flowering. CRC press, Inc., Florida. PP. 13-20.
- 5- Casado-Vela, J.S., Navarro, J., and Bustamante, M.A. (2006) Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. *Journal of Waste Management*, Vol, 26, PP. 946952.
- 6- Chen, Y. and Barak P. (1982) Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron. Vol*, 35, PP. 217-240.
- 7- Foruhar, M. (1999) *Possibility of using iron oxide waste from acid pickling line as iron fertilizer*. University of Esfahan Sanati.
- 8- Giusquiani, P.L., Marucchini, C., and Busineli M. (1988) Chemical properties of soils amended with compost of urban waste. *Plant and Soil*, Vol, 109, PP. 73-78.
- 9- Gudarzi, K. (2005) Effect of sulfur and compost on nutrient uptake by wheat in a calcareous soil. Ninth Congress of Soil Sciences, Tehran, Iran. *Watershed pub*. Vol, 1, P.15.
- 10- Hogstrom, G.R., (1984) Correct management practices for correcting iron deficiency in plants with emphasis on soil



نمودار ۳- اثر کود کمپوست بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند ( $P=0/05$ ).



نمودار ۴- اثر متقابل دو نوع اکسید آهن (نانو و معمولی) و کود کمپوست (صفر و ۲ درصدوزنی خاک) بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند ( $P=0/05$ ).



نمودار ۵- اثر متقابل نوع اکسید آهن (نانو و معمولی) و مقادیر آنها (درصدوزنی خاک) بر غلظت آهن گیاه (mg/kg) مقادیر غلظت آهن گیاه با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی دار هستند ( $P=0/05$ ).

- 1027-1038.
- 20- Ranjbar, M., Shams, Gh.A. (2009) Using of nano technology. *Ecological green journal*, Vol, 3, P. 29.
- 21- Rayan, J.R., Estefan, G., and Rashid, A. (2001) *Soil and plant analysis laboratory manual*. 2nd edition. ICARDA. Syria.
- 22- Richards, L.A. (1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA. Agriculture hand book. No: 60. Washington.
- 23- Parkpian, P and Anderson, W.B. (1986) Iron availability from a steel industry byproduct. *Plant Nutri*, Vol, 7, PP. 1027-1038.
- 24- Pascual, J.A., Garcia, C., and Hernandez, T. (1999) Comparison of fresh and composted organic waste in their efficacy for the improvement of arid soil quality. *Bioresource Tchnology*, Vol, 68, PP. 255-264.
- 25- Tavosi, M., Heidar poor, A., and Char sughi, A. (2007) *Nano material: Methods of synthesis*. First edt. Esfahan Nosuh, Esfahan.
- 26- Tombacz, E. and Rise, J.A. (1999) *Changes of colloidal State in aqueous systems of humic acids*. In: Ghabbour, E.A. and davies, (eds), *Understanding humic substances: Advanced Methods, Properties and applications*. Royal SOCIETY OF CHEMISTRY, cambridge, UK. PP. 69-77.
- 27- Vose, P.B. (1982) Iron nutrition in plant. A word overview. *Plant Nutr*, Vol, 5, PP. 233-249.
- 28- Wainwright, M. (1984) Sulfur oxidation in soils. *Adv. Agron*, Vol. 37. PP. 349-392.
- 29- Wallace, A., and Lant, O.R. (1960) Iron Chlorosis in Horticultural. *Plant. Proc. Soc. Hort. Sci.* Vol, 75, PP. 819-841.
- 30- Zhang, W. (2005) Nanoparticle iron particle for environmental remediation. *Journal of Nanoparticle*, Vol, 5, PP. 323-332.
- management. *Plant Nutr*, Vol, 7, PP. 23-46.
- 11- Hosseini, S. (2009) Effect of nanotechnology in agricultur science. *Agriculture and industry journal*, Vol, 11, PP. 20-22.
- 12- Kalute, A. (1986) *Method of soil analysis part 1: Physical and mineralogical methods*. 2nd edition. ASA. SSSA. Wisconsin. USA.
- 13- Lindsay, W.L., and Norvell, .W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, managanez and copper. *Journal of Soil Science*, Vol, 42, PP. 421-428.
- 14- Mohammad, Munir.J., and Mazaher, N. (2003) *Chages in soil forage crops with secondary treated waste water*. Communication in Soil Science and Plant Analysis, Vol, 34, PP. 1281-1294.
- 15- Morales, F., Grasa, R., Abadia and A., Abadia, J. (1998) Iron chlorosis paradox in fruit trees. *Plant Nutr*. Vol, 21, PP. 815-825.
- 16- Mortvedt, J.J. (1986) Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *Plant Nutr*, Vol, 6, PP. 674-961.
- 17- Nolic, M., and Romheld., V. (1999) Mechanism of Fe uptake by the leaf symplast: Is Fe inactivation in leaf a cause of Fe chlorosis? *Plant and Soil*, Vol, 215, PP. 211-220.
- 18- Olsen, S.R., Close, V., Watnebe, F.S., and pean, L.A. (1954) *Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate*. USDA. 939. USA.
- 19- Page, A.L., Miller, r.h., and Keeney, D.R. (1982). *Method of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological prpperties*. 2nded. America Societyof Agronomy Soil Science of America Publisher. Madison. Wisconsin. USA. 6. Iron availability from a steel industry by\_product. *Journal of Plant Nutri*, Vol,7, PP.

جدول ۴- اثر متقابل کمیوست (%) و مقادیر اکسید آهن بر مقدار جذب آهن در گندم (mg/pot) (اعداد با حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ می باشند).

میانگین	جذب آهن در گندم (mg/pot)					مقادیر اکسید آهن (%) کود (%)
	۱	۰/۵	۰/۱	۰/۰۵	صفر	
۰/۰۷۷ B	۰/۲۲ b	۰/۲ c	۰/۱۷ d	۰/۱۳ e	۰/۱۱ f	صفر
۰/۲۱ A	۰/۳ a	۰/۲۲ b	۰/۲۱ b	۰/۱۷ d	۰/۱۶ d	۲
	۰/۲۷ A	۰/۲۱ B	۰/۱۹ C	۰/۱۵ D	۰/۱۴ E	میانگین



