



مقایسه کاربرد برگی و خاکی نانوکلات‌های آهن بر ویژگی‌های رشدی آفتابگردان در یک خاک شور

مرضیه شهرکی‌زاد^۱، احمد غلامعلی‌زاده آهنگر^{۲*} و نوشین میر^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زابل، ^۲دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زابل،

^۳دانشیار گروه شیمی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: فناوری‌های نوین مانند بیوتکنولوژی و نانوتکنولوژی نقش مهمی در افزایش تولیدات و بهبود کیفیت مواد غذایی تولید شده توسط کشاورزان ایفا می‌کنند. شوری خاک نیز مستقیماً بر جذب عناصر غذایی اثرگذار می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کاربرد نانو کلات با بنیان‌های اتیلن‌دی‌آمین‌ترا استیک‌اسید (EDTA) و اسید هیومیک (HA) به عنوان عامل کودی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایش گلدانی و به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو سطح کودی نانو کلات‌های آهن (اتیلن‌دی‌آمین‌ترا استیک‌اسید و اسید هیومیک) و دو روش کاربرد کود (محل‌پاشی با سطح یک گرم در لیتر و خاکی با سطح ۱ گرم در کیلوگرم همراه با شاهد) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل انجام شد. جهت کشت از ۵ بذر آفتابگردان استفاده گردید. هم‌چنین اعمال تیمارها به دو صورت مصرف خاکی و محل‌پاشی از زمان ۶-۴ برگی، در ۴ مرحله و در فواصل زمانی ۱۵ روزه اجرا گردید. در طول دوره آزمایش نیز گلدان‌ها توسط آب مقطر و به روش وزنی آبیاری شدند. ۸ هفته بعد از کشت گیاه، برخی پارامترهای رشد، میزان کلروفیل و هم‌چنین عناصر غذایی (آهن، روی، فسفر و پتاسیم) اندام هوایی گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) در شرایط شوری دائمی خاک بررسی گردید. تجزیه آماری بر اساس نرم‌افزار آماری SAS و آنالیز واریانس داده‌ها بر اساس برنامه تجزیه واریانس آنووا (Anova) انجام شد. میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ گروه‌بندی شدند.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد اثرات متقابل نوع کود و روش مصرف آن تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های اندام‌هوایی (وزن خشک، تعداد برگ و ارتفاع بوته)، محتوای کلروفیل‌های برگ (a، b، کل و کارتنوئیدها) و غلظت عناصر غذایی (آهن، روی، فسفر و پتاسیم) گیاه آفتابگردان داشت ($P \leq 0/01$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد محل‌پاشی نانو کلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌ترا استیک‌اسید وزن خشک اندام هوایی، تعداد برگ و ارتفاع بوته (به ترتیب ۱/۱۵، ۱/۲۱ و ۱/۰۵ برابر)، میزان کارتنوئید برگ (۱/۷۶ برابر) و هم‌چنین غلظت آهن در اندام هوایی (۲/۳۷ برابر) را

* مسئول مکاتبه: ahangar@uoz.ac.ir

در مقایسه با شاهد افزایش داد. هم‌چنین در مصرف خاکی نانو کلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید، میزان غلظت عناصر فسفر و پتاسیم نیز به ترتیب $1/59$ و $1/94$ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج، کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید اکثر پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان را بهبود داد که برتری این نانو کود را نسبت به نانوکلات آهن با بنیان اسید هیومیک در خاک‌های شور نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: عناصر کم‌مصرف، کلات، گیاه روغنی، نانو تکنولوژی، نانو کود

مقدمه

شوری، تولید محصولات کشاورزی در ۲۰ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت دنیا را با محدودیت جدی مواجه ساخته است (۱۲). به طور تقریبی ۲۳ درصد از زمین‌های کشت شده در جهان، اراضی شور هستند (۶). شوری می‌تواند به طور مستقیم روی جذب عناصر غذایی اثرگذار باشد. هرچه تجمع سدیم و کلر در خاک افزایش پیدا می‌کند می‌تواند جذب عناصر غذایی را کاهش دهد (۱۰). آفتابگردان گیاهی نسبتاً حساس به شوری می‌باشد و محصول آن می‌تواند به‌طور گسترده تحت تأثیر شوری قرار گیرد (۱۱). در یک پژوهش، مقدار آستانه شوری آب برای وزن خشک گیاه آفتابگردان برابر با $0/8$ دسی‌زیمنس بر متر و شیب کاهش رشد تا حدود ۳۰ روز بعد از کاشت، برابر با $6/1$ - مگاپاسکال تعیین گردید (۲۵). از طرفی همراه با صنعتی شدن کشورها، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیز به منظور افزایش میزان محصولات باغی و زراعی افزایش یافته و دنیا را با خطر آلودگی محیط زیست رو به رو کرده است. مصرف این کودها در بخش کشاورزی از راه‌های مختلفی می‌تواند سلامت بشر و محیط زیست را تهدید کند از جمله ورود به آب‌های سطحی و زیرزمینی و حتی منابع آب آشامیدنی (۳۶). چنانچه از نتایج یافته‌های مطالعاتی و پژوهش‌های کاربردی بر

می‌آید با این‌که کودهای شیمیایی در سال‌های اولیه مصرف، افزایش محصول را در برداشته‌اند (۴۷)، متأسفانه در طی چندین سال و با مصرف بی‌رویه، این کودها عوارض سوء و عمده‌ای را در کشاورزی، محیط زیست، تنوع زیستی و چرخه‌ی طبیعت در پی داشته‌اند (۳۲). از طرفی با افزایش جمعیت، اهمیت کشاورزی برای تمام جوامع بشری بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است، چرا که اولین و مهم‌ترین نیاز هر انسان، به مواد غذایی و عرضه مواد غذایی است که در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با کشاورزی می‌باشد (۳۲). در حال حاضر نیز پس از گذشت سال‌ها از انقلاب سبز محصولات کشاورزی متناسب با رشد جمعیت افزایش نیافته است، ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های جدید در صنعت کشاورزی بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. فناوری‌های مدرن مانند بیوتکنولوژی و نانو نقش مهمی در افزایش تولیدات و بهبود کیفیت مواد غذایی تولید شده توسط کشاورزان ایفا می‌کند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌های مختلف کشاورزی در بخش آب و خاک، استفاده از نانوکودها و نانوذرات برای تغذیه گیاهان می‌باشد (۳۳). با توجه به اندازه کوچک نانوذرات، احتمال جذب آن‌ها از طریق برگ‌ها و اندام‌های هوایی بیش‌تر بوده و این امر موجب مرتفع شدن کمبودهای غذایی گیاه در کم‌ترین زمان ممکن

پژوهش دیگری که توسط گلشاهی و همکاران (۲۰۱۸) انجام گرفت بیان نمودند که با کاربرد کودهای آهن در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر غلظت مس، منگنز و آهن در ریشه گیاه سورگوم افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد نشان داد (۱۶). تشکیل کلات از جنبه‌های مهم نقش بیولوژیکی اسیدهیومیک می‌باشد و در تنظیم فراهمی زیستی یون‌های فلزی نقش دارند (۱۳). با توجه به این که اغلب خاک‌های زراعی و باغی کشور آهکی هستند و کمبود آهن از شایع‌ترین ناهنجاری‌های تغذیه‌ای گیاهان به‌ویژه در این نوع خاک‌ها می‌باشد، در این میان کلات‌های آهن مؤثرترین کود برای برطرف نمودن کمبود آهن در خاک‌های آهکی هستند. هدف از انجام این پژوهش مقایسه نحوه کاربرد دو نوع نانوکلات آهن با بنیان‌های اتیلن‌دی‌آمین‌تترا‌استیک‌اسید و اسیدهیومیک و بررسی تأثیر آن‌ها بر برخی از پارامترهای رشد، میزان کلروفیل برگ و همچنین عناصر غذایی (آهن، روی، فسفر و پتاسیم) اندام هوایی گیاه آفتابگردان در خاک تحت تنش شوری جهت یافتن بهترین ترکیب کودی و نحوه کاربرد این دو نوع نانوکلات آهن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش گلدانی و در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده آموزشی چاه نیمه دانشگاه زابل انجام شد. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی واقع شده است و از فاصله آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر می‌باشد (۱). گیاه آفتابگردان^۹، رقم آذرگل به عنوان گیاه مورد آزمایش در نظر گرفته شد. آستانه تحمل به شوری گیاه بالا بوده و آستانه کاهش عملکرد آن ۶

می‌گردد (۴۸). همچنین از طرف دیگر به دلیل مصرف کم آن‌ها، آلودگی و سمیت عناصر غذایی نیز کم‌تر اتفاق می‌افتد. از این‌رو بهره‌گیری از فناوری نانو^۱ در طراحی و ساخت نانوکودها فرصت‌های جدیدی به‌منظور افزایش راندمان مصرف عناصر غذایی، صرفه‌جویی و به حداقل رساندن هزینه‌های کاربرد کود و همچنین حفاظت از محیط زیست ایجاد می‌کند (۱۴). مشکلی که در استفاده از نانوذرات در کشاورزی وجود دارد این است که این مواد به راحتی به‌صورت کلوخه درآمده و در محلول رسوب می‌کنند، اما پژوهش‌های اخیر نشان داده است که استفاده از ترکیبات آلی پایدارکننده هم‌چون سورفکتانت‌ها^۲ و لیگاندهای آلی^۳ مانند اتیلن‌دی‌آمین‌تترا‌استیک‌اسید^۴ و اسیدهیومیک^۵ که تمایل زیادی به جذب بر روی نانوذرات مختلف از جمله اکسید آهن^۶ دارند می‌توانند باعث افزایش پایداری نانوذرات و ایجاد سوسپانسیون^۷ پایدار گردند (۲۱). در این راستا، رحیمیان و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر نانوکود کلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا‌استیک‌اسید روی افزایش ویژگی‌های کمی و کیفی ارقام مختلف گل سرخ^۸ نشان دادند که اثر تیمارهای مختلف نانوکلات آهن روی ویژگی‌های کمی و کیفی گل تولیدی در ارقام مختلف گل سرخ معنی‌دار است (۳۹). نتایج مشابه‌ای نیز توسط مارتینز فرنانز (۲۰۱۶) گزارش گردیده است که بیان داشتند که نانوذرات اکسید آهن مقدار عناصر غذایی ماکرو همانند پتاسیم را در اندام هوایی گیاه آفتابگردان کاهش داده است (۲۹). در

۱- این فناوری توانایی کار در سطح اتم و ایجاد ساختارهایی با نظم مولکولی کاملاً جدیدی را فراهم می‌آورد.

- 2- Surfactants
- 3- Ligands
- 4- EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid)
- 5- Humic acid
- 6- Fe₃O₄
- 7- Suspension
- 8- Rosa

9- *Helianthus annuus*

سانتی متری خاک در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک، از الک ۲ میلی متری عبور داده شده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از جمله بافت به روش هیدرومتری (۷)، پهاش در گل اشباع به وسیله پهاش متر (۵۱)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی (۴۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۸)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال (۵۰)، ماده آلی به روش ترسوزانی (۵۳)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (۳۵)، غلظت آهن و روی قابل جذب خاک با عصاره گیر DTPA (۲۷) و توسط دستگاه جذب اتمی شیماتزو (مدل AA-670) قرائت گردید. پتاسیم قابل جذب عصاره گیری شده با استات آمونیوم (۱۷) توسط دستگاه فلیم فتومتر تعیین گردید (جدول ۱).

دسی زیمنس بر متر می باشد (۴۶). تهیه نانومواد مورد نیاز طی دو مرحله انجام شد: مرحله اول شامل ساخت نانوذرات اکسید آهن بود و سپس استقرار لیگاندهای مورد نظر (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) و هیومیک اسید (HA) بر روی نانوذرات اکسید آهن انجام گردید. روش ساخت نانوذرات آهن پوشش داده شده با دو لیگاند مورد نظر بر طبق گزارش قبلی لیو و همکاران با کمی تغییرات انجام گرفت (۲۸). آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو سطح کودی نانوکلات های آهن با بنیان های اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و اسید هیومیک و دو روش کاربرد کود به صورت تغذیه برگی با غلظت یک گرم در لیتر و مصرف خاکی ۱ گرم در کیلوگرم خاک همراه با شاهد در یک خاک با شوری دائمی در سه تکرار انجام شد. هم چنین نمونه های خاک از عمق صفر تا ۲۰

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 1. Some of the physical and chemical properties of soil.

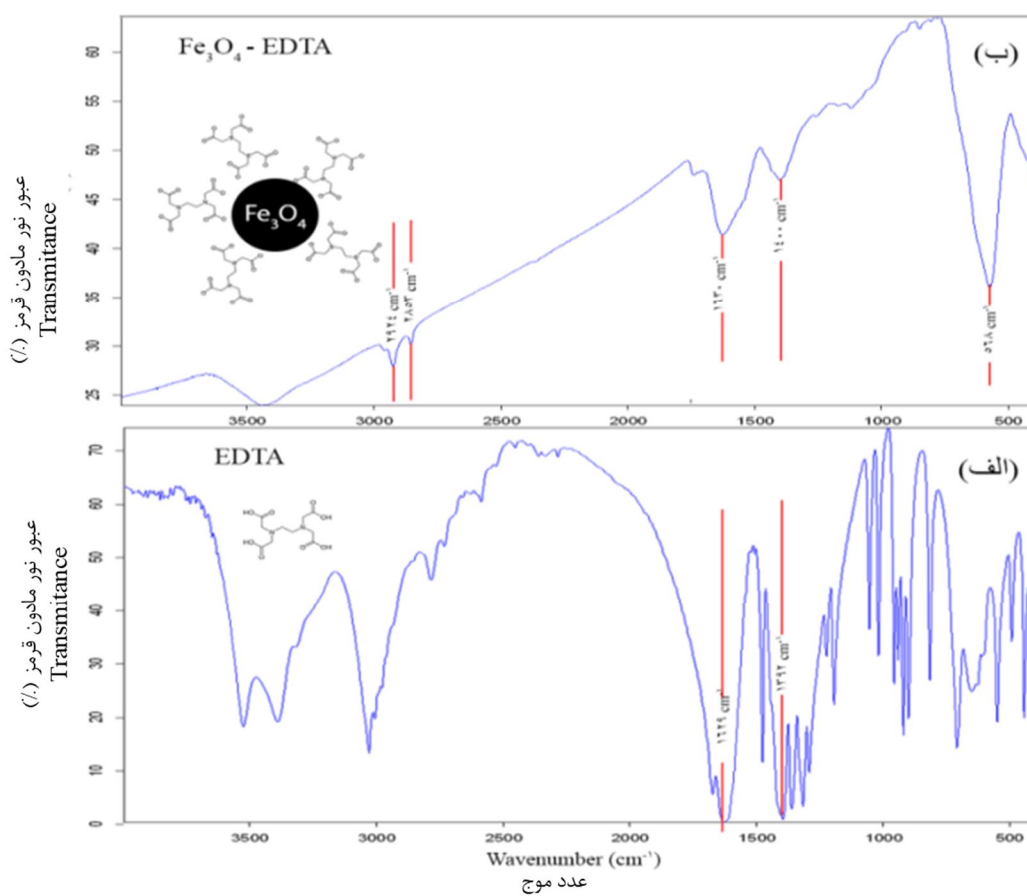
مقدار (Content)	واحد (Unit)	ویژگی (Properties)
42	(%)	رس (Clay)
34	(%)	سیلت (Silt)
24	(%)	شن (Sand)
7.8	-	واکنش خاک (pH)
7.95	(dS.m ⁻¹)	قابلیت هدایت الکتریکی (EC)
0.5	(%)	ماده آلی (OM)
10.40	(Cmolc.kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)
20	(%)	کربنات کلسیم معادل (CCE)
9.2	(mg.kg ⁻¹)	فسفر (P)
52	(mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (K)
2.32	(mg.kg ⁻¹)	آهن (Fe)
0.5	(mg.kg ⁻¹)	روی (Zn)
0.55	(mg.kg ⁻¹)	مس (Cu)
1.32	(mg.kg ⁻¹)	منگنز (Mn)
70	(%)	رطوبت ظرفیت زراعی (FC)
88	(%)	رطوبت اشباع (SP)

نتایج و بحث

خصوصیات نانوکلات‌ها: قرارگیری لیگاندهای اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید و اسید هیومیک بر سطح نانوذرات اکسید آهن به کمک طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه^۱ تأیید شد. این طیف‌سنجی ابزار مناسبی برای تشخیص گروه‌های عاملی روی سطح می‌باشد. شکل‌های ۱ و ۲ نشان‌دهنده طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه لیگاندهای اتیلن‌دی‌آمین و هیومیک اسید و نانوذرات پوشش داده شده با لیگاند مربوطه هستند. طیف‌های مربوط به لیگاندهای آزاد اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید و اسید هیومیک که (شکل‌های ۱ الف و ۲ الف) دارای پیک‌های مشخص گروه‌های کربوکسیلیک اسید (-COO) هستند که ارتعاشات کششی نامتقارن قوی در $1650-1510\text{ cm}^{-1}$ و ارتعاشات کششی نامتقارن نسبتاً قوی در $1400-1280\text{ cm}^{-1}$ نشان می‌دهند (۲۰). طیف‌های مربوط به نانوذرات اکسید آهن (شکل ۱ ب و شکل ۲ ب) یک پیک مشخص در 568 cm^{-1} نشان می‌دهد که نشان‌دهنده فرم مگنتیت (Fe_3O_4) است. پیک دیگر که مشخصه این فاز است در پایین‌تر از 400 cm^{-1} ظاهر می‌شود. این دو پیک مربوط به ارتعاشات پیوند آهن-اکسیژن (Fe-O) هستند (۳۴). در طیف‌های مربوط به نانوذرات پوشش داده شده با لیگاند، همچنین مشاهده می‌شود که پیک‌های گروه‌های کربوکسیلیک اسید لیگاندهای اسید هیومیک و اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نیز با اندکی جابجایی ظاهر شده‌اند که این جابجایی کوچک مربوط به اتصال لیگاندها به سطح نانوذرات است. این شواهد تأیید می‌کند که لیگاندها بر روی سطح نانوذرات قرار گرفته‌اند.

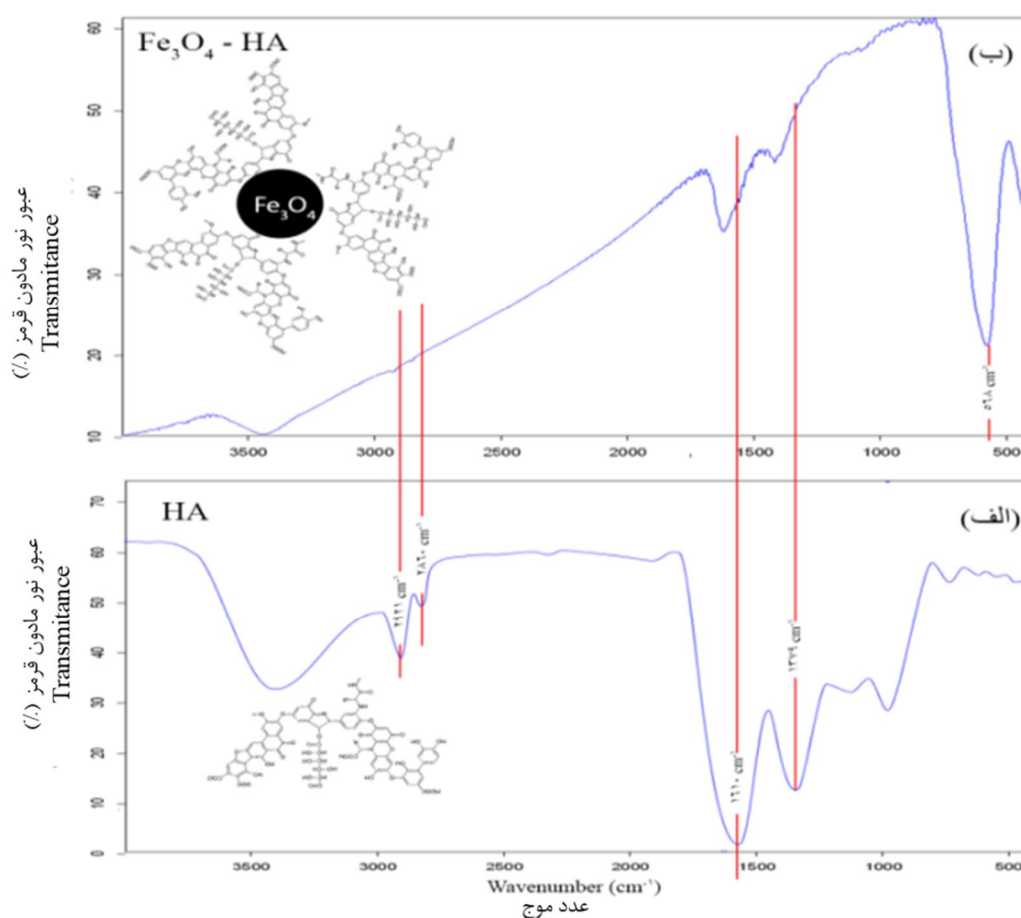
کود اوره در دو مرحله یکبار قبل از کشت و دفعه دوم چهار هفته بعد از کشت و مجموعاً به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کود پتاسیمی به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کود فسفوری به میزان ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم براساس نتایج آزمون خاک قبل از کشت به خاک هر گلدان اضافه گردید (۲۴). برای کاشت از گلدان‌های ۳ کیلوگرمی استفاده شد. سپس به‌منظور رسیدن رطوبت خاک گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت زراعی با آب مقطر آبیاری شدند و بعد از گذشت ۲۴ ساعت تعداد ۵ بذر آفتابگردان در هر گلدان کاشته شد. بعد از استقرار کامل گیاهچه‌ها، تعدادشان به ۲ عدد کاهش یافت. همچنین اعمال تیمارها هم به‌صورت مصرف خاکی و هم محلول‌پاشی از زمان ۶-۴ برگی، در ۴ مرحله و در فواصل زمانی ۱۵ روزه اجرا گردید. در طول دوره آزمایش نیز گلدان‌ها توسط آب مقطر و به روش وزنی آبیاری شدند. خاک منطقه به طور طبیعی شور می‌باشد و آبیاری گیاه به گونه‌ای توسط آب مقطر صورت گرفته است که هیچ‌گونه زه آبی از گلدان خارج نگردیده است پس شرایط شور خاک حفظ گردیده است از طرفی هیچ‌گونه املاح اضافه‌ای به خاک اضافه نگردیده است. حدود دو ماه بعد از کشت گیاه، پارامترهای ارتفاع ساقه، وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ‌های موجود در هر بوته، میزان سبزی‌نگی برگ (۳) و غلظت عناصر فسفر (۲۲)، پتاسیم (۹)، آهن (۵۲) و روی (۳۷) در گیاه اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری براساس نرم‌افزار آماری SAS و آنالیز واریانس داده‌ها براساس جدول تجزیه واریانس آن‌وا انجام شد. میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون دانکن ۰/۰۵ گروه‌بندی شدند.

1- Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)



شکل ۱- طیف‌های FT-IR (الف) لیگاند آزاد اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید (ب) نانوذرات اکسید آهن پوشش داده شده با لیگاند اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید.

Figure 1. The spectrum of FT-IR (a) free ligand EDTA (b) Fe₃O₄ nanoparticles coated with a ligand EDTA.



شکل ۲- طیف‌های FT-IR (الف) لیگاند آزاد اسید هیومیک (ب) نانوذرات اکسید آهن پوشش داده شده با لیگاند اسید هیومیک.
Figure 2. The spectrum of FT-IR (a) the free ligand HA (b) Fe₃O₄ nanoparticles coated with ligands HA.

مصرف و نوع کود بر ویژگی‌های رشد گیاه شامل وزن خشک، تعداد برگ و ارتفاع بوته در گیاه آفتابگردان در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده‌اند.

اثر نانوکودها بر خصوصیات آفتابگردان: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که نحوه مصرف (کاربرد برگ‌گی و خاکی)، نوع کود (نانوکلات‌های آهن) و برهمکنش نحوه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع کود و روش مصرف (خاکی و محلول پاشی) بر پارامترهای رشد گیاه.

Table 2. Results of ANOVA of fertilizer types and their application methods (soil and foliar application) on growth parameters of plant.

میانگین مربعات (Mean Square)			درجه	متغیرها
ارتفاع بوته (Plant height)	تعداد برگ (Number of Leaves)	وزن خشک (Dry Weight)	آزادی (df)	(Variables)
6.68**	1.50**	0.00**	1	نحوه مصرف (Application method)
86.12**	10.95**	1.68**	2	کود (Fertilizer)
33.68**	8.04**	1.92**	2	نحوه مصرف × کود (Application method * Fertilizer)
1.66	1.30	10.44	12	خطا (Error)
<0.00	<0.00	<0.00	-	P Value
0.38	0.03	0.13	-	ضریب تغییرات (CV)

** معنادار در سطح ۱ درصد

** Significant at 1%

شاهد کاهش یافته است (جدول ۳). سایر پژوهشگران نیز کاهش عملکرد در اثر استفاده از برخی نانوذرات آهن را گزارش کرده‌اند (۲، ۵). هم راستا با یافته‌های پژوهش حاضر، سایر پژوهشگران نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند آن‌ها نیز بیان کردند که با اعمال نانوذرات آهن، طول ساقه و بیومس در گیاه کاهش می‌یابد (۴۳). در پژوهشی که عسکری و همکاران (۲۰۱۷b) انجام دادند، نشان دادند که با افزایش شوری، تیمارهای آهن تأثیری بر افزایش میزان وزن خشک گیاه نداشت (۵). در راستا با یافته‌های این پژوهش روی و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که کاربرد نانوذرات آهن تأثیر معنی‌داری بر روی وزن خشک اندام هوایی گیاه بادام‌زمینی ندارد (۴۴).

با توجه به نتایج اثرات متقابل در جدول ۳، بیش‌ترین میزان وزن خشک در مصرف محلول پاشی نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است و نسبت به روش کاربرد خاکی تیمارها بهترین تأثیر را نشان می‌دهند. گزارش شده که کاربرد آهن به صورت محلول پاشی در مقایسه با کاربرد خاکی آن، غلظت آهن در گیاه را بهبود می‌بخشد. بخشی از این بهبود ناشی از جذب آسان‌تر و سریع‌تر آهن توسط اندام‌ها در روش محلول پاشی در مقایسه با روش خاکی کاربرد آن می‌باشد (۳۰). همچنین کم‌ترین میزان وزن خشک در کاربرد خاکی نانوکلات اسید هیومیک مشاهده گردید که با روش محلول پاشی همین نانوکلات تفاوت معنی‌داری ندارد اما نسبت به

جدول ۳- اثرات متقابل کود و نحوه مصرف آن‌ها بر پارامترهای رشد گیاه.

Table 3. The effects of interactions of fertilizers and their application methods on plant growth parameters.

ارتفاع بوته (Plant height) (cm)	تعداد برگ (عدد) (Number of Leaves)	وزن خشک (Dry Weight) (g.pot ⁻¹)	نوع کود (Fertilizer)	نحوه مصرف (Application method)
35.00 ^{cd}	13.00 ^{bc}	2.85 ^{cd*}	اسیدهیومیک (Nano-HA)	محلول پاشی (Foliar app)
42.33 ^a	17.00 ^a	4.36 ^a	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
40.00 ^b	14.00 ^b	3.77 ^b	شاهد (Control)	
39.33 ^b	13.00 ^{bc}	2.49 ^d	اسیدهیومیک (Nano-HA)	مصرف خاکی (Soil app)
36.33 ^c	17.00 ^a	3.06 ^c	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
40.00 ^b	14.00 ^b	3.77 ^b	شاهد (Control)	

* تفاوت حروف و نداشتن حروف مشترک بین میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح یک درصد می‌باشد.

*Different letters in each column indicate significant differences at the level of 1%.

طول بوته و ارتفاع کانپونی را در گیاه همیشه بهار گزارش کردند (۲۳، ۳۱). کوتاه‌ترین ارتفاع بوته در کاربرد محلول پاشی نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک مشاهده گردید که نسبت به شاهد کاهش یافته است (جدول ۳). در پژوهش مشابه‌ای که بر روی گیاه بادام زمینی انجام شد گزارش گردید که کاربرد نانوذرات در افزایش ارتفاع گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت (۴۴).

اثر نوع کود و روش مصرف کود بر سبزیگی گیاه:
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع کود و همچنین اثر متقابل نوع کود و روش مصرف بر میزان محتوای کلروفیل برگ آفتابگردان در سطح ۱ درصد معنادار است، در حالی که اثر روش مصرف بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای کلروفیل a و کارتنوئیدها در سطح ۵ درصد و برای کلروفیل b و کل در سطح ۱ درصد معنادار می‌باشد (جدول ۴).

بیش‌ترین تعداد برگ در مصرف محلول پاشی نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به شاهد مشاهده شد که با مصرف خاکی همین تیمار تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۳). در محلول پاشی ذرات راحت تر و سریع‌تر جذب گیاه در مقایسه با روش خاکی کاربرد آن می‌باشد (۳۰). کم‌ترین تعداد برگ در تیمار نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک در هر دو روش کاربرد مشاهده شد که نسبت به یکدیگر و شاهد تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۳). در پژوهشی دیگر نیز پژوهشگران گزارش کردند که کاربرد نانوذرات اکسید آهن بر تعداد برگ گیاه تأثیر معنی‌داری ندارد (۲۶). بلندترین ارتفاع بوته در مصرف محلول پاشی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به شاهد گزارش شد (جدول ۳). همچنین سایر پژوهشگران نیز با کاربرد کودهای نانو اکسید آهن و نانوکلات آهن، افزایش تعداد برگ در سورگوم علوفه‌ای و افزایش

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس نوع کود و روش مصرف کود (محلول پاشی و خاکی) بر رنگریزه‌های فتوسنتزی گیاه.

Table 4. Results of ANOVA of fertilizer types and their application method (soil and foliar application) on Photosynthesis of plant.

میانگین مربعات (Mean squares)				درجه آزادی	متغیرها
Carotenoids	Total Chlo.	Chlo. b	Chlo. a	(df)	(Variables)
0.02*	0.09**	0.00**	0.08*	1	نحوه مصرف (Application method)
0.05**	0.37**	0.06**	0.27**	2	کود (Fertilizer)
0.01**	0.11**	0.06**	0.10**	2	نحوه مصرف × کود (Application method * Fertilizer)
<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	-	P Value
0.00	0.00	0.00	0.00	12	خطا (Error)
1.81	1.99	7.05	2.23	-	ضریب تغییرات (CV)

*، ** به ترتیب معنادار در سطح ۵ و ۱ درصد

*, ** Respectively significant at 5 and 1%

مختلف کلات‌های آهن معمولی و پلیمری و نانوذرات آهن معمولی و پلیمری را بر فعالیت میزان کلروفیل a، b و کارتنوئیدهای گیاه سورگوم علوفه‌ای مورد بررسی قرار دادند که در این پژوهش با افزایش غلظت آهن در تیمار کلات آهن پلیمری، میزان کارتنوئید گیاه افزایش معنی‌داری یافته بود (۱۵).

با توجه به نتایج اثرات متقابل در جدول ۵، میزان کلروفیل کل در محلول پاشی نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است. کم‌ترین میزان کلروفیل کل در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). افزایش میزان کلروفیل کل با کاربرد نانوذرات آهن و کلات آهن توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش گردیده است (۴، ۱۸). هو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی بر روی گیاه پومیلو^۱ گزارش کردند که مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات آهن افزایش معنی‌داری در مقدار کلروفیل برگ، نسبت به شاهد (۲۳/۲ درصد) نشان داد (۱۸).

با توجه به نتایج اثرات متقابل در جدول ۵، میزان کلروفیل a در محلول پاشی نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است. کم‌ترین میزان کلروفیل a در محلول پاشی نانوکلات اسیدهیومیک مشاهده گردید که با شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۵). با توجه به جدول ۵، بیش‌ترین میزان کلروفیل b در کاربرد خاکی نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک نسبت به شاهد مشاهده شد. درحالی که کم‌ترین میزان کلروفیل b در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). اسیدهای هیومیک به دلیل داشتن گروه کربوکسیلات و فنلی، توانایی تشکیل کلات را با یون‌های آهن دو و سه ظرفیتی دارند (۳۸) که این توانایی احتمالاً یکی از دلایل افزایش کلروفیل b در برگ گیاه بوده است. عسکری و همکاران (۲۰۱۷a) مشاهده کردند که میزان کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید در تیمار نانوذرات آهن به طور معنی‌داری در گیاه گل پریش^۱ افزایش یافته است (۴). در پژوهشی گلشاهی و همکاران (۲۰۱۷) اثرات کاربرد محلول پاشی سطوح

2- *Citrus maxima*

1- *Catharanthus roseus* L.

می‌تواند به دلیل جذب بهتر و آسان‌تر آهن در روش محلول‌پاشی به وسیله اندام‌های گیاهی باشد (۳۰). هم‌چنین گزارش گردیده است که محلول‌پاشی کلات آهن پلیمری موجب افزایش میزان کارتنوئید در برگ گیاه سورگوم علوفه‌ای شده است (۱۵).

با توجه به جدول ۵، بیش‌ترین میزان کارتنوئید در کاربرد محلول‌پاشی نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌ترا استیک‌اسید نسبت به شاهد مشاهده شد. هم‌چنین کم‌ترین میزان کارتنوئید در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). علت این افزایش

جدول ۵- اثرات متقابل کود و نحوه مصرف آن‌ها بر روی سبزی‌نگی گیاه.

Table 5. The effects of interaction of fertilizer types and their application methods on photosynthesis of plant.

Carotenoids	Total Chlo.	Chlo. b	Chlo. a	نوع کود (Fertilizer)	نحوه مصرف (Application method)
(mg.g ⁻¹)					
0.77 ^b	3.01 ^a	0.72 ^{ab}	2.29 ^{a*}	اسیدهیومیک (Nano-HA)	محلول‌پاشی (Foliar app)
0.85 ^a	2.47 ^{bc}	0.61 ^c	1.36 ^{cd}	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
0.48 ^c	2.03 ^d	0.44 ^d	1.39 ^e	شاهد (Control)	
0.81 ^{ab}	2.64 ^b	0.74 ^a	1.90 ^b	اسیدهیومیک (Nano-HA)	مصرف خاکی (Soil app)
0.83 ^a	2.55 ^{bc}	0.72 ^{ab}	1.82 ^b	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
0.48 ^c	2.03 ^d	0.44 ^d	1.39 ^e	شاهد (Control)	

* تفاوت حروف و نداشتن حروف مشترک بین میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح یک درصد می‌باشد.

* Different letters in each column indicate significant differences at the level of 1%.

اثرات متقابل آن‌ها بر عناصر غذایی اندام هوایی آفتابگردان (آهن، روی، فسفر و پتاسیم) در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۶).

اثر نوع کود و روش مصرف کود بر غلظت عناصر در اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده انواع کود و نحوه مصرف و هم‌چنین

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس نوع کود و روش مصرف کود (محلول‌پاشی و خاکی) بر میزان جذب عناصر در اندام هوایی گیاه آفتابگردان.

Table 6. Results of ANOVA of fertilizer types and their application method (soil and foliar application) on elements concentration of shoot.

مجموع مربعات (Mean Square)				درجه آزادی (df)	متغیرها (Variables)
K	P	Zn	Fe		
1.92 ^{**}	0.00 ^{**}	416.00 ^{**}	4443.09 ^{**}	1	نحوه مصرف (Application method)
3.35 ^{**}	0.00 ^{**}	133.90 ^{**}	1373.66 ^{**}	2	کود (Fertilizer)
4.74 ^{**}	0.00 ^{**}	250.88 ^{**}	1572.77 ^{**}	2	نحوه مصرف × کود (Application method × Fertilizer)
<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	-	P Value
0.00	0.00	0.24	0.51	12	خطا (Error)
1.61	2.17	1.68	1.12	-	ضریب تغییرات (CV)

^{ns}, ^{*}, ^{**} به ترتیب عدم معنی‌داری، معنادار در سطح ۵ و ۱٪

^{ns}, ^{*}, ^{**}, respectively, non-significant, significant at 5 and 1%

یون‌های مانند منیزیم دو ظرفیتی، کلسیم دو ظرفیتی، آهن دو و سه ظرفیتی را می‌دهد (۳۸). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل (جدول ۷) نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان غلظت فسفر در اندام هوایی گیاه در کاربرد خاکی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به شاهد مشاهده شد. در حالی که کم‌ترین میزان غلظت فسفر در تیمار محلول‌پاشی نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک مشاهده گردید که با شاهد تفاوت معنی‌داری ندارد (جدول ۷). بیش‌ترین میزان غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه در کاربرد خاکی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۷). هم‌چنین کم‌ترین میزان غلظت پتاسیم در کاربرد خاکی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با شاهد ندارد (جدول ۷). عملکرد اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید به عنوان لیگاند، افزایش‌دهنده مقدار کل کاتیون‌های محلول مانند آهن و آلومینیوم محلول خاک از طریق ایجاد کمپلکس با کاتیون فلزی است (۱۹). هم‌چنین سایر پژوهشگران نیز نتایجی مشابه با پژوهش حاضر گزارش کرده‌اند، برخی پژوهشگران بیان داشتند که کاربرد تیمار نانوذرات آهن منجر به افزایش مقدار عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و روی در گیاهان می‌شوند (۵، ۴۰، ۴۱).

با توجه به نتایج اثرات متقابل در جدول ۷، بیش‌ترین میزان غلظت آهن در اندام هوایی گیاه در کاربرد محلول‌پاشی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به شاهد مشاهده شد در حالی که کم‌ترین میزان غلظت آهن در تیمار شاهد در هر دو روش مصرف مشاهده گردید. نتایج پژوهش حاضر همراستا با نتایج شایلش و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد، آن‌ها گزارش دادند که غلظت آهن در جوانه‌زنی لوبیا با کاربرد نانوذرات معلق در مقایسه با کاربرد بدون نانوذرات افزایش پیدا کرد، حضور این عناصر در گیاهان اسپری شده با نانوذرات معلق که در محلول هوگلدن نگهداری می‌شدند یافت شد که این طور به نظر می‌رسد که اسپری نانوذرات می‌تواند باعث جذب نانوذرات از طریق برگ و انتقال آن‌ها در گیاه شود (۴۵). بیش‌ترین میزان غلظت روی در اندام هوایی گیاه در کاربرد خاکی تیمار نانوکلات آهن با بنیان اسیدهیومیک نسبت به شاهد مشاهده شد در حالی که کم‌ترین میزان غلظت روی در تیمار شاهد و در هر دو روش مصرف مشاهده گردید (جدول ۷). هم‌چنین ماده معمولی هیومیک، مخلوطی از بسیاری از مولکول‌ها می‌باشد، که برخی از آن‌ها در هسته آروماتیک با ترکیبات فنلی و کربوکسیلیک جایگزین می‌شوند، این ترکیبات گروه‌هایی هستند که به بار سطحی و واکنش‌پذیری مواد هیومیک بیش‌ترین کمک را می‌کنند (۴۹). حضور گروه کربوکسیلات و فنلی به اسیدهای هیومیک توانایی تشکیل کلات‌هایی با

جدول ۷- اثرات متقابل کود و نحوه مصرف بر روی عناصر گیاه.

Table 7. The effects of interaction of fertilizer types and their application methods on elements concentration of shoot.

K Con.	P Con.	Zn Con.	Fe Con.	نوع کود (Fertilizer)	نحوه مصرف (Application method)
(g.kg ⁻¹)					
4.73 ^{bcd}	3.38*10 ^{-3cd}	26.05 ^c	68.47 ^{c*}	اسیدهیومیک (Nano-HA)	محلول پاشی (Foliar app)
4.79 ^b	4.43*10 ^{-3b}	25.40 ^c	98.48 ^a	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
4.85 ^{bc}	4.35*10 ^{-3bc}	21.83 ^d	41.41 ^e	شاهد (Control)	
4.41 ^{cd}	4.38*10 ^{-3bc}	36.88 ^a	57.98 ^d	اسیدهیومیک (Nano-HA)	مصرف خاکی (Soil app)
9.46 ^a	6.92*10 ^{-3a}	30.81 ^b	82.67 ^b	نانو EDTA (Nano-EDTA)	
4.85 ^{bc}	4.35*10 ^{-3bc}	21.83 ^d	41.41 ^e	شاهد (Control)	

* تفاوت حروف و نداشتن حروف مشترک بین میانگین‌ها در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح یک درصد می‌باشد.

* Different letters in each column indicate significant differences at the level of 1%.

بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید و بیش‌ترین میزان غلظت عناصر پتاسیم و فسفر در مصرف خاکی همین نانوکود مشاهده گردید. درحالی‌که بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کل در مصرف محلول‌پاشی نانوکلات اسیدهیومیک و بیش‌ترین میزان کلروفیل b و غلظت عنصر روی در اندام هوایی در مصرف خاکی همین کود به‌دست آمد. به‌طورکلی، تأثیر محلول‌پاشی نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به نانوکلات اسید هیومیک بر شاخص‌های گیاه آفتابگردان مثبت ارزیابی گردید.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که نانوکلات آهن با بنیان اتیلن‌دی‌آمین‌تترا استیک‌اسید نسبت به اسیدهیومیک تأثیر بیش‌تری بر شاخص‌های اندام هوایی (وزن تر و خشک، ارتفاع و تعداد برگ در بوته)، میزان کلروفیل برگ و هم‌چنین غلظت عناصر غذایی اندام هوایی گیاه آفتابگردان در سطح یک درصد داشته است. هم‌چنین بیش‌ترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد برگ در بوته، بلندترین ارتفاع بوته، میزان کارتنوئید برگ و غلظت عنصر آهن اندام هوایی از طریق محلول‌پاشی نانوکلات آهن با

منابع

1. Abdolmaleki, A.S., Ahangar, A.G., and Soltani, J. 2013. Artificial Neural Network (ANN) approach for predicting Cu concentration in drinking water of Chahnimehl Reservoir in Sistan-Balochistan, Iran. Health Scope. 2: 1. 31-8.
2. Alidoust, D., and Isoda, A. 2013. Effect of gamma Fe₂O₃ nanoparticles on photosynthetic characteristic of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.): foliar spray versus soil amendment. Acta Physiologiae Plantarum. 35: 12. 3365-75.
3. Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Journal of Plant Physiology. 24: 1-75.
4. Askary, M., Amirjani, M.R., and Saberi, T. 2017a. Comparison of the effects of nano-iron fertilizer with iron-chelate on growth parameters and some biochemical properties of *Catharanthus roseus*. Journal of Plant Nutrition. 40: 7. 974-982.

5. Askary, M., Talebi, S.M., Amini, F., and Balout Bangan, A.D. 2017b. Effects of iron nanoparticles on *Mentha piperita* L. under salinity stress. *Biologija*. 63: 1. 65-75.
6. Azizpour, K., Shakiba, M.R., Khosh Kholgh Sima, N., Alyari, H., Moghaddam, M., Esfandiari, E., and Pessarakli, M. 2010. Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*. 33: 859-873.
7. Bouyoucos, C.J. 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54: 464-465.
8. Bower, C.A., Reitemeier, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*. 73: 251-261.
9. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1962. *Methods of Analysis for Soil, Plant and Water*. Soil Science. 93: 68-72.
10. Desingh, R., and Kanagaraj, G. 2007. Influence of salinity stress on photosynthesis and antioxidative systems in two cotton varieties. *General and Applied Plant Physiology*. 33: 221-234.
11. Di Caterina, R., Giuliani, M.M., Rotunno, T., De Caro, A., and Flagella, Z. 2007. Influence of salt stress on seed yield and oil quality of two sunflower hybrids. *Annals and Applied Biology*. 151: 145-154.
12. El-Ashry, M.T., Shilfaarde, J.V., and Schiffman, S. 1985. Salinity Pollution from irrigated agriculture. *Journal of Soil Water Conservation*. 40: 48-52.
13. Fiorentino, G., Spaccini, R., and Piccolo, A. 2006. Separation of molecular constituents from a humic acid by solid-phase extraction following a transesterification reaction. *Talanta*. 68: 1135-1142.
14. Godsey, R.J., and Johnson, B. 2001. Seed treatment, seeding rate, and cultivar effects on iron deficiency chlorosis of soybean. *Journal of Plant Nutrition*. 24: 1255-1268.
15. Golshahi, S., Ahangar, A.Gh., Mir, N., and Ghorbani, M. 2017. The effect of foliar application of iron sources on growth parameters, iron concentration and activity of some enzymes of sorghum. *Journal of Water and Soil*. 31: 5. 1467-1480. (In Persian)
16. Golshahi, S., Ahangar, A.Gh., Mir, N., and Ghorbani, M. 2018. A comparison of the use of different sources of nanoscale iron particles on the concentration of micronutrients and plasma membrane stability in sorghum. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 18: 1. 236-252.
17. Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. P. 551-574. In: D.L. Sparks, (ed.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods and processes*. Madison: Soil Science Society of America, Madison, WI.
18. Hu, J., Guo, H., Li, J., Gan, Q., Wang, Y., and Xing, B. 2017. Comparative impacts of iron oxide nanoparticles and ferric ions on the growth of *Citrus maxima*. *Environmental Pollution*. 221: 199-208.
19. Hue, N.V., Craddock, G.R., and Adams, F. 1986. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. *Soil Science Society of American Journal*. 50: 28-34.
20. Hwang, Y.S., Liu, J., Lenhart, J.J., and Hadad, C.M. 2007. Surface complexes of phthalic acid at the hematite/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*. 307: 124-134.
21. Ills, E., and Tombacz, E. 2003. The role of variable surface charge and surface complexation in the absorption of humic acid on magnetite. *Colloids and Surfaces*. 230: 99-109.
22. Jackson, M.L. 1967. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 498p.
23. Javan Siah Bigdello, S., Pirzad, A., and Hasani, A. 2012. The effects of foliar application of iron nanoparticles in comparison with the conventional three-iron fertilizer on morphological performance of marigold. p. 1. 2nd National Conference on biological diversity and its impact on agriculture

- and the environment, 11 Jul. 2012. Agriculture and Natural Resources Research Center, Urmia. (In Persian)
24. Jokar, L., and Ronaghi, A. 2015. Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*. 6: 2. 163-174. (In Persian)
 25. Katerij, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A., Karam, F., and Mastrorilli, M. 1996. Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agricultural Water Management*. 26: 81-91.
 26. Lee, C.W., Mahendra. S., Zodrow, K., Li, D., Tsai, Y.C., and Braam, J., et al., 2010. Developmental phytotoxicity of metal oxide nanoparticles to *Arabidopsis thaliana*. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 29: 669-75.
 27. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of American Journal*. 42: 421-428.
 28. Liu, J.F., Zhao, Z.S., and Jiang, G.B. 2008. Coating Fe₃O₄ magnetic nanoparticles with humic acid for high efficient removal of heavy metals in water. *Environmental Science and Technology*. 42: 6949-6954.
 29. Martínez-Fernández, D., Barroso, D., and Komárek, M. 2016. Root water transport of *Helianthus annuus* L. under iron oxide nanoparticle exposure. *Environmental Science and Pollution Research*. 23: 1732-1741.
 30. Masonic, A., Evacoli, A., and Mavoti, M. 1996. Spectral of leaves deficient in iron sulphur, magnesium and manganese. *Agronomy Journal*. 88: 6. 937-943.
 31. Matlabi Talae, A., Tajbakhsh, M., Hasanzadeh Ghort Tappe, A., and Roshdi, M. 2011. The effect of time and different concentrations of sprayed with nano-oxide fertilizers and chelate iron on quantitative and qualitative characteristics of sorghum in the second crop. *National Conference on Advances in agriculture*, 15-16 Nov. 2011. Islamic Azad University of Shahre Ghods, Shahre Ghods, Tehran. (In Persian)
 32. Mosuavi, S.R., and Rezaei, M. 2011. Nanotechnology in agriculture and food production. *Journal of Applied Environmental and Biological Science*. 1: 414-419.
 33. Naderi, M., and Danesh Shahraki, A. 2012. The role of nanotechnology in improves the efficiency of chemical fertilizer nutrient. *Journal of Nanotechnology*. 22:4-5.
 34. Namduri, H., and Nasrazadani, S. 2008. Quantitative analyses of iron oxides using Fourier transform infrared spectrophotometry. *Corrosion Science*. 50: 2493-2497.
 35. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, US Gov. Printing Office, Washington, DC, 19p.
 36. Patton, C., and Crouch, S. 1977. Determination of serum urea enzymatically. *Analytical Chemistry*. 49: 464-469.
 37. Perkin, E. 1982. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*. Perkin Elmer Corporation. Connecticut, USA, 310p.
 38. Piccolo, A. 2002. The supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Advances in Agronomy*. 75: 57-134.
 39. Rahimian Boger, A., Salehi, H., and Jahanandish, S. 2011. The effect of Nanofertilizer iron chelated on quantitative and qualitative characteristics of cut flower varieties "fysta", "shyraz" and "sourbyt Avalanch" in a hydroponic system. *1nd National Conference on Modern Agricultural Sciences & Technologies*, 10-12 Sep. 2011. University of Zanjan, Zanjan. Available at http://www.civilica.com/Paper-MAST01-MAST01_952.html. (In Persian)
 40. Ravi, S., Channel, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., and Dharmtti, P.R. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and

- quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Science. 21: 382-5.
41. Redondo-Gomez, S., Andres-Moreno, L., Mateos-Naranjo, E., Parra, P., Valera-Burgos, J., and Aroca, R. 2011. Synergic effect of salinity and zinc stress on growth and photosynthetic responses of the cordgrass *Spartina densiflora*. Journal of Experimental Botany. 62: 5521-30.
 42. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. P. 167-179. In: A.L. Page (ed.), Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. Monograph Number 9 (Second Edition). ASA, Madison, WI.
 43. Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Adrees, M., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Farid, M., and Abbas, F. 2017. Effect of metal and metal oxide nanoparticles on growth and physiology of globally important food crops: A critical review. Journal of Hazardous Materials. 322: 2-16.
 44. Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T., and Zhu, S. 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). Frontiers in Plant Science. 7: 815. Doi: 10.3389/fpls.2016.00815.
 45. Shailesh, K.D., Pramod, M., Rajashri, K., and Anand, K. 2013. Effect of nanoparticles suspension on the growth of Mung (*Vigna radiata*) seedlings by foliar spray method. Nanotechnology Development. 3: 1-5.
 46. Shannon, M.C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Advances in Agronomy. 60: 75-120.
 47. Shaviv, A. 2000. Advances in controlled release of fertilizers. Advances in Agronomy. 71: 1-49.
 48. Shaviv, A. 2005. Controlled Release of Fertilizers. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, 28-30 Jun. 2005. Frankfurt, Germany.
 49. Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, New York, 350p.
 50. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Alkaline-earth carbonates by gravimetric loss of carbon dioxide. P. 105. In: L.A. Richards, (ed.), Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agric. Handbook. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
 51. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. pH reading of saturated soil paste. P. 102. In: L.A. Richards, (ed.), Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
 52. Walin, I., Van, W., Vark, V.J.G., and Vander, L. 1989. Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University.
 53. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. Chromic acid titration for determination of soil organic matter. Soil Science. 63: 251.



Comparison of foliar and soil application of iron nano-chelate on sunflower growth characteristics in a saline soil

M. Shahrakizad¹, A. Gholamalizadeh Ahangar^{*2} and N. Mir³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, University of Zabol, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zabol, ³Associate Prof., Dept. of Chemistry, University of Zabol

Received: 10.20.2018; Accepted: 05.15.2019

Abstract

Background and Objectives: Modern technologies, such as biotechnology and nanotechnology, play an important role in increasing production and improving the quality of food produced by farmers. Salinity also directly affects the absorption of nutrients elements. This study aims to investigate the use of nano-chelate with ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) and Humic Acid (HA) base as fertilizer agents on Sunflower.

Materials and Methods: This study was done as a pot experiment as a factorial in a completely randomized design including two levels of iron nano-chelate fertilizer (ethylene diamine tetra-acetic acid and Humic Acid) and two methods of application of fertilizers (foliar application with the level of one gram per Liter and soil application with the level of one gram per kilogram with the control) in three replications in the research greenhouse of Zabol University. Five sunflower seeds were used for cultivation. The treatments were applied in two ways that are soil use and spraying form, when plants are 4 to 6 leaves the treatments have been used in 4 steps and at intervals of 15 days. The pots were irrigated by distilled water and weighting method during the experiment period. Some growth parameters, chlorophyll content as well as nutrients (Fe, Zn, P, K) of sunflower shoot (*Helianthus annuus*) under permanent salinity conditions were investigated about two months after planting. Statistical analysis was performed on the basis of SAS software and Analysis of data variance was done based on ANOVA software. The mean of measured indices was categorized using Duncan test at the level of 0.05.

Results: Results showed that the interactions of fertilizer type and its method of use have a significant effect on the shoot indexes (dry weight, leaf number and plant height), leaf chlorophyll content (a, b, total and carotenoids) and nutrient concentration (Fe, Zn, P, K) of sunflower plant ($P \leq 0.01$). Comparison of the means showed that spraying EDTA-based iron nano-chelate increases dry weight of shoot, the number of leaves and plant height (1.15, 1.21 and 1.05 times, respectively), the level of leaf carotenoid (1.76 times) and also Fe concentration in the shoot (2.37 times) compared to the control. Moreover, in EDTA-based iron nano-chelate soil application, the concentration of phosphorus and potassium elements is respectively increased 1.59 and 1.94 than control.

Conclusion: According to the results, spraying EDTA-based iron nano-chelate improved most of the sunflower growth parameters, which shows the superiority of this Nano-fertilizer to HA-based iron Nano-chelate in saline soils.

Keywords: Chelate, Micronutrients, Nano-Fertilizer, Nanotechnology, Oil Plants

* Corresponding Author; Email: ahangar@uoz.ac.ir

