

Research Article

Agricultural Engineering, 46(4) (2024) 343-370

ISSN (E): 2588-526X

DOI: 10.22055/AGEN.2023.43922.1670

ISSN (P): 2588-5944

Investigating the effect of iron nano carbon dot fertilizer application on vegetative growth parameters of sorghum in a calcareous soil

Y. Zilabpour¹, M. Barani Motlagh^{2,*}, M. Rafienia³, E. Bidram⁴ and M. Yahyaabadi⁵

1. PhD Student, Dept. of Soil Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2. Associate Professor., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
3. Professor., Dept. of Biomaterials, Nanotechnology and Tissue Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Iran
4. Assistant Professor., Dept. of Biomaterials, Nanotechnology and Tissue Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Iran
5. Member of Scientific Board, Soil and Water Research Division, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Esfahan, Iran

Received: 20 June 2023 Accepted: 30 August 2023 *Corresponding Author: mbarani2002@yahoo.com

Abstract

Introduction: Nanotechnology involves nanomaterials that are less than 100 nm as an interdisciplinary and pioneering technology has solved many problems in the fields of agriculture. The use of iron nano-fertilizers in order to control the release of nutrients can achieve sustainable agriculture by reducing the consumption of chemical fertilizers. Nano CDs (carbon dots) are a new system or carbon material between molecule and condensed solid, which gathers the characteristics of nano effect, surface functional groups and carbon elements. Therefore, it shows three basic functions of optics, chemistry and biology, and has multiple functions and applications. In addition, the abundant hydrophilic functional groups on the surface of CDs, small size and other structural characteristics made it show great advantages in promoting crop growth and enhancing photosynthesis and stress resistance. The aim of this study was to investigate the effect of iron nano carbon dot fertilizer application on vegetative growth parameters of sorghum plant in a calcareous soil.

Materials and Methods: Iron nano carbon dots were synthesized with lemon juice (carbon source), ethylenediamine, and iron sulfate (iron source) by hydrothermal method. Coating of nanoparticles with polylactic acid was done by co-precipitation method. Characterization of iron nano carbon dots to confirm the successful loading of iron on the surface of carbon dots and also successful coating was done by UV-VIS, EDAX, FTIR, TEM, and SEM device analyses. Some chemical properties of nanocarbon dots such as pH and electrical conductivity were measured. Sorghum cultivation was done in the greenhouse of the Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center with a factorial design in 3 replications. The first factor was foliar spraying in three levels (distilled water,



iron sulfate, and no coating iron carbon dot with a concentration of 3 per thousand. The second factor was soil application of iron-carbon dot (with and no coating) in 5 levels including iron carbon dot, no coating, and coated in two levels (5 and 10 mg Fe kg⁻¹ soil). Foliar spraying of sorghum at the eight-leaf stage was carried out by iron carbon dot and iron sulfate with a concentration of 3 parts per thousand. After 4 months the plant growth, growth parameters such as the number of leaves, stem height, stem diameter, and fresh and dry weight of stem and leaves were measured. Also, the concentration of iron in plants and soil was measured.

Results and Discussion: No-coating iron nano carbon dots had 4.98% total iron and polylactic acid-coated carbon dots had 1% iron. According to the successful results on carbon dots, they were confirmed with UV-VIS and FTIR devices. Based on the results of leaf number (6/60), stem height (35.52cm), stem fresh weight (24.73 g plant⁻¹), leaf fresh weight (24.39 g plant⁻¹), leaf dry weight (5.37 g plant⁻¹) and the dry weight of the stem (4.73 g plant⁻¹) was related to the interaction effect of no coating iron carbon dot soil treatment with a level of mg Fe kg⁻¹ soil 1 with carbon dot foliar spraying (concentration 3 per thousand). The highest amount of iron in the stem (211 mg kg⁻¹) and leaf (186 mg kg⁻¹) is related to the carbon dot iron soil treatment with a level of 10 mg Fe kg⁻¹ soil and the highest amount in the soil (5.92 mg kg⁻¹). It was related to the interaction effect of iron-carbon dot soil treatment coated with a polylactic acid polymer (level of 10 mg Fe kg⁻¹ soil) with carbon dot foliar spraying (concentration 3 parts per thousand).

Conclusion: The treatment of no coating iron carbon dot and then the treatment of iron carbon dot coated with polylactic acid, with the level of 10 mg Fe kg⁻¹ soil which simultaneously applied soil and foliar application with carbon dot with concentration 3 parts per thousand the best performance. Therefore, these two types of synthesized nano fertilizers are suitable for sorghum cultivation and can be used as a type of iron fertilizer for agricultural purposes.

Keywords: *Iron nano carbon dot, nano carbon dot coating, sorghum, foliar spraying*

بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن بر پارامترهای رشد رویشی گیاه سورگوم در یک خاک آهکی

یاسمن زیلاب پور^۱، مجتبی بارانی مطلق^{۲*}، محمد رفیعی نیا^۳، الهام بیدرام^۴، مجتبی یحیی آبادی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۳- استاد گروه بیومتریال، نانو تکنولوژی و مهندسی بافت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران
- ۴- استادیار گروه بیومتریال، نانو تکنولوژی و مهندسی بافت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، ایران
- ۵- عضو هیات علمی، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اصفهان.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

چکیده

نانو کودها به دلیل اندازه کوچک و کارایی بالا مصرف بی رویه کودهای شیمیایی را کاهش می دهند. هدف از این پژوهش بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن بر ویژگی های رشد رویشی گیاه سورگوم در یک خاک آهکی بود. سنتز نانو کربن دات بدون پوشش به روش هیدروترمال و پوشش دهی با پلی لاکتیک اسید به روش هم رسوبی انجام شد. نتایج آنالیز دستگاه های UV-VIS و FTIR بارگذاری آهن روی سطح کربن دات ها را تایید کردند. آزمایش گلخانه ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول برگ پاشی آهن در سه سطح (آب مقطر، سولفات آهن و کربن دات آهن بدون پوشش با غلظت ۳ در هزار) و فاکتور دوم کاربرد خاکی کربن دات آهن (با پوشش و بدون پوشش) در ۵ سطح که شامل شاهد، کربن دات آهن بدون پوشش و پوشش دار هر کدام در دو سطح (10 و 5 mg kg^{-1}) بود. طبق نتایج بیشترین تعداد برگ ($6/60$)، ارتفاع ساقه ($35/52 \text{ cm}$)، وزن تر ساقه ($24/73 \text{ g plant}^{-1}$)، وزن تر برگ (1 g plant^{-1})، وزن خشک برگ ($24/39 \text{ g plant}^{-1}$)، غلظت آهن در ساقه (211 mg kg^{-1}) و برگ (186 mg kg^{-1}) مربوط به اثر متقابل تیمار خاکی کربن دات آهن بدون پوشش با سطح 10 kg^{-1} با محلول پاشی کربن دات (غلظت 3 g lit^{-1}) و بیشترین غلظت آهن خاک ($5/92 \text{ mg kg}^{-1}$) مربوط به تیمار خاکی کربن دات آهن پوشش دار 10 kg^{-1} محلول پاشی شده با کربن دات (غلظت ۳ در هزار) بود. بنابراین هر دو نوع کود جهت کشت سورگوم و تامین نیاز کودی آن مناسبند.

کلمات کلیدی:

نانو کربن دات آهن،
پوشش دهی نانو کربن دات،
سورگوم،
محلول پاشی

* عهده دار مکاتبات

Email: mbarani2002@yahoo.com

مقدمه

با افزایش جمعیت، اهمیت کشاورزی برای جوامع بشری بیش از هر زمان دیگری مشخص شده است. اولین و مهمترین نیاز هر انسانی به مواد غذایی است که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم با کشاورزی در ارتباط است (۲۳). در کشاورزی معمولاً برای جبران کمبودهای خاکی از انواع کودهای شیمیایی استفاده می‌شود (۶۸). استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی موجب بروز خسارات جبران‌ناپذیری بر خاک و محیط زیست می‌شود. فناوری نانو به عنوان یک فناوری بین رشته‌ای و پیش‌تاز بسیاری از مشکلات در زمینه‌های مختلف را حل کرده و به خوبی جایگاه خود را در علوم کشاورزی و صنایع وابسته آن به اثبات رسانیده است (۶۱). سطح وسیع و اندازه کوچک نانو مواد می‌تواند امکان جذب موثر مواد غذایی در هنگام کوددهی محصولات را فراهم کند. ادغام فناوری نانو در تولید کود می‌تواند رها سازی و راندمان جذب را افزایش دهد که منجر به مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی می‌شود. برای غلبه بر مشکل استفاده از کود و افزایش استفاده اقتصادی، روش‌های متعددی وجود دارد. در میان آنها استفاده از مقدار کافی کود، قرار دادن عمیق کود، استفاده از اوره گرانوله، بهبود دانش در زمینه تولید محصول و استفاده از نانو کودهای کندرها (۲) اهمیت دارد. کودهای در مقیاس نانو به دلیل سطح تماس بزرگ و اندازه کوچک امکان برهمکنش بهتر و جذب موثر عناصر غذایی را برای باروری محصول فراهم می‌سازد از این رو می‌تواند نوآوری بسیار مهمی در کشاورزی ایجاد کنند. همچنین ممکن است میزان رهاسازی محصولات کودی بهبود و بازدهی جذب را افزایش دهند که در نتیجه منافع اقتصادی و زیست‌محیطی را به دنبال دارد (۳۱). پوشش کودهای دانه‌ای محلول در آب توسط پلیمرهای مصنوعی و طبیعی مانعی برای نفوذ آب به داخل هسته ایجاد کرده و در نتیجه رهاسازی مواد مغذی دانه‌های کود را به تاخیر

می‌اندازد (۷۱). مقاومت پلیمرهای مصنوعی در برابر تخریب توسط موجودات زنده باعث تجمع قابل توجه و مداوم بقایای پلیمرهای مصنوعی در برابر تخریب توسط موجودات زنده باعث تجمع قابل توجه و مداوم بقایای پلیمری در خاک پس از هر فرایند کوددهی می‌شود. گزارش شده است که سالانه ۵۰ کیلوگرم در هکتار بقایای پلاستیک در زمین‌های زراعی انباشته می‌شوند (۶). تجمع میکروپلاستیک‌ها در خاک به یک موضوع بسیار نگران‌کننده در زمینه اکولوژیکی تبدیل شده است (۲۶). بنابراین پلیمرهای زیست تخریب پذیر برای جایگزینی مواد مصنوعی سنتی در زمینه پوشش‌های کودی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۲). در این راستا پلی ساکاریدهای سازگار با محیط زیست و مقرون به صرفه در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته‌اند (۱۵). طی مطالعات رئیسی اردالی^۱ و همکاران (۵۳) که از نانو کودهای آهن سنتز شده با پوشش آلی اسید هومیک به عنوان منبع غذایی گوجه‌فرنگی استفاده شد به این نتیجه رسیدند که نانوذرات موجب افزایش رشد گیاه شده و ارتفاع بوته، زیست توده اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و میزان آهن گیاه به ترتیب ۳۱، ۶۸، ۹۷ و ۲۴۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین نانوذرات پوشش‌دهی شده موجب افزایش جذب آهن و دسترسی آهن برای گیاه شد. طبق نتایج اسید هومیک مورد استفاده جهت پوشش‌دهی به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی مختلف مانند فنولیک، هیدروکسیل و کربوکسیلیک اسید باعث افزایش دسترسی گیاه به آهن می‌شود. بنابراین با توجه به اثرات خوب و مفید اسید هومیک در جذب آهن توسط گیاهان و همچنین زیست سازگاری کود نانوذره اکسید آهن پوشش‌دهی شده با اسید هومیک به عنوان یک نانو کود مناسب، سازگار با محیط زیست مقرون به صرفه و کارآمدتر توصیه شد.

به راحتی توسط سلول‌های گیاهی جذب شده و خاصیت فلورسانس قوی را نیز نشان دادند. عناصر کم مصرف از مواردی است که تاثیرات چشم‌گیری بر تولید غذا دارند و کمبود عناصر کم مصرف سبب کاهش تولید محصول در بسیاری از مناطق دنیا شده است. مصرف بی رویه کودهای شیمیایی برای جبران این کمبودها اثرات مضر بر خاک و محیط زیست داشته است. آهن چهارمین عنصر فراوان زمین است، اما به راحتی در دسترس محصولات کشاورزی نیست زیرا حلالیت آن در خاک توسط pH کنترل می‌شود آهن یک ماده مغذی ضروری برای همه موجودات است و کمبود آن در بسیاری از محصولات زراعی و باغی مختلف گسترده است (۳). کمبود آهن در گیاهان به صورت کلروز (سبز زردی) برگ‌های جوان ظاهر می‌شود که ناشی از اشکال در ساخت کلروفیل در کلروپلاست می‌باشد که در شرایط کمبود آهن و یا میزان کم آهن در گیاه به وقوع می‌پیوندد (۴۱). طبق گزارش دلفانی و همکاران^۶ (۱۵) محلول پاشی نانو ذرات آهن با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای لوبیا چشم سیاه تعداد غلاف (۴۷ درصد)، وزن هزارانه (۷ درصد)، مقدار آهن برگ‌ها (۳۴ درصد) و مقدار کلروفیل (۱۰ درصد) را به طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کاربرد نانو ذرات آهن موجب عملکرد بیشتر محصول نسبت به کاربرد آهن معمولی با غلظت‌های مشابه (۰/۲۵ و ۰/۵ گرم بر لیتر) شد. همچنین نانو ذرات آهن اثرات مفید دیگر نانو کودها (نانو ذرات منیزیم) بر لوبیا چشم بلبلی را به طور معنی‌داری بهبود بخشید. خاطر و همکاران^۷ (۳۲) اثر محلول پاشی نانو ذرات مگنتیک بر رشد و ترکیب اسانس نعنای را مطالعه کردند و نشان دادند که کاربرد نانو ذرات مگنتیت رشد و اسانس گیاه نعنای را به طور چشمگیری افزایش داد که بیشترین اثر آن در غلظت ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. آهن از جمله عناصر غذایی کم مصرف ضروری برای رشد گیاه است از این رو نانو ذرات اکسید آهن به تدریج موجب افزایش

در میان فراورده‌های بر پایه کربن، نانو کربن دات‌ها^۱ هستند که به دلیل پایه کربنی و همچنین اندازه کوچک آن نام کربن دات را گرفته‌اند که به شکل کروی و در اندازه نانو (به طور معمول کمتر از ۱۰ نانومتر) می‌باشند که به دلیل برخی از ویژگی‌های منحصر به فرد مانند حلالیت خوب در آب، غیر سمی بودن و همچنین زیست سازگاری بالا آن مورد توجه قرار گرفته است (۱۳) که برای اولین بار در سال ۲۰۰۴ توسط زو و همکاران^۲ (۷۷) در اثر خالص سازی نانو کربن‌های لوله‌ای تک دیواره کشف شد. روشی که اصولاً برای سنتز نانو کربن دات‌ها استفاده می‌شود هیدروترمال است که این روش تک مرحله‌ای بوده و دارای خلوص بالا و بدون آلودگی و کم هزینه است و به دلیل دمای واکنش پایین آب در شرایط کنترل شده، روشی است که دوست‌دار طبیعت بوده و آلودگی زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کند (۵۴). کربن دات‌ها امروزه در بخش کشاورزی نیز کاربردهایی دارند که می‌توان از این گروه از نانو مواد به عنوان پیش‌ساز در تولید نانو کودها استفاده کرد. بارگذاری عناصر غذایی کم مصرف و همچنین عناصر اصلی بر روی کربن دات‌ها اخیراً به عنوان کودهای شیمیایی استفاده شده است (۷۳). خوداکوسکایا و همکاران^۳ (۳۳) گزارش کردند که نانو کربن‌ها در دوزهای بسیار کم می‌توانند به پوسته بذر نفوذ کرده و موجب افزایش جوانه‌زنی در گوجه‌فرنگی شود. تان و همکاران^۴ (۷۰) اثرات کربن دات‌ها را بر روی فتوسنتز برنج (گیاهی C3) و ذرت (گیاهی C4) به ترتیب مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که میزان جذب دی اکسید کربن در برنج ۵۶ و در ذرت ۱۸ درصد از نمونه شاهد بیشتر بود. پنگ و همکاران^۵ (۵۰) گزارش کردند که نانو کربن دات‌های آهن سنتز شده از خرما (منبع کربن) و سولفات آهن آمونیوم (منبع آهن) اثرات مثبتی را بر پیازچه داشت و

1- Carbon Dots

2- Xu *et al.*3- Khodakovskaya *et al.*4- Tan *et al.*5- Peng *et al.*6- Delfani *et al.*7- Khater *et al.*

آزمایشی گلخانه‌ای گزارش کردند که غلظت کم (۰/۲) تا ۲ میلی گرم بر لیتر) نانو ذرات آهن سوپر مغناطیسی در شرایط هیدروپونیک مقدار کلروفیل را در برگ‌های پایینی سورگوم به طور معناداری افزایش داد که بیانگر این است که می‌توان از این نوع نانو ذرات به عنوان کود آهن برای سورگوم استفاده کرد و نشانه‌های زردی ناشی از کمبود آهن را کاهش داد.

استفاده از نانو کودهای آهن به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند با کاهش مصرف کود شیمیایی موجب دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست شود. لذا هدف از این مطالعه بررسی اثر کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کود نانو کربن دات آهن بر ویژگی‌های رشد گیاه سورگوم در یک خاک آهکی بود.

روش کار

سنتز نانو کربن دات‌های آهن

سنتز کربن دات به روش هیدروترمال و با استفاده از اتیلن دی آمین (EDA) و آب لیمو ترش انجام شد (۷۴). بدین منظور مقدار ۵۰ میلی لیتر آب لیمو تازه، از فیلتر رد شده، صاف شد و به آن ۶۰۵ میکرولیتر اتیلن دی آمین و ۱۰۰۰ میلی گرم سولفات آهن هفت آبه ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) به عنوان منبع کود آهن اضافه شد (۴۹). مخلوط آب لیمو و اتیلن دی آمین و سولفات آهن به اتوکلاو با دیواره تفلونی منتقل شده و به مدت ۶ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. تیره شدن رنگ محلول پس از این مدت نشان دهنده تشکیل کربن دات است (۶۹). نانو کربن دات‌های تشکیل شده به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شدند. جهت جدا سازی ذرات درشت سوسپانسیون با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. محلول صاف شده جهت پودر شدن در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و پودر حاصل جهت مشخصه‌یابی در مراحل بعد در محیطی تاریک حفظ شد (۴۹). برای سنتز کربن دات آهن با پوشش پلیمری پلی لاکتیک اسید از روش نانو رسوب استفاده شد. از کلروفورم

ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاه پرپوش شد (۵). مطالعه‌ای که توسط لی و همکاران^۱ (۳۷) انجام شد نشان داد که نانو ذرات اکسید آهن به عنوان کود آهن برای حفظ رشد برنج می‌تواند استفاده شوند. نانو کودها به راحتی می‌توانند به داخل اپیدرم نفوذ کنند و به صورت کنترل شده و هدفمند منتشر شوند. رویی و همکاران^۲ (۵۸) گزارش کردند که نانو ذرات اکسید آهن اثر مثبتی نسبت به اکسیدهای آهن معمولی بر ویژگی‌های رشدی گیاه بادام زمینی داشت. وانگ و همکاران^۳ (۷۶) گزارش کردند که نانو ذرات آهن گاما و همچنین نانو ذرات آهن معمولی اثرات مثبت و معنی‌داری را بر بسیاری از ویژگی‌های گیاهی خربزه داشتند. مارتینز-فرناندز و همکاران^۴ (۴۴) طی مطالعه خود روی اثر نانو اکسیدهای آهن بر گیاه گوجه‌فرنگی دریافتند که نانو اکسیدهای آهن در غلظت‌های کم موجب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاه از جمله طول ساقه و ریشه شد. نانوذرات اکسید آهن باعث افزایش صفات فیزیولوژیکی و جذب تغذیه در گیاه سویا می‌شود. لیو و همکاران^۵ (۴۰) همچنین گزارش کردند که نانوذرات آهن در گیاه ذرت با غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر باعث افزایش شاخص جوانه زنی به مقدار ۲۷/۲ درصد و افزایش طول ریشه تا ۱۱/۵ درصد شد.

گیاه سورگوم با نام علمی *Sorghum bicolor (L.) Moench* از قدیمی ترین گیاهان است که مورد استفاده بشر بوده است. در زمان‌های قدیم کشت این گیاه بیشتر در مناطق آفریقایی و هندوستان رایج بوده و از مناطق حاره‌ای رواج یافته است (۴۲). از جمله عناصر غذایی کم مصرف که سورگوم نسبت به کمبود آن حساس است آهن می‌باشد. کمبودخفیف آن می‌تواند علائم مشخصی را در برگ‌های جوان ایجاد کند، بدون آن سرعت رشد تا حد زیادی کاهش می‌یابد (۳۸). غفاریان و همکاران^۶ (۲۱) در

- 1- Liu et al.
- 2- Rui et al.
- 3- Wang et al.
- 4- Martinez-Fernandez et al.
- 5- Liu et al.
- 6- Ghafariyan et al.

گروه‌های عاملی سطح کربن دات با استفاده از طیف سنج مادون قرمز فوریه^۴ (FTIR) (مدل RX1، ساخت آلمان) تأیید شد. علاوه بر این، از تجزیه و تحلیل اشعه ایکس پراکندگی انرژی^۵ (EDAX) برای تعیین درصد آهن، کربن، اکسیژن و نیتروژن بارگذاری شده روی سطح کربن دات‌ها استفاده شد (۴۹). برخی از خصوصیات شیمیایی از جمله pH و هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰، شاخص شوری (Salt Index) (۳۵) و میزان آهن کل در نمونه‌ها با استفاده از اسید نیتریک و پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). (۴۷).

تعیین شاخص شوری کودهای سنتز شده

برای تعیین شاخص شوری، ۰/۵ g از کودهای سنتز شده و نترات سدیم (NaNO₃) در ۱۰۰ ml آب دوبار تقطیر در دو بشر متفاوت ریخته شد پس از ۲۴ ساعت، قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌ها بوسیله دستگاه هدایت سنج قرائت شد و شاخص شوری از نسبت این دو قرائت بدست آمد (۳۴).

نمونه برداری خاک

تعدادی نمونه خاک از مناطق مختلف استان اصفهان انتخاب و پس از تعیین مقدار آهن قابل استفاده (۴۸)، یک خاک آهکی (بکر) از منطقه وردشت استان اصفهان با طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۶/۹ ثانیه و عرض جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه و ۸ ثانیه با رده بندی Typic Xerorthents / Haplic Regosols (Calcaric) دارای مشکل کمبود آهن بود گزینش شد اصفهان با طول جغرافیایی ۳۹'۶/۹" و ۳۱° و عرض جغرافیایی ۴۴'۸" و ۵۱° با رده بندی Typic Xerorthents / Haplic Regosols (Calcaric) که دارای مشکل کمبود آهن (آهن قابل جذب) بود گزینش شد. نمونه خاک پس از خشک و کوبیده شدن، از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و همچنین غلظت قابل

به عنوان حلال پلیمری استفاده شد. در سنتز کربن دات آهن با پوشش از پلی لاکتیک اسید که نوعی پلیمر طبیعی و زیست تخریب پذیر است استفاده شد (۱۸). پلیمر مورد نظر از شرکت یاسا طب استان اصفهان تهیه شد. بدین منظور، ۲ گرم پلی لاکتیک اسید در ۴۰ میلی لیتر کلروفرم حل شده و ۲ گرم نانو کربن دات آهن به آرامی تحت همزن مغناطیسی به پلیمر اضافه شد. جهت پراکندگی کامل نانو کربن دات در پلیمر به مدت ۱۵ دقیقه تحت اولتراسونیک قرار گرفت. جهت انجام عمل پوشش دهی پلیمر اطراف نانو کربن دات آهن از پلی وینیل الکل (PVA) استفاده شد و ترکیب پلی لاکتیک اسید و نانو کربن دات آهن به آرامی و به صورت قطره قطره با سرنگ تحت هم‌وزن‌نایز با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) به محلول پلی وینیل الکل اضافه شد تا پوشش دهی نانو کربن دات آهن سنتز شده انجام گیرد. سپس نمونه به مدت یک روز (۲۴ ساعت) در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت تا خشک شود (۲۷).

مشخصه یابی و تعیین برخی ویژگی‌های نانوذرات سنتز شده

به منظور بررسی موفقیت آمیز بودن بارگذاری آهن روی به منظور بررسی موفقیت آمیز بودن سنتز نانوذرات و ارزیابی ویژگی‌های نانوذرات سنتز شده از دستگاه طیف سنج مرئی- ماوراء بنفش (UV-Visible) (مدل SPECORD 250 PLUS، ساخت آلمان) برای تعیین محدوده طول موج جذب فوتون و نشر آن استفاده شد. از میکروسکوپ الکترونی عبوری^۱ (TEM) (مدل HT7800، ساخت ژاپن) برای تعیین توزیع اندازه ذرات و دستگاه پراش پرتوی ایکس^۲ (XRD) (مدل D8 ADVANCE، ساخت آلمان) برای آنالیز و تعیین مشخصات نانو کربن دات‌های آهن استفاده شد. میکروسکوپ الکترون روبشی^۳ (SEM) (مدل EVO 15، ساخت آلمان) برای بررسی مورفولوژی نانوذرات استفاده شد. ساختار شیمیایی و

1- Transmission electron microscopy

2- X-ray diffraction

3- Scanning electron microscopy

4- Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

5- Energy dispersive X-ray analysis

زیلاب پور و همکاران: بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن...

جذب عناصر مختلف خاک اندازه گیری شد (جدول ۲). بافت خاک به روش هیدرومتری، pH در نسبت ۱:۲ خاک به آب، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ی اشباع، کربن آلی به وسیله ی اکسایش با پتاسیم دی کرومات، نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده خاک با استات آمونیوم، کربنات

کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و تیترا با سود، ظرفیت تبادل کاتیونی با جانشینی کاتیون ها با استات سدیم، رطوبت اشباع (SP) خاک به روش وزنی، رطوبت ظرفیت زراعی (FC) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری و عناصر کم مصرف با DTPA-TEA اندازه گیری شدند (۶۷).

جدول (۱) برخی خصوصیات شیمیایی نمونه های کودی سنتز شده.

Table(1) Some chemical properties of synthesized fertilizer samples.

درصد آهن کل Total Fe (%)	شاخص شوری Salt Index	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	pH	نمونه Sampel
0	1.67	10	3.6	نانو کربن دات شاهد (Blank CD)
4.98	2.66	15.9	2.8	کربن دات آهن Fe-CD
1	0.6	3.6	2.8	کربن دات آهن با پوشش Fe-CD-Coated

(Blank) (کربن دات بدون آهن)، Fe-CD (کربن دات آهن بدون پوشش)، Fe-CD-Coated (نانو کربن دات پوشش دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید).

جدول (۲) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table(2) Selected physicochemical properties of soil used.

مقدار value	ویژگی Property	مقدار value	ویژگی property	مقدار value	ویژگی Property
12.3	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmol kg ⁻¹)	14.55	فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹)	لوم Loam	بافت خاک Texture
38	درصد رطوبت اشباع %Sp	675	پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹)	7.5	pH
13.7	درصد رطوبت زراعی مزرعه %FC	0.62	آهن قابل جذب (mg kg ⁻¹)	0.96	هدایت الکتریکی EC(dS/m)
		0.46	مس قابل جذب (mg kg ⁻¹)	0.46	کربن آلی %OC
		0.42	روی قابل جذب (mg kg ⁻¹)	15	کربنات کلسیم معادل %CCE
		0.82	منگنز قابل جذب (mg kg ⁻¹)	0.05	نیتروژن کل %N

آزمایش گلخانه‌ای

وارد شدن گیاه به فاز زایشی به صورت سرک به خاک گلدان‌ها اضافه شد. گلدان‌ها به رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسانیده شده و ۲ روز بعد از آن نسبت به کاشت بذر اقدام شد. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر سورگوم رقم اسپیدفید در عمق ۲ سانتی متری خاک کاشته که پس از سبز شدن و استقرار کامل و گذشت دو هفته (مرحله ۴ برگچه‌ای)، تعداد بوته‌ها به ۵ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد جای گلدان‌ها دو بار در هفته به صورت تصادفی تغییر داده شد. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام شد. رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی تأمین شد. محلول پاشی آهن با غلظت سه در هزار و در مرحله هشت برگی سورگوم و در غروب آفتاب انجام شد تا جذب محلول بهتر صورت گیرد و تبخیر محلول به حداقل برسد. به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری ترکیب محلول پاشی شده بر روی بوته‌ها از ماده‌ای چسباننده و مومی (مویان و یا توین ۲۰) با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه سورگوم
قبل از برداشت گیاه و در پایان دوره رشد رویشی گیاه، ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع گیاه، تعداد برگ و قطر ساقه اندازه‌گیری شدند. پس از پایان دوره رشد (۱۲۰ روز پس از کشت)، گیاهان برداشت شده و وزن تر گیاه به تفکیک ساقه و برگ اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های گیاهی به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد در خشک‌کن تهویه‌دار تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. سپس وزن خشک ساقه و برگ اندازه‌گیری شد و پس از آن نمونه‌ها جداگانه پودر شده و پس از هضم نمونه‌های گیاهی به روش هضم خشک (۱۴)، غلظت آهن به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری آهن خاک

بعد از برداشت گیاهان از خاک گلدان‌ها نمونه همگنی تهیه شدند و پس از هوا خشک شدن خاک‌ها مقدار آهن قابل استفاده گیاه به روش DTPA قرائت شدند.

به منظور بررسی اثر کربن دات سنتز شده بارگیری شده با آهن بر فراهمی آهن در خاک، و پاسخ‌های گیاهی از جمله رشد گیاه و غلظت آهن در اندام هوایی گیاه و میزان جذب این عنصر توسط گیاه سورگوم رقم اسپیدفید (*Sorghum bicolor L. Var. Speed feed*)، یک آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و در گلخانه آموزشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان انجام شد. فاکتور اول برگ‌پاشی آهن در سه سطح (محلول پاشی با آب مقطر، محلول پاشی با سولفات آهن هفت آبه (به صورت خلص و با ۱۸ درصد آهن) با غلظت ۳ در هزار (۳ گرم سولفات آهن در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب) و محلول پاشی نانو کربن دات آهن بدون پوشش با غلظت ۳ در هزار (۳ گرم نانو کربن دات آهن بدون پوشش در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب) بود و فاکتور دوم کاربرد خاکی کربن دات بارگیری شده با آهن (با پوشش و بدون پوشش) در ۶ سطح بود که شامل: شاهد بدون کاربرد کربن دات (Blank)، کربن دات بدون پوشش به مقدار توصیه‌شده آزمون خاک یعنی ۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک (5mg kg^{-1} Fe-CD)، کربن دات بدون پوشش به میزان ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک (10mg kg^{-1} Fe-CD)، کربن دات پوشش‌دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید به مقدار ۵ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک (5mg kg^{-1} Fe-CD-Coated)، کربن دات پوشش‌دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید به میزان ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک (10mg kg^{-1} Fe-CD-Coated) بودند. واحدهای آزمایشی ۵۴ عدد گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۳ کیلوگرم خاک آهکی با مقدار آهن قابل استفاده کم بود. به هر گلدان اوره، سوپرفسفات تریپل، سولفات منگنز، سولفات مس و سولفات روی به عنوان منابع تأمین کننده نیتروژن، فسفر، منگنز، مس و روی قبل از کاشت بر اساس آزمون خاک اضافه شد. علاوه بر ازت اضافه شده قبل از کشت، کود اوره یک بار یک ماه پس از کشت و بار دیگر در زمان

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه شدند و مقایسه میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

بحث و نتایج

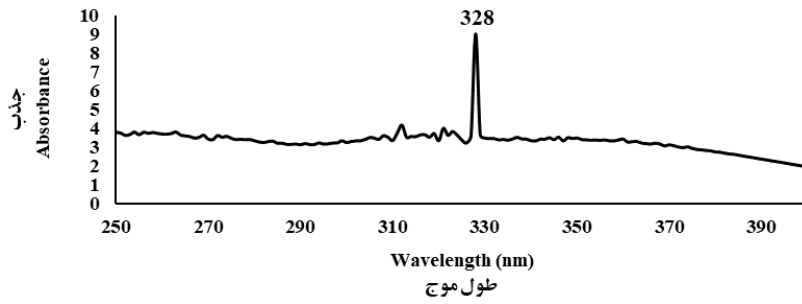
آنالیزهای مشخصه‌یابی نانوکربن دات آهن سنتز شده

نتایج طیف سنجی نانو کربن دات‌های آهن (Fe-CDs) سنتز شده نشان داد که اوج جذب در ناحیه ۳۲۸ نانومتر بود که معمولاً این ناحیه مختص جذب طول موج عنصر آهن می‌باشد (شکل ۱). هوانگ و همکاران^۱ (۲۹) بیان داشتند که پیک جذب در این ناحیه بیانگر حضور آهن در نمونه نانو کربن دات آهن بوده و نشانگر ترکیب قدرتمند بین آهن و کربن دات و بارگذاری روی کربن دات‌های حاصل از واکنش هیدروترمال است.

تصویر آنالیز میکروسکوپ الکترون انتقالی (شکل ۲)، نشان داد نمونه نانو کربن دات آهن (بدون پوشش) از ذرات با ابعاد ریز ساخته شده است که با سطح انرژی بالایی کنار یکدیگر تجمع یافته‌اند. افزون بر این توزیع اندازه ذرات بدست آمده از نرم افزار Image J نشان داد که نانو ذرات کربن دات آهن سنتز شده اندازه‌ای بین ۴۳ تا ۶۷ نانومتر دارند. با توجه به اینکه ذرات نانو معمولاً اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند اندازه ذرات تایید کننده نانو ذره بودن نمونه سنتز شده می‌باشد (۲۹).

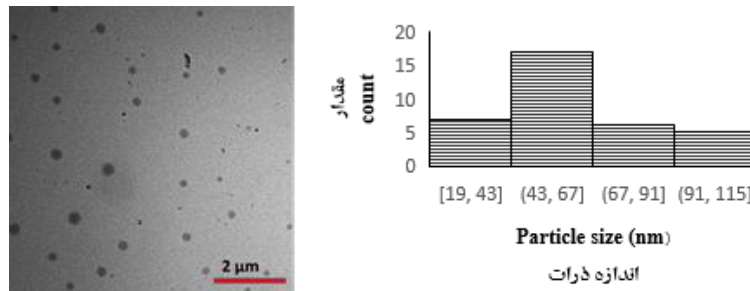
تصویر حاصل از آنالیز SEM نشانگر کروی بودن و پوشش‌دهی نانو کربن دات آهن سنتز شده می‌باشد. اندازه ذرات با نرم افزار Image J اندازه‌گیری شده و نمودار هیستوگرام آن رسم شد. با توجه به شکل ۳ محدوده اندازه ذرات پوشش‌دهی شده ۷۵ تا ۱۴۹ نانومتر بود (شکل ۳). بزرگ بودن ذرات، حاصل پوشش‌دهی موفق نانو کربن دات با پلیمر طبیعی پلی لاکتیک اسید بود.

آنالیز طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDAX) (جدول ۳)، نشان داد که نانو ذرات کربن دات آهن بدون پوشش (Fe-CD) و پوشش‌دهی شده با پلی لاکتیک اسید (Fe-CD-Coated) از کربن، نیتروژن و اکسیژن و آهن تشکیل شده‌اند. حضور اکسیژن بیانگر حضور فراوان گروه‌های عامل کربوکسیل و هیدروکسیل در نمونه سنتز شده نانو کربن دات آهن است که حضور این گروه‌های عاملی سطح نانو کربن دات‌ها را منفی کرده و موجب اتصال موفقیت‌آمیز آهن بر روی سطح حلالیت بالا در محیط آبی می‌شود. همچنین حضور این گروه‌های عاملی موجب حلالیت خوب نانو ذرات در آب می‌شود. پس از اکسیژن عنصر کربن بالاترین درصد را داشت که تایید کننده ساختار کربنی نانو کربن دات است. در ساختار نانو کربن دات نیز درصد کمی هم به نیتروژن تعلق داشت که می‌تواند حاصل گروه‌های عاملی موجود در ساختار اتیلن دی آمین باشد (۸۰). درصد عناصر تشکیل دهنده در نانو کربن دات آهن بدون پوشش بیشتر بود که مربوط به ساختار و گروه‌های عاملی پلیمر پلی لاکتیک است و موجب انسجام بهتر پوشش اطراف نانو کربن دات آهن می‌شوند (۵۳).



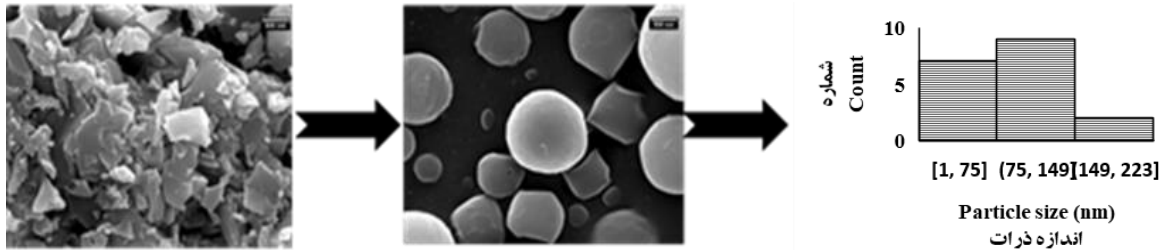
شکل (۱) نمودار مربوط به آنالیز UV-Visible نمونه نانو کربن دات آهن بدون پوشش (Fe-CD).

Figure (1) Diagram related to UV-Visible analysis of uncoated iron nano carbon dot sample (Fe-CD).



شکل (۲) آنالیز مربوط به میکروسکوپ الکترون انتقالی (TEM): تصویر نانو ذره کربن دات آهن (Fe-CD) در مقیاس ۲ میکرومتر و نمودار توزیع اندازه ذرات با استفاده از نرم افزار ImageJ.

Figure(2) Transmission Electron Microscopy (TEM) analysis: the image of carbon dot iron nanoparticles at a scale of 2 micrometers and the particle size distribution diagram using ImageJ software.



شکل (۳) تصویر حاصل از آنالیز SEM نمونه بدون پوشش کربن دات آهن و نمونه پوشش دهی شده (Fe-CD-Coated) در مقیاس ۵۰۰ نانومتر و نمودار توزیع اندازه ذرات با استفاده از نرم افزار ImageJ.

Figure(3) Image from SEM analysis of uncoated iron carbon dot sample and coated sample (Fe-CD-Coated) at 500 nm scale and the particle size distribution diagram using ImageJ software.

جدول (۳) نتایج آنالیز EDAX و عناصر تشکیل دهنده نمونه کربن دات آهن پوشش دهی شده و بدون پوشش

Table(3) The results of EDAX analysis and constituent elements of uncoated and coated iron carbon dot sample

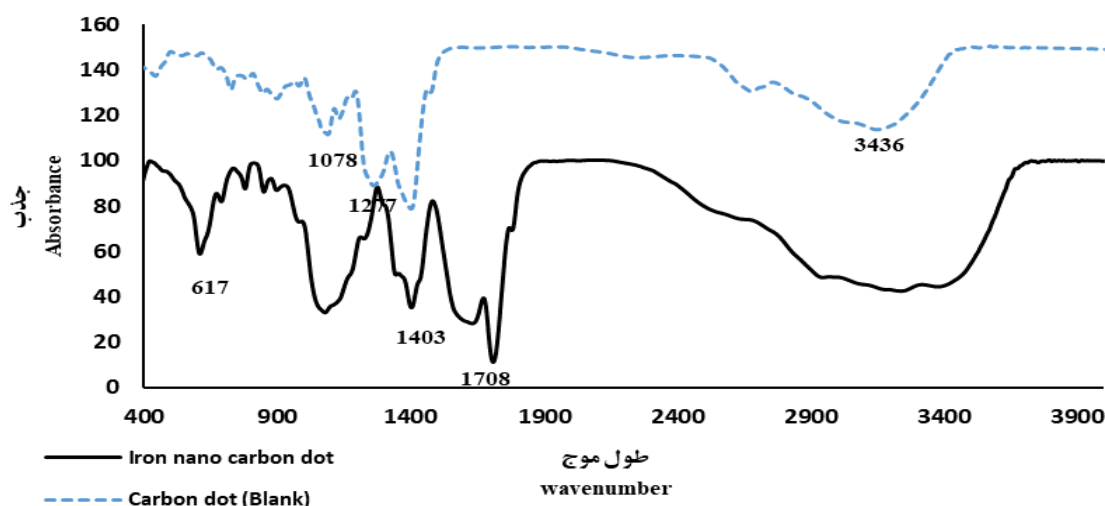
جذب اتمی	وزن	عنصر	نمونه
Atomic	Weight%	Element	Sample
35.34	26.9	C	نانو کربن دات بدون پوشش (Fe CD)
13.13	11.3	N	
46.66	45.84	O	
4.99	16.73	Fe	نانو کربن دات آهن پوشش دهی شده (Fe-CD-Coated)
43.18	36.79	C	
12.62	12.54	N	
44.03	49.97	O	
1.1	4.99	Fe	

هیدروکسیل (-COOH) بر سطح هر دو نمونه نشان دهنده جذب آب و حلالیت خوب نانو کربن دات‌ها در آب می‌باشد. در واقع با ریز شدن اندازه ذرات تشکیل دهنده در یک جسم تعداد اتم‌های سطحی آن افزایش قابل توجهی می‌یابد. از این رو این ترکیبات قادر به جذب ملکول‌هایی همچون آب هستند و می‌توانند حلالیت خوبی داشته باشند. گروه‌های عاملی کربن دار همانند گروه‌های کربوکسی (C=O و C-C) و همچنین گروه آلکوکسی (C-O) پایه کربنی نانو کربن دات را تایید می‌کنند (۵۲).

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه سورگوم

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای آزمایشی بر ویژگی‌های رشد رویشی گیاه سورگوم در جدول های ۴ و ۵ ارائه شده است.

شکل ۴ نتایج آنالیز طیف‌سنج مادون قرمز (FTIR) را نشان می‌دهد. در نمونه نانو کربن دات آهن بدون پوشش، ناحیه جذبی 617 cm^{-1} مربوط به پیوند آهن با اکسیژن (Fe-O) می‌باشد که نشان دهنده بارگذاری موفق آهن روی کربن دات‌ها می‌باشد (۲۹). همچنین ناحیه جذبی 1078 cm^{-1} در نمونه شاهد و همچنین نمونه نانو کربن دات آهن مربوط به گروه عاملی C-H (۳۴) و همچنین ناحیه 1403 cm^{-1} مربوط به گروه عاملی کربوکسیل (-COOH) و ناحیه 1713 cm^{-1} مربوط به گروه عامل C=O پیوند کربنی (C=C) در ناحیه 1644 cm^{-1} نشان دهنده پایه کربنی نانو کربن دات آهن سنتز شده می‌باشد (۷۲). ناحیه جذبی 3436 cm^{-1} و ناحیه جذبی 2688 cm^{-1} (در نمونه شاهد) مربوط به گروه عاملی هیدروکسیدی (OH) می‌باشد. همچنین ناحیه جذبی 1277 cm^{-1} در نمونه شاهد مربوط به گروه عاملی C-C می‌باشد (۷۴). نتایج مشابهی برای کربن دات پوشش دهی شده با پلی لاکتیک اسید بدست آمد. حضور گروه‌های عاملی



شکل (۴) نمودار مربوط به آنالیز FTIR نمونه‌های نانو کربن دات آهن (Fe-CD) و نمونه شاهد (نانو کربن دات بدون آهن).

Figure(4) Diagram related to FTIR analysis of iron nano carbon dot samples (Fe-CD) and control sample (no iron nano carbon dot).

جدول (۴) تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشد رویشی گیاه سورگوم

Table(4) Variance analysis of the effect of treatments on vegetative growth parameters of sorghum plant.

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد برگ	قطر ساقه	ارتفاع ساقه	وزن تر برگ	وزن خشک برگ	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه
S.O.V	df	number of leaf	stem diameter	stem height	Fresh weight of leaf	Leaf dry weight	Fresh weight of stem	stem dry weight
محلول پاشی	2	1.30*	1.47**	144.5**	46.9**	1.80*	45.40**	2.08**
Spraying	5	2.21**	0.51*	57.11**	53.23**	3.2**	59.52**	2.87**
کاربرد خاکی	10	0.79*	0.04 ^{ns}	5.12*	4.48**	0.31 ^{ns}	3.43*	0.21 ^{ns}
Soil application	36							
محلول پاشی × کاربرد خاکی								
Soil × Spraying application								
خطا								
Error								

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد

*and ** indicate significant at 5 and 1 probability levels respectively.

جدول (۵) مقایسه میانگین‌های اثر تیمارها بر ویژگی‌های رشد رویشی گیاه سورگوم

Table (5) Comparison of the average effect of treatments on vegetative growth parameters of sorghum plant

محلول پاشی	علامت اختصاری تیمارها	کاربرد خاکی	تعداد برگ	ارتفاع ساقه	وزن تر برگ	وزن تر ساقه
Spraying		Soil application		(cm)	(g plant-1)	(g plant-1)
آب مقطر	S ₀ WF	Fe-CD (0 mg kg ⁻¹)	4.26e	20.96h	11.87g	13.3k
Distilled water	S ₅ WF	Fe-CD (5 mg kg ⁻¹)	5.80 abc	26.32de	17.55cd	20.04cdef
	S ₁₀ WF	Fe-CD (10 mg kg ⁻¹)	5.93ab	27.46bcd	18.80bc	19.40def
	SC ₀ WF	Fe-CD-Coated (0 mg kg ⁻¹)	4.06e	21.06gh	11.92g	13.82jk
Nano carbon dot without coating with concentration of 3 per thousand	SC ₅ WF	Fe-CD-Coated (5 mg kg ⁻¹)	5.33bcd	24.32efg	16.11def	18.79fgh
	SC ₁₀ WF	Fe-CD-Coated (10 mg kg ⁻¹)	5.73abc	26.46cde	17.54cd	19.19efg
	S ₀ CF	Fe-CD (0 mg kg ⁻¹)	4.73de	26.20de	15.16f	17.12fghi
کربن دات آهن بدون پوشش با غلظت ۳ در هزار	S ₅ CF	Fe-CD (5 mg kg ⁻¹)	5.93ab	29.06bc	19.55b	22.04bc
	S ₁₀ CF	Fe-CD (10 mg kg ⁻¹)	6.60a	35.52a	24.39a	24.73a
	SC ₀ CF	Fe-CD-Coated (0 mg kg ⁻¹)	4.86cde	26.16de	15.10f	16.76ghij
سولفات آهن هفت آبه با غلظت ۳ در هزار	SC ₅ CF	Fe-CD-Coated (5 mg kg ⁻¹)	5.73abc	27.90bcd	18.54bc	21.16bcd
	SC ₁₀ CF	Fe-CD-Coated (10 mg kg ⁻¹)	6.06ab	29.23b	20.23b	22.14b
	S ₀ SF	Fe-CD (0 mg kg ⁻¹)	5.93ab	22.20gh	14.75f	16.07hij
غلظت ۳ در هزار	S ₅ SF	Fe-CD (5 mg kg ⁻¹)	5.80abc	23.30efg	16.04def	18.27fgh
	S ₁₀ SF	Fe-CD (10 mg kg ⁻¹)	5.86abc	26.46cde	18.48bc	21.07bcd
	SC ₀ SF	Fe-CD-Coated (0 mg kg ⁻¹)	5.66bcd	22.16gh	14.52f	15.93ij
iron sulfate with concentration of 3 per thousand	SC ₅ SF	Fe-CD-Coated (5 mg kg ⁻¹)	5.40bcd	22.86fgh	15.66def	18.15gh
	SC ₁₀ SF	Fe-CD-Coated (10 mg kg ⁻¹)	5.26bcd	25.60efg	17.17cde	20.69bcde

Fe-CD (کربن دات آهن بدون پوشش)، Fe-CD-Coated (نانو کربن دات پوشش‌دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید).

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار می‌باشد (آزمون LSD, P ≤ 0.05).

Values labeled with different letters are significantly different (p ≤ 0.05) according to the Duncan's multiple range test.

تعداد برگ

برگ گیاه سورگوم معنی‌دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵)، تیمار S₁₀CF بیشترین تعداد برگ (۶/۶۰) را داشت که با تیمار SC₁₀CF (۶/۰۶) تفاوت معنی‌داری نداشت این دو تیمار موجب افزایش تعداد برگ نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۶۲ و ۴۹ درصد شدند.

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر محلول پاشی در سطح ۵ درصد، کاربرد خاکی کربن دات (با پوشش و بدون پوشش) در سطح ۱ درصد و اثر متقابل محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۵ درصد بر تعداد

ارتفاع بوته و تعداد برگ شد و آنان علت را افزایش تولید کلروفیل و انتقال راحت مواد فتوسنتزی و افزایش آن به دلیل حضور عنصر آهن گزارش کردند. وانگ^۲ و همکاران (۷۶) گزارش کردند که نانو ذرات اکسید آهن گاما و همچنین نانو ذرات اکسید آهن معمولی اثرات مثبت و معنی داری را بر بسیاری از ویژگی های رشد خریزه داشتند.

ارتفاع ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد و نیز اثر متقابل محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۵ درصد بر ارتفاع ساقه گیاه سورگوم معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده ها (جدول ۵) بیشترین ارتفاع ساقه (۳۵/۵۲cm) در تیمار S₁₀CF و پس از آن تیمار SC₁₀CF (۲۹/۲۳cm) مشاهده شد. این دو تیمار موجب افزایش ارتفاع ساقه گیاه سورگوم نسبت به شاهد (۲۰/۹۶cm) به ترتیب به میزان ۶۹ و ۳۹ درصد شدند. تیمارهای محلول پاشی شده با نانو کربن دات آهن نسبت به تیمارهای محلول پاشی شده با سولفات آهن و آب مقطر دارای اثر بخشی بیشتری در افزایش ارتفاع گیاه بودند. نمونه نانو کربن دات آهن بدون پوشش پلیمری ممکن است به دلیل پی اچ اسیدی حلالیت عناصر غذایی دیگری که در افزایش رشد دخیل هستند را افزایش دهند و از این طریق نیز موجب افزایش ارتفاع گیاه شود. همچنین باتوجه به اثرات مثبتی که عنصر آهن بر هورمون های رشد گیاه دارد می تواند نقش مهمی را در افزایش ارتفاع گیاه داشته باشد. بهبود عملکرد نانو ذرات آهن نسبت به تیمار شاهد می تواند ناشی از کارایی ذرات آهن با ساختار نانو در رسانش و فراهمی بهینه عنصر آهن در فرایندهای فیزیولوژیکی باشد. احتمالاً با فعال شدن فرایندهای فیزیولوژیکی تشکیل کلروفیل افزایش یافته و در پی آن شدت فتوسنتز نیز بیشتر می شود و این امر در نهایت موجب افزایش ارتفاع گیاهان تیمار شده با نانو ذرات آهن نسبت به تیمار شاهد می شود (۱۲). بزرگی^۳ (۱۰) گزارش کرد محلول پاشی نانو

داده های مقایسه میانگین نشان می دهد محلول پاشی تیمارهای خاکی کربن دات (سطح^۱ ۵ mg kg⁻¹ و ۱۰) با کربن دات آهن تاثیر بیشتری را نسبت به تیمارهای محلول پاشی شده با سولفات آهن در تعداد برگ گیاه سورگوم داشت. داده های مقایسه میانگین ها نشان داد که محلول پاشی با کربن دات همراه با مصرف خاکی کربن دات (سطح ۱۰ و ۵ میلی گرم بر کیلوگرم) تاثیر بیشتری نسبت به تیمارهای محلول پاشی شده با سولفات آهن بر تعداد برگ گیاه سورگوم داشت. از مزیت های نانو بودن کودهای مصرفی اندازه کوچک آن هاست که در مصرف خاکی به راحتی جذب ریشه شده و وارد آوند چوبی می شوند و به ساقه و سپس برگ منتقل شده و نیاز گیاه از نظر کود آهن را برطرف می کنند. از سوی دیگر، با وجود اینکه همه برگ ها دارای ویژگی های مشابهی هستند (اپیدرم، روزنه مزوفیل و بافت آوندی) (۱۶)، اپیدرم می تواند یک یا چند لایه ضخیم داشته باشد که شامل یک کوتیکول ضخیم (سطح بالایی) یا نازک (سطح پایینی برگ) است که دارای منافذ بسیار ریز با اندازه کمتر از ۵ نانومتر است و ذرات با این اندازه می توانند از کوتیکول عبور کنند و وارد برگ شوند (۲۰). ذرات نانو کربن دات آهن سنتز شده در این پژوهش دارای اندازه ای بزرگتر از ۵ نانومتر بودند که احتمالاً این ذرات هنگام محلول پاشی می توانند از منافذ بزرگتر روزنه ها که برای تبادل آب و گاز با محیط باز می شوند عبور کنند (۷۹). هنگامی که نانو ذرات آهن وارد گیاه شدند پورفیرین را افزایش داده و موجب افزایش کلروفیل در سلول های گیاهی می شوند. با افزایش کلروفیل جذب انرژی نوری افزایش یافته و این انرژی برای فتوسنتز استفاده می شود. با افزایش شدت فتوسنتز تعداد برگ و در نهایت رشد گیاه افزایش می یابد (۲۰). سبیر و همکاران (۵۹) گزارش کردند که کاربرد محلول پاشی کودهای نانو آهن موجب افزایش اغلب شاخص های رشدی و فیزیولوژیک مانند رشد برگ در انگور (*Vitis vinifera L*) شد. آبو شلل^۱ و همکاران (۱) طی مطالعه ای که بر روی گیاهان مورینگا داشتند گزارش کردند که محلول پاشی نانو ذرات کلسیم، منیزیم و آهن باعث افزایش

2- Wang et al.

3- Bozorgi et al.

1- Abou-Shlell et al.

معنی داری کلیه صفات گیاه را تغییر داد به طوری که بیشترین توجه به نتایج مقایسه میانگین‌های اثر محلول‌پاشی (شکل ۵)، بیشترین قطر ساقه مربوط به تیمارهای محلول‌پاشی شده با کربن دات آهن با غلظت ۳ در هزار بود و تیمارهای محلول‌پاشی شده با آب مقطر و سولفات آهن اختلاف معنی‌داری با همدیگر نشان ندادند. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد خاکی کربن دات (شکل ۶)، نشان داد که تیمار SC₁₀WF دارای بیشترین قطر ساقه بود (۳/۳mm) که نسبت به تیمار S₁₀WF (۳/۵۱mm) تفاوت معنی‌داری نداشت. این دو تیمار نسبت به شاهد (۳/۱۵mm) به ترتیب ۱۸ و ۱۱ درصد موجب افزایش قطر ساقه شدند. پوشش‌دهی نانو کربن دات‌های آهن موجب آزاد سازی آهسته این عنصر طی رشد گیاه می‌شود. از سوی دیگر منفی بودن سطح این نوع نانو کودهای سنتز شده فراهمی آهن در ناحیه ریزوسفر را افزایش داده و با توجه به نانو بودن این کودها و اندازه کوچکی که دارند به راحتی به داخل ریشه منتقل می‌شوند و پس از طی کردن مسیرهای آوندی به ساقه و پس از آن به اندام هوایی گیاه منتقل می‌شوند. به نظر می‌رسد عنصر با افزایش غلظت کلروفیل سبب افزایش فتوسنتز و آهن در نتیجه افزایش رشد گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی و همچنین قطر ساقه می‌شود همچنین عنصر آهن با افزایش غلظت کلروفیل سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه افزایش رشد گیاه و تعداد شاخه‌های فرعی و همچنین قطر ساقه می‌شود (۲۰). شافعی ماسوله و همکاران^۶ (۶۲) گزارش کردند نانو ذرات مگنتیک با پوشش کیتوزان تا ۱۵ میلی گرم در لیتر به دلیل افزایش شدت فتوسنتز موجب افزایش قطر ساقه و وزن تر و خشک اندام هوایی در گل سوسن شد. رمضان زاده و همکاران^۷ (۵۵) گزارش کردند که نانو کود اکسید آهن سنتزی موجب افزایش معنی‌داری در قطر ساقه و سایر ویژگی‌های رویشی گیاه ذرت شدند.

کلات آهن در بادنجان (*Solanum melongena L*) به طور ارتفاع گیاه و تعداد شاخه با مصرف نانو کلات آهن به صورت محلول‌پاشی بدست آمد و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار شاهد بود. زاید و همکاران^۱ (۷۸) در پژوهشی که روی اثر عناصر غذایی کم مصرف از جمله ذرات نانو آهن بر گیاه برنج داشتند گزارش کردند که تغذیه برگی موجب افزایش ارتفاع، وزن خشک اندام هوایی و محتوی کلروفیل شد. پژوهشگران مختلفی به اثر مثبت کاربرد آهن نسبت به عدم کاربرد آن (شاهد) بر ارتفاع بوته گیاهان و به دنبال آن بهبود عملکرد کل گیاه اشاره داشتند. برای مثال در کلزا بهبود ارتفاع گیاه و عملکرد کل با کاربرد آهن توسط پورغلام^۲ و همکاران (۵۱) گزارش شده است. امید و همکاران^۳ (۴۸) گزارش کردند محلول‌پاشی نانو کود آهن موجب افزایش درصد پروتئین، عملکرد علوفه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و سطح برگ در سورگوم گردید. هارسینیا و همکاران^۴ (۲۵) اثرات محلول‌پاشی نانو کلات آهن بر گندم در شرایط مزرع‌آبی در نوعی خاک با pH ۷/۶ را در کرمانشاه مطالعه کردند و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی نانو ذرات آهن افزایش قابل توجه و معنی‌داری را در سطح ۵ درصد بر ارتفاع گیاه داشت. سعیدپناه و همکاران^۵ (۶۰) گزارش کردند اثر نانو کود آهن بر روی گیاه ذرت بر روی ارتفاع گیاه اثر معنی‌داری داشت به طوری که بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به تیمار نانو کلات آهن (۲/۹۰ متر) و شاهد (۲/۳۵ متر) بود. بیشترین وزن خشک برگ نیز در تیمار نانو کلات آهن به دست آمد.

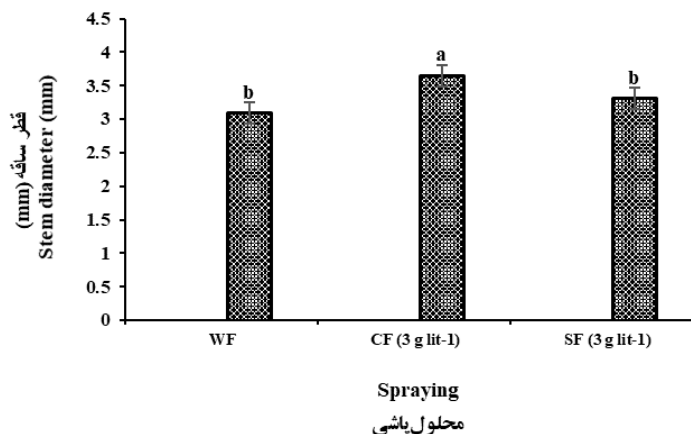
قطر ساقه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثرات اصلی محلول‌پاشی بر قطر ساقه در سطح ۱ درصد و اثر تیمار خاکی کربن دات بر قطر ساقه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شدند ولی اثرات متقابل آن‌ها بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با

- 1- Zayed *et al.*
- 2- Pourgholam *et al.*
- 3- Omid *et al.*
- 4- Harsinia *et al.*
- 5- Saedpanah *et al.*

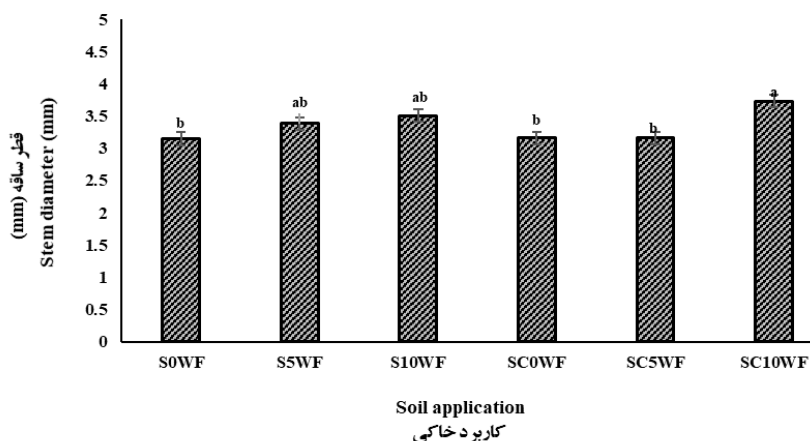
6- Shafiee-Masouleh *et al.*
7- Razmandeh *et al.*

زیلاب پور و همکاران: بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن...



شکل (۵) مقایسه میانگین‌های اثر محلول پاشی بر قطر ساقه گیاه سورگوم، WF: Water Foliar application (محلول پاشی با آب مقطر)، CF: Carbon dot Foliar application (محلول پاشی با کربن دات)، SF: Fe Sulfate application (محلول پاشی با سولفات آهن).

Figure(5) Comparing the averages of foliar application on sorghum stem diameter, WF: Water Foliar application (spraying with distilled water solution), CF: Carbon dot Foliar application (spraying with carbon dot solution), SF: Fe Sulfate application (spraying with iron sulfate solution).



شکل (۶) مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد خاکی کربن دات بر قطر ساقه گیاه سورگوم، SWF: کاربرد خاکی کربن دات بدون پوشش، SCWF: کاربرد خاکی کربن دات پوشش‌دهی شده.

Figure(6) Comparison of averages of the effect of carbon dot soil application on sorghum plant stem diameter, SWF: uncoated carbon dot soil application, SCWF: coated carbon dot soil application.

وزن تر برگ
 $20/23 \text{ plant}^{-1}$ بیشترین وزن تر برگ را داشتند، این دو تیمار نسبت به شاهد ($11/87 \text{ g plant}^{-1}$) به ترتیب به میزان ۱۰۵ و ۷۰ درصد وزن تر برگ گیاه سورگوم را افزایش دادند. در صورتی که تیمارهای $S_{10}FW$ و $SC_{10}FW$ به ترتیب ۵۵ و ۴۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داشتند که این نتایج بیان‌کننده برتری کاربرد محلول پاشی تیمارها با کربن دات آهن نسبت به سولفات آهن هفت آبه بود. عنصر آهن از جمله

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر محلول پاشی، کاربرد خاکی کربن دات و اثر متقابل محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد بر وزن تر برگ گیاه معنی‌دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵) تیمار $S_{10}CF$ بیشترین وزن تر برگ ($24/39 \text{ g plant}^{-1}$) را داشت و پس از آن تیمار $SC_{10}CF$ (g)

مطالعه موسی پور و همکاران^۲ (۴۶) که بر روی اثر نانو کلات آهن بر گیاه بادام زمینی انجام دادند گزارش کردند که کاربرد نانو کلات آهن وزن تر ساقه را به طور معنی داری افزایش داد.

وزن خشک برگ

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر اصلی محلول پاشی در سطح ۵ درصد و اثر اصلی تیمار خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد معنی دار شدند ولی اثرات متقابل آن‌ها بر وزن خشک برگ معنی دار نبود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۷)، بیشترین وزن خشک برگ مربوط به تیمارهای محلول پاشی شده با کربن دات آهن با غلظت ۳ در هزار بود و تیمارهای محلول پاشی شده با آب مقطر و سولفات آهن اختلاف معنی داری را نشان ندادند. نتایج مقایسه میانگین کاربرد خاکی کربن دات (شکل ۴-۱۶)، نشان داد که تیمار $S_{10}WF$ ($5/37 \text{ g plant}^{-1}$) و پس از تیمار $SC_{10}WF$ ($g \text{ plant}^{-1}$) دارای بیشترین وزن خشک برگ بود. این دو تیمار نسبت به شاهد ($3/82 \text{ g plant}^{-1}$) به ترتیب ۴۰ و ۳۰ درصد موجب افزایش وزن خشک برگ شدند. نانو کودهای آهن هنگام محلول پاشی از طریق روزه‌های باز موجود در سطح برگ و یا کرک‌ها به دلیل اندازه کوچک (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) وارد سلول‌های برگ گیاه می‌شوند و از طرفی دیگر با مصرف خاکی این کودها همزمان با محلول پاشی جذب از ناحیه ریشه صورت می‌گیرد و با مسیر آوند چوبی به سایر نقاط منتقل می‌شود. بنابراین حضور موثر عنصر آهن منتقل شده به سلول‌های گیاهی موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه می‌شود. اثر نانو اکسید آهن بر عملکرد و کیفیت سویا توسط شیخ بگلو و همکاران^۳ (۶۵) اندازه‌گیری شد و تأثیر مثبت آن بر وزن خشک برگ و غلاف و وزن خشک غلاف گیاه مشاهده شد (۶۹). محمود و همکاران^۴ (۴۳) گزارش کردند که نانو ذرات آهن سنتز شده نسبت به سولفات آهن و کلات آهن با اثر بر غلظت فتوسنتز گیاهی موجب افزایش وزن خشک برگ و اندام هوایی، وزن تر ساقه و سطح برگ لوبیا نسبت به تیمار شاهد شد.

عناصر غذایی کم مصرف‌های حیاتی برای گیاهان به شمار می‌رود و نقش مهمی را در متابولیسم‌های اسید نوکلئیک و پروتئین دارد (۷۵). همچنین آهن نقش بسیار مهمی را در متابولیسم کلروپلاست و سنتز کلروفیل دارد. از طرفی نانو کودهای سنتز شده به دلیل حلالیت بالا و سطح تماس بیشتری که نسبت به سایر کودهای معمولی دارند سریعاً جذب ریشه می‌شوند (۴۵). بنابراین به دلیل افزایش شدت فتوسنتز ناشی از جذب بالای نانو کربن دات آهن وزن گیاه نیز افزایش می‌یابد.

وزن تر ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح یک درصد و اثر متقابل محلول پاشی و کربن دات در سطح ۵ درصد بر وزن تر ساقه گیاه معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۵)، تیمار $S_{10}CF$ بیشترین وزن تر ساقه ($g \text{ plant}^{-1}$) (۲۴/۷۳) و نمونه شاهد (فاقد کود آهن) کمترین مقدار وزن تر ($13/3 \text{ g plant}^{-1}$) را داشت. با توجه به نتایج تیمارهای $S_{10}CF$ و $SC_{10}CF$ به ترتیب ۸۶ و ۶۶ و تیمارهای $S_{10}FW$ و $SC_{10}FW$ به ترتیب ۵۸ و ۵۵ درصد موجب افزایش وزن تر ساقه گیاه سورگوم نسبت به شاهد شدند که این نتایج اثر بخشی بالای محلول پاشی با نانو کود کربن دات را نشان می‌دهد. حضور نانو ذرات در خاک به دلیل اندازه کوچکی که دارند به سرعت جذب ریشه می‌شوند (۶۳) و در خاک کمتر تحت تأثیر عوامل خاکی از جمله میکروارگانیسم‌ها قرار می‌گیرند. از طرفی محلول پاشی این نانو ذرات نیز بسیار موثر است و از طریق ناحیه برگ جذب گیاه شده و به سرعت به سایر نقاط منتقل می‌شود پس از انتقال نانو کودهای آهن به گیاه عنصر آهن آزاد شده در بسیاری از واکنش‌های گیاهی شرکت می‌کند و با اثر بر بسیاری از پروتئین‌هایی که در ساختار کلروفیل حضور دارند موجب افزایش آن و تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی و افزایش فتوسنتز می‌شود. هنگامی که فتوسنتز در حضور عنصر آهن افزایش می‌یابد عملکرد زیستی گیاه افزایش یافته و رشد گیاه نیز بیشتر می‌شود (۶۴). بقایی و همکاران^۱ (۷) تأثیر نانو کلات آلی آهن را بر افزایش وزن تر ساقه و ریشه گیاه برنج گزارش کردند. در

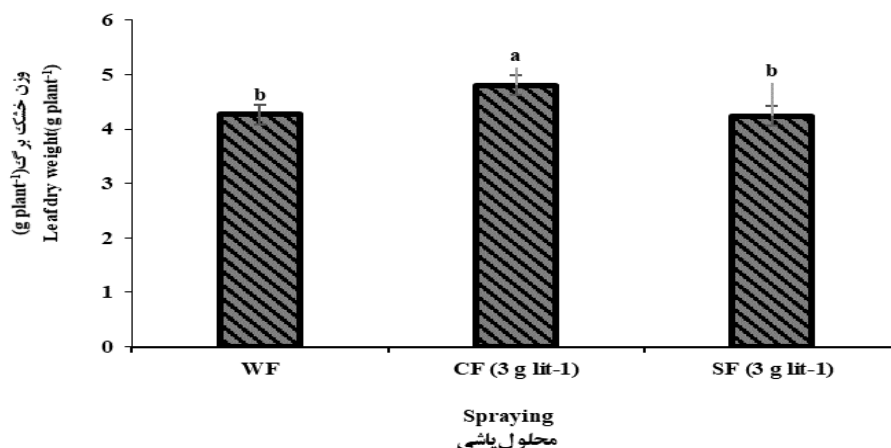
2- Moosapoor *et al.*

3- Sheykhbaglou *et al.*

4- Mahmoud *et al.*

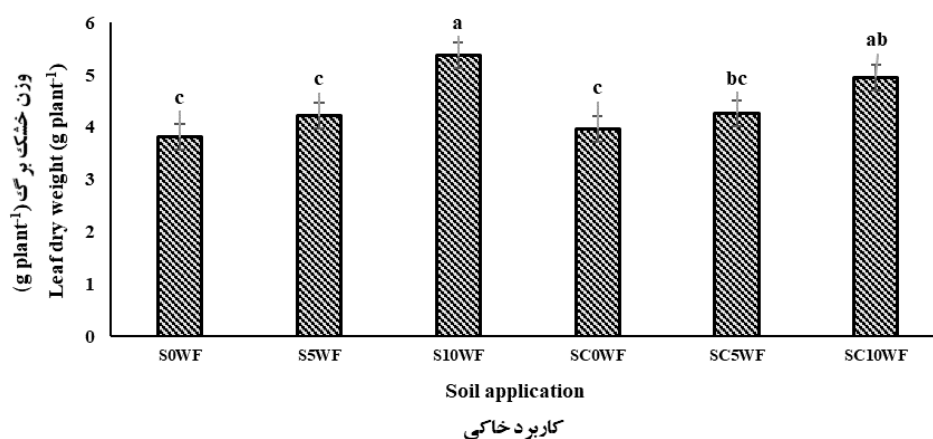
1- Baghaie *et al.*

زیلاب پور و همکاران: بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن...



شکل (۷) مقایسه میانگین اثر محلول پاشی بر وزن خشک برگ گیاه سورگوم، WF: Water Foliar application (محلول پاشی با آب مقطر)، CF: Carbon dot Foliar application (محلول پاشی با کربن دات)، SF: Fe Sulfate application (محلول پاشی با سولفات آهن).

Figure(7) Comparison of the average effect of foliar application on the dry weight of sorghum leaves, WF: Water Foliar application (spraying with distilled water solution), CF: Carbon dot Foliar application (spraying with carbon dot solution), SF: Fe Sulfate application (spraying with iron sulfate solution).



شکل (۸) مقایسه میانگین اثر کاربرد خاکی کربن دات بر وزن خشک برگ گیاه سورگوم، مقایسه میانگین های اثر کاربرد خاکی کربن دات بر قطر ساقه گیاه سورگوم، SWF: کاربرد خاکی کربن دات بدون پوشش، SCWF: کاربرد خاکی کربن دات پوشش دهی شده.

Figure(8) Comparison of the average effect of soil application of carbon dot on the dry weight of sorghum plant leaves, comparison of the average effect of soil application of carbon dot on the diameter of the stem of sorghum plant, SWF: soil application of carbon dot without coating, SCWF: soil application of carbon dot coated.

مقایسه میانگین ها (شکل ۹)، بیشترین وزن خشک ساقه مربوط به تیمارهای محلول پاشی شده با کربن دات آهن با غلظت ۳ در هزار بود و تیمارهای محلول پاشی شده با آب مقطر و سولفات آهن اختلاف معنی داری نداشتند. محلول پاشی از جمله روش های موثر است که می تواند مقادیر کم آهن را سریع و با

وزن خشک ساقه

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثرات اصلی محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد بر وزن خشک گیاه سورگوم معنی دار شدند در حالی که اثرات متقابل آن ها بر وزن خشک ساقه معنی دار نبود. با توجه به نتایج

آهن برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، اثر محلول پاشی، کاربرد خاکی کربن دات و نیز اثر متقابل محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد بر غلظت آهن در برگ گیاه معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۷)، $S_{10}CF$ بیشترین غلظت آهن برگ ($mg\ kg^{-1}$) (۱۸۶) را داشت که با S_3CF ($176\ mg\ kg^{-1}$) تفاوت معنی داری نداشت. کمترین مقدار آهن برگ در تیمار شاهد به مقدار $mg\ 76\ kg^{-1}$ بود. اثر همزمان محلول پاشی و کاربرد خاکی نانوذرات اثر بخشی بالاتری را نسبت به کاربرد خاکی داشت. تیمارهای خاکی محلول پاشی شده با کربن دات آهن با غلظت ۳ در هزار نسبت به تیمارهای خاکی محلول پاشی شده با سولفات آهن عملکرد بالاتری داشتند. طبق نتایج جدول مقایسه میانگین در تیمار $S_{10}SF$ غلظت آهن کل برگ $160\ mg\ kg^{-1}$ بود در صورتی که در تیمار $S_{10}CF$ برابر با $186\ mg\ kg^{-1}$ بود این دو نسبت به شاهد به ترتیب ۱۰۵ و ۱۳۸ درصد غلظت آهن کل در برگ گیاه سورگوم را افزایش دادند که این نتایج نشان دهنده برتری تیمارهای خاکی محلول پاشی شده با کربن نانوذرات است. همچنین نتایج مربوط به غلظت آهن کل در برگ گیاه نشان می‌دهد که تیمار $S_{10}CF$ نسبت به تیمار $SC_{10}CF$ دارای غلظت آهن بیشتری هستند. همچنین نتایج مربوط به غلظت آهن کل در برگ گیاه نشان می‌دهد که تیمارهای بدون پوشش پلیمری نسبت به تیمارهای پوشش‌دهی شده با پلیمر (هر دو با سطح ۱۰ میلی گرم آهن بر کیلوگرم) در هر دو دسته تیمارهای محلول پاشی شده با کربن دات و سولفات آهن دارای غلظت آهن بیشتری هستند. نبودن پوشش پلیمری در اطراف نانو ذرات جذب آهن را سریع‌تر می‌کند بنابراین طبق مطالعات انجام شده مسیرهای جابجایی نانو کود آهن در گیاهان در دو مسیر آوند چوبی و آبکش می‌باشد. به دلیل اندازه کوانتومی نانوذرات آهن، می‌توانند مستقیماً به غشای سلولی و دیواره سلولی اپیدرم ریشه نفوذ کنند. سپس بیشتر به سمت سیستم آوندی گیاه یعنی آوند چوبی (از طریق مسیر سیمپلاست) حرکت می‌کند و در نهایت به برگ‌ها منتقل می‌شود (۵۶). فتحی و همکاران^۴ (۱۹)

کمترین هزینه به گیاه منتقل کند و کمبودهای حاصل از عنصر غذایی آهن را برطرف کند (۱۸). درصد بالای آهن در نمونه بدون پوشش هنگام محلول پاشی فراهمی آهن برای گیاه را بیشتر کرده و نانو بودن کود نیز مزیت مهمی در جذب بالای این نوع کود نسبت به سولفات آهن هفت آبه است که موجب برتری آن شده است. نتایج مقایسه میانگین‌های کاربرد خاکی کربن دات (شکل ۱۰)، نشان داد که تیمار $S_{10}WF$ ($g\ plant^{-1}$) و پس از آن تیمار $SC_{10}WF$ ($4/55\ g\ plant^{-1}$) دارای بیشترین وزن خشک ساقه بود. این دو تیمار نسبت به شاهد ($g\ 3/29\ plant^{-1}$) به ترتیب ۴۴ و ۳۸ درصد موجب افزایش وزن خشک ساقه شدند. هو^۱ و همکاران (۲۸) گزارش شده کردند که اثر کربن دات در واکنش‌های مربوط به فتوسنتز به عنوان ناقل الکترون و انرژی در گیاه گشنیز عمل کرده و در نهایت موجب افزایش وزن خشک ساقه گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. حمزه‌ایی و همکاران^۲ (۲۴) گزارش کردند محلول پاشی بوته‌های نخود با نانو کود آهن به دلیل اثر بر بسیاری از فرایندهای بیولوژیکی مانند فتوسنتز و مقدار کلروفیل به طور معنی داری وزن خشک ساقه را افزایش داد. طی پژوهشی بهاری و همکاران^۳ (۸) گزارش کردند که محلول پاشی سولفات آهن موجب افزایش معنی داری در ویژگی‌های رشد گیاه نخود شد. محلول پاشی از جمله روش‌های موثر است که می‌تواند مقادیر کم آهن را سریع و با کمترین هزینه به گیاه منتقل کند و کمبودهای حاصل از عنصر غذایی آهن را برطرف کند (۲۰). هی و همکاران (۲۶) گزارش کردند که محلول پاشی برگی نانو آهن موجب افزایش غلظت آهن و بهبود رشد در بوته برنج شد.

غلظت کل آهن در گیاه و خاک

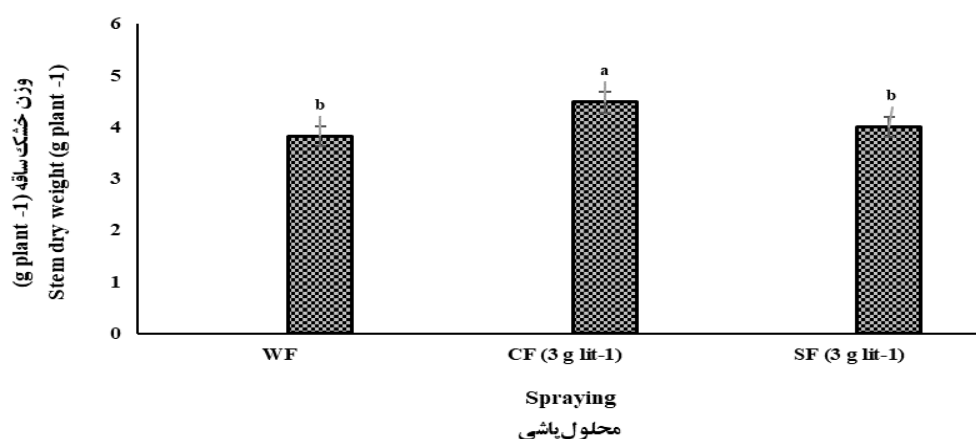
پس از پایان دوره رشد رویشی (۴ ماه)، گیاه سورگوم برداشت، غلظت کل در آهن در برگ و ساقه و همچنین آهن قابل استفاده گیاه در خاک به روش DTPA اندازه‌گیری شدند نتایج مربوط به تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های این پارامترها به ترتیب در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.

1- Hu *et al.*2- Hamzei *et al.*3- Bahari *et al.*4- Fathi *et al.*

زیلاب پور و همکاران: بررسی اثر کاربرد کود نانو کربن دات آهن...

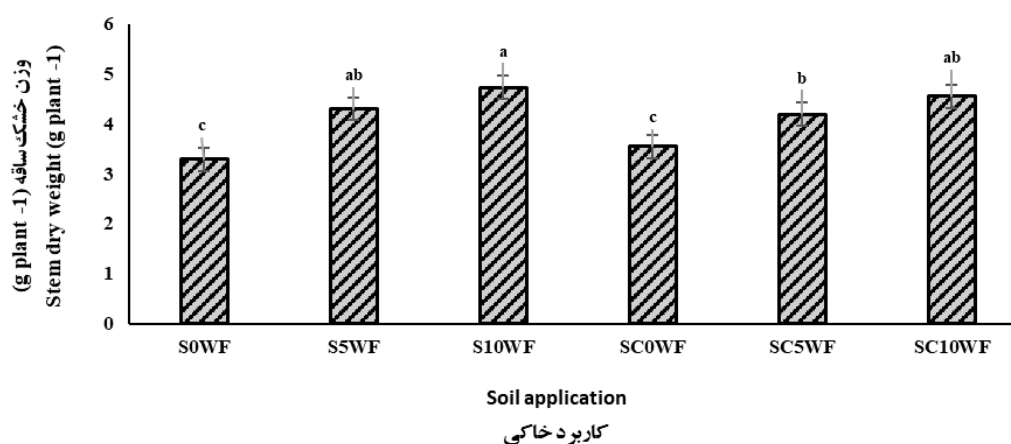
مورفولوژیکی مانند وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته، سطح برگ و غلظت آهن در برگ گندم در مقایسه با تیمار شاهد شد. لیو و همکاران (۴۰) که نانو ذرات اکسید آهن به دلیل اندازه کوچکی که دارند از ناحیه آوند چوبی از ریشه به برگ گیاه بادم زمینی منتقل شده و موجب افزایش صفات رویشی و میزان کلروفیل و همچنین غلظت آهن در برگ گیاه شد.

اثرات دو شکل طبیعی و نانوذرات اکسید آهن و با غلظت ۲ گرم در لیتر را بر روی دو ژنوتیپ گندم (کویر و تجن) در سه سطح (۰، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار) ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که نانو ذرات اکسید آهن با متعادل کردن سایر عناصر غذایی در سلول‌های گیاهی ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و به دنبال آن به طور قابل توجهی موجب بهبود صفات



شکل (۹) مقایسه میانگین‌های اثر محلول‌پاشی بر وزن خشک ساقه گیاه سورگوم، WF: Water Foliar application (محلول‌پاشی با آب مقطر)، CF: Carbon dot Foliar application (محلول‌پاشی با کربن دات)، SF: Fe Sulfate application (محلول‌پاشی با سولفات آهن).

Figure(9) Comparing the averages of foliar application on dry weight of sorghum plant stem, WF: Water Foliar application (spraying with distilled water solution), CF: Carbon dot Foliar application (spraying with carbon dot solution), SF: Fe Sulfate application (spraying with iron sulfate solution).



شکل (۱۰) مقایسه میانگین اثر کاربرد خاکی کربن دات بر وزن خشک ساقه گیاه سورگوم، SWF: کاربرد خاکی کربن دات بدون پوشش، SCWF: کاربرد خاکی کربن دات پوشش‌دهی شده.

Figure (10) Comparison of the average effect of soil application of carbon dot on the dry weight of sorghum plant stem, SWF: soil application of carbon dot without coating, SCWF: soil application of coated carbon dot.

جدول (۶) تجزیه واریانس اثر تیمارها بر غلظت آهن در گیاه و خاک
 Table(6) Analysis of variance of the effect of treatments in plant and soil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	آهن کل برگ Total leaf iron	آهن کل ساقه Total stem iron	آهن قابل استفاده خاک Usable soil iron
محلول پاشی Spraying	2	8386.06**	43974**	2.05**
کاربرد خاکی Soil application	5	7309.88**	25864**	3.04**
محلول پاشی × کاربرد خاکی Soil application × Spraying	10	316.85**	11324**	0.6**
خطا Error	36			

** نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد می باشد

** indicate significant at 1 probability levels respectively.

جدول (۷) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت آهن در گیاه و خاک

Table (7) Mean comparison of the average effect of treatments on iron concentration in plant and soil

محلول پاشی Spraying	علامت اختصاری تیمارها	کاربرد خاکی soil application	آهن برگ (mg kg ⁻¹ dm)	آهن ساقه (mg kg ⁻¹ dm)	آهن قابل استفاده خاک (mg kg ⁻¹ soil)
آب مقطر	S ₀ WF	Fe-CD (0 mg kg ⁻¹)	86g	40i	3.18i
Distilled water	S ₅ WF	Fe-CD(5 mg kg ⁻¹)	118f	122e	3.54hi
	S ₁₀ WF	Fe-CD(10 mg kg ⁻¹)	160c	134d	4.14def
	SC ₀ WF	Fe-CD-Coated(0 mg kg ⁻¹)	86g	46i	3.26ghi
	SC ₅ WF	Fe-CD-Coated(5 mg kg ⁻¹)	115f	106f	3.84fgh
	SC ₁₀ WF	Fe-CD-Coated(10 mg kg ⁻¹)	128def	122f	4.64bcd
نانو کربن دات بدون پوشش	S ₀ CF	Fe-CD(0 mg kg ⁻¹)	134de	156c	4.42dc
	S ₅ CF	Fe-CD(5 mg kg ⁻¹)	176ab	166b	4.44cd
با غلظت ۳ در هزار	S ₁₀ CF	Fe-CD(10 mg kg ⁻¹)	186a	212a	4.88bc
Nano -carbon dot without coating with concentration of 3 per thousand	SC ₀ CF	Fe-CD-Coated(0 mg kg ⁻¹)	130def	154c	4.38cde
	SC ₅ CF	Fe-CD-Coated(5 mg kg ⁻¹)	140d	162bc	4.52cd
	SC ₁₀ CF	Fe-CD-Coated(10 mg kg ⁻¹)	170bc	208ab	5.92a
سولفات آهن هفت آبه با	S ₀ SF	Fe-CD(0 mg kg ⁻¹)	90g	84h	3.52fghi
	S ₅ SF	Fe-CD(5 mg kg ⁻¹)	129def	82h	3.59ghi
غلظت ۳ در هزار	S ₁₀ SF	Fe-CD(10 mg kg ⁻¹)	166bc	112f	3.80fgh
iron sulfate with concentration of 3 per thousand	SC ₀ SF	Fe-CD-Coated(0 mg kg ⁻¹)	87g	78h	3.56ghi
	SC ₅ SF	Fe-CD-Coated(5 mg kg ⁻¹)	119ef	80h	3.26hi
	SC ₁₀ SF	Fe-CD-Coated(10 mg kg ⁻¹)	164bc	94g	5.18b

Fe-CD (کربن دات آهن بدون پوشش)، Fe-CD-Coated (نانو کربن دات پوشش دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید).

حروف لاتین غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی دار می باشد (آزمون LSD، P ≤ 0.05)

Values labeled with different letters are significantly different (p ≤ 0.05) according to the Duncan's multiple range test.

آهن ساقه

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، اثر محلول پاشی، کاربرد خاکی کربن دات و همچنین اثر متقابل محلول پاشی و کاربرد خاکی کربن دات در سطح ۱ درصد بر غلظت آهن در ساقه گیاه سورگوم معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۷)، تیمار $S_{10}CF$ (211 mg kg^{-1}) و پس از آن تیمار $SC_{10}CF$ (208 mg kg^{-1}) بیشترین غلظت آهن ساقه را داشتند و کمترین مقدار مربوط به تیمار شاهد بود. با توجه به نتایج تیمارهای خاکی پوشش دهی شده و بدون پوشش (سطح ۱۰ میلی گرم آهن بر کیلوگرم خاک) که با کربن دات محلول پاشی شده بودند نسبت به تیمارهای خاکی محلول پاشی شده با سولفات آهن غلظت آهن در ساقه گیاه را بیشتر افزایش دادند. تصور می‌شود گونه‌های یونی از کوتیکول برگ از منافذ آبی عبور می‌کنند که اندازه آن‌ها بسیار کوچک است (۴) از طرفی مکانیسم ورود آهن در ناحیه برگ محلول پاشی شده هنوز به خوبی شناخته نشده است ممکن است به صورت مستقیم از طریق انتقال دهنده‌های آهن وارد سلول برگ شود یا اینکه ممکن است اکسید شود و سپس با لیگاندهای آپوپلاستیک، مانند اسیدهای آلی و نیکوتیانامین کلات شود و جذب در ناحیه برگ صورت گیرد (۲۰). جذب نانو ذرات آهن در گیاهان از طریق ریشه (کاربرد خاکی نانو کودها) و انتقال آن به قسمت‌های مختلف مانند برگ و ساقه بستگی به اندازه، غلظت و بار نانو ذرات آهن دارد (۱۱). انتقال آهن یک مرحله محدود کننده در تغذیه آهن است. پس از جذب ریشه، آهن به صورت شعاعی در سر تا سر ریشه منتقل می‌شود و سپس وارد آوند چوبی می‌شود. در آوند چوبی آهن به شکل کلات منتقل می‌شود و سیرتات عامل اصلی کمپلکس کننده است نانو ذرات کمپلکس بیشتری با سیرتات دارند و به راحتی نسبت به کودهایی که در اندازه نانو نیستند به آوند چوبی منتقل می‌شود و سریع تر به نقاط مختلف گیاه منتقل می‌شود (۲۲). باستانی^۱ و همکاران (۹)

طی مطالعاتی بر روی اثر نانو کود آهن بر گیاه تنباکو داشتند گزارش کردند که نانو کود آهن نسبت به کود آهن معمولی آهن بالاتری را در ساقه داشت. آنان این اثر را به دلیل اندازه کوچکتر و سطح جذب بالای نانو کود نسبت دادند، چراکه نانو کود نسبت به کود آهن معمولی بهتر جذب شده و از ریشه به ساقه و سپس به برگ‌های جوان بهتر منتقل می‌شوند.

آهن قابل استفاده خاک

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶)، اثر محلول پاشی، کاربرد خاکی کربن دات و اثر متقابل محلول پاشی و کربن دات در سطح ۱ درصد بر غلظت آهن خاک معنی دار بودند. با توجه به جدول مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۷)، تیمار $SC_{10}CF$ بیشترین غلظت آهن خاک ($5/92 \text{ mg kg}^{-1}$) را داشت و پس از آن تیمار $SC_{10}SF$ ($5/18 \text{ mg kg}^{-1}$) بیشترین آهن قابل استفاده را داشت. کمترین مقدار آهن قابل استخراج با DTPA هم در تیمار شاهد به میزان $3/18 \text{ mg kg}^{-1}$ مشاهده شد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که نانو کربن دات‌های آهن پوشش دهی شده با پلیمر پلی لاکتیک اسید در طول رشد گیاه آهن را به آرامی آزاد می‌کنند و بنابراین گیاه در دوره رشد ۴ ماهه خود مشکلی از نظر تامین آهن ندارد. با توجه به اینکه نانو ذرات پوشش دهی شده دارای گروه‌های عاملی مختلف از جمله کربوکسیل هستند موجب اتصال قوی آهن روی سطح نانو کربن دات می‌شود و مانند کلات عمل کرده و حلالیت و انتشار گونه‌های آهن را از فاز جامد به محلول خاک افزایش می‌دهد (۳۸). یکی دیگر از دلایلی که موجب افزایش آهن قابل استفاده گیاه در خاک می‌شود می‌تواند مربوط به درصد بالای گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل بوده و موجب منفی‌تر شدن سطح نمونه پوشش دهی شده و جذب مقادیر زیادی آهن روی سطح شده و از رسوب و هدر رفت آن در خاک جلوگیری می‌کند. از طرفی دیگر اکسیداسیون پلی فنل موجب کاهش Fe^{3+} به Fe^{2+} و انتشار یون‌های آهن در محلول خاک و افزایش آن در خاک شده است (۶۶). طبق

ترتیب ۱ و ۴/۹۸ درصد بدست آمد. تیمار S₁₀CF بیشترین تعداد برگ، ارتفاع ساقه و وزن تر و خشک ساقه و برگ را داشت. تیمارهای خاکی S₁₀CF خاک نسبت به تیمارهای SC₁₀CF اثر بخشی بالاتری را داشتند. به دلیل پوشش پلیمری نانوکودهای پوشش دهی شده رهاسازی آهسته تری داشته و مقدار آهن کمتری نسبت به تیمارهای بدون پوشش در اختیار گیاه قرار می دهد. تیمارهای خاکی محلول پاشی شده با نانوکربن دات آهن بدون پوشش با غلظت ۳ در هزار نسبت به تیمارهای بررسی اثر نانوکربن دات های آهن دارای اندازه کوچک و سطح جذب بالاتر از ناحیه روزنه نسبت به سایر کودهای معمولی است. بنابراین هر دو نوع کود پوشش دهی شده و بدون پوشش که به طور همزمان با نانو کربن دات آهن بدون پوشش با غلظت ۳ در هزار محلول پاشی شده بود، جهت کشت سورگوم مناسب بوده و می تواند به عنوان نوعی کود آهن جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

مطالعه ای که رئیسی اردالی^۱ و همکاران (۵۱) روی اثر نانو ذرات آهن پوشش دهی شده با اسید هومیک بر روی گیاه گوجه فرنگی داشتند گزارش کردند که گروه های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل موجود در ساختار اسید هومیک موجب کلات شدگی آهن و حفظ آن در محیط خاک شده و دسترسی کود را افزایش می دهد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر موفق بودن سنتز نانوکربن دات های آهن سنتز شده با روش هیدروترمال بود. این امر با تأیید بارگذاری موفق آهن بر روی کربن دات با دستگاه های همچون UV-VIS، XRD تأیید شدند. پوشش دهی موفق نانوکربن دات های آهن سنتز شده با پلیمر طبیعی و زیست تخریب پذیر پلی لاکتیک اسید با دستگاه میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) تأیید شد. جهت تعیین اندازه نانوذرات سنتزی از دستگاه میکروسکوپ الکترون انتقالی (TEM) استفاده شد و طبق نتایج آنالیز نانوذرات بدون پوشش کربن دات آهن اندازه ای در حدود ۴۳ تا ۶۷ نانومتر داشتند. گروه های عاملی کربوکسیل که با دستگاه طیف سنج مادون قرمز (FTIR) مشخص شد، از جمله گروه های عاملی غالب در نانوکودهای سنتز شده بود. حضور این گروه های عاملی موجب حلالیت خوب نانو کربن دات های آهن در آب شده و به راحتی محتوی آهن خود را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار داد. آنالیز دستگاهی مربوط به طیف سنجی پراش پرتو ایکس (EDAX) در هر دو نمونه سنتز شده نشان داد که نانوذرات از کربن، اکسیژن، نیتروژن و آهن تشکیل شده بود و اکسیژن و کربن به دلیل ساختارهای کربوکسیل و هیدروکسیل دارای بیشترین مقدار بودند و درصد آهن در نمونه پوشش دهی شده ۱/۱ و در نمونه بدون پوشش ۴/۹۹ درصد بود. جهت اطمینان بیشتر از درصد کل آهن در نمونه های پوشش دهی شده و بدون پوشش میزان آهن به روش هضم تر نیز اندازه گیری شد و درصد کل آهن به

References

1. Abou-Shlell, M. K. Botanical studies on Moringa plant. 2017. Sci. of thesis Botany Dept. Fac. Agric. Moshtohor pp 154.
2. Ahmed, S., Niger, F., Kabir, M. H., Chakrabarti, G., Nur, H. P. and Imamul Huq, S. M. 2012. Development of Slow Release Nano Fertilizer. Proceedings of the International Workshop on Nanotechnology, Dhaka, Bangladesh.
3. Alidoust, D., Isoda, A. 2013a. Effect of g-Fe₂O₃ nanoparticles on photosynthetic characteristic of soybean (*Glycine max* L. Merr.): foliar spray versus soil amendment. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35: 3365-3375.
4. Alvarez-Ferna'ndez, A., Garcí'a-Laviña, P., Fidalgo, J. Abadi'a, J., Abadi'a ,A. 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) trees, *Plant and Soil*, 263: 5–15.
5. Askary, M., Talebi, S.M., Amini, F., Bangan, A.D.B. 2017. Effects of iron nanoparticles on *Menthapiperita* L. under salinity stress. *Biologija*, 63: 65-75.
6. Azeem, B. K., Kushaari, Z.B., Man, A., Basit, T.H. 2014. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Journal of Controlled Release*, 181: 11–21.
7. Baghaie, N., Keshavarz, N., and Nazaran, M.H. 2012. Effect of Nano Iron chelate fertilizer on yield and yield components of rice, Hashemi cultivar. 12th Iranian Crop Sciences Congress. Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran. 1-5.
8. Bahari, M., Pahlevani, R., Akbari, N. and Ehsanzadeh, P. 2005. The effect of different amounts of Fe and Cu fertilizers on growth and yield of chickpea genotypes under dryland conditions of Aligudarz-Azna in Lorestan province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 12. Specialized for Agronomy and Plant Breeding, 12, 190-201. (In Persian with English abstract).
9. Bastani, S., Hajiboland, R., Khatamian, M., and Saket-Oskoui, M. 2018. Nano iron (Fe) complex is an effective source of Fe for tobacco plants grown under low Fe supply. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(2): 524-541.
10. Bozorgi, H. R. 2012. Effects of foliar spraying with marine plant *Ascophyllum nodosum* extract and nano iron chelate fertilizer on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melongena* L.). *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, 7 (5): 357-362.
11. Burke, D. J., Pietrasiak, N., Situ, S. F., Abenojar, E.C., Porche, M., Kraj, P., Samia, A.C.S. 2015. Iron oxide and titanium dioxide nanoparticle effects on plant performance and root associated microbes. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 (10): 23630–23650.
12. Chen, J. S., Lu, Z., Zhang, X., Zhao, X., Li, P., Ning, M. 2018. Environmentally friendly fertilizers: a review of materials used and their effects on the environment, *Science of the Total Environment*, 613–614.
13. Chu, K., Lee, S., Chang, C. and Liu, L. 2019. Recent Progress of Carbon Dot Precursors and Photocatalysis Applications. *Polymers*, 11(4): 1-31.
14. Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bull*, 38: 70-73.
15. Delfani, M., Firouzabadi, M. B., Farrokhi, N., Makarian, H. 2014. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 530–540.

16. Ehleringer, J. 1980. Leaf morphology and reflectance in relation to water and temperature stress. John Wiley and Sons, Inc.
17. El, T., Manal, A., Raihane, M., El, A., Mehdi, M., Rachid, K. 2020. Poly (ϵ - caprolactone)- g - guar gum and poly (ϵ - caprolactone)- g - halloysite nanotubes as coatings for slow - release DAP fertilizer, Journal of Polymers and the Environment, 8: 2078-2090.
18. Farrington, D., Lunt, J., and Blackburn, R. S. 2005. Poly(lactic acid) Fibres, Biodegradable and Sustainable Fibres, CRC, EnglandChap6, 30.
19. Fathi, A., Zahedi, M., Torabian, S., Khoshgoftar, A., 2017. Response of wheat genotypes to foliar spray of ZnO and Fe₂O₃ nanoparticles under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 40 (10): 1376-1385.
20. Fernandez, V., Del Río, V., Abadía, J., Abadía, A. 2006. Foliar iron fertilization of peach (*Prunus Persica* (L.) Basch): effects of iron compounds, surfactants and other adjuvants. Plant and Soil, 289: 239–252.
21. Ghafariyan, M. H., Malakouti, M. J., Dadpour, M. R., Stroeve, P., Mahmoudi, M. 2013. Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll. Environmental Science and Technology, 47, 10645–10652.
22. Gonzalo, M.J., Lucena, J., and Hernández-Apaolaza, L. 2013. Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron deficiency. Plant Physiology and Biochemistry, 70: 455-461.
23. Grillet, L., Mari, S., and Schmidt, W. 2014. Iron in seeds loading pathways and subcellular localization. Frontiers in Plant Science, 4: 535-547.
24. Hamzei, J., Najjari, S., Sadeghi, F., and Seyedi, M. 2014. Effect of foliar application of nano-iron chelate and inoculation with mesorhizobium bacteria on root nodulation, growth and yield of chickpea under rainfed conditions. Iranian Journal of Pulses Reserch, 5 (2): 9-18.
25. Harsinia, M. G., Habibib, H., Talaei, G. H. 2014. Study the effects of iron nano chelated fertilizers foliar application on yield and yield components of new line of wheat cold region of kermanshah provence. Agricultural Advances, 3(4): 95-102.
26. He, D. Y., Luo, S. Lu., M. Liu, Y., Song, L. 2018. Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks, TrAC Trends in Analytical Chemistry, 109, 163–172.
27. Hong, R., Pan, T., Qian, J. and Li, H. 2006. Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles. Chemical Engineering Journal, 119: 71-81.
28. Hu, J., Iia, W., Yu, X., Yan, CH. White, J., Liu, J., Shen, G., Tao, S., Wang, X. 2022. Carbon dots improve the nutritional quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by promoting photosynthesis and nutrient uptake. Environmental Science: Nano journal, 9 (5): 1651–1661
29. Huang, Q., Liu, Y., Zheng, L., Wu1, L., Zhou, Chen, J., Chen, W., and Zhao, H. 2019. Biocompatible iron(II)-doped carbon dots as T1-weighted magnetic resonance contrast agents and fluorescence imaging probes. Microchimica Acta, 7:767–783.
30. Joseph, T. and M. Morrison., 2006. Nanotechnology in agriculture and food. Institute of Nanotechnology. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 84: 1-13.
31. Kale, S. N., Mona, J., Dhobale, S., Thite, T., Laware, S.L. 2011. Intramolecular and intermolecular crosslinked polyvinyl alcohol–borate complexes for the sustained release of fertilizers and enzymes, Journal of Applied Polymer Science, 121: 2450-2457.
32. Khater, M. S. 2015. Magnetite- Nanoparticles Effects on Growth and essential oil of Peppermint. Current Science International, 4(2): 2077-4435.

33. Khodakovskaya, M. V., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, M., Dervishi, E., Mustafa, T., and Cernigla, C. E. 2012. Carbon Nanotubes as Plant Growth Regulators: Effects on Tomato Growth, Reproductive System, and Soil Microbial Community. *Small*, 9(1), 115–123.
34. Khodakovskaya, M., Kim, B. S., Kim, J. N., Alimohammadi, Dervishi, M. E., Mustafa, T., Cernigla, C. E. 2013. Carbon nanotubes as plant growth regulators: effects on tomato growth, reproductive system, and soil microbial. *Community. Small*, 9:115–123.
35. Lassalle, V., Ferreira, M. L. 2007. PLA Nano- and Microparticles for Drug Delivery: An Overview of the Methods of Preparation. *Macromol Biosci*, 7: 767-783.
36. Lateef, A., Nazir, R., Jamil, N., Alam, S., Shah, R., Naeem Khan. M., Saleem, M., and Rehman, S. 2019. Synthesis and characterization of environmental friendly corncob biochar based nano-composite. A potential slow release nano-fertilizer for sustainable agriculture. *Environ Nanotechnology, Monit Mang*, 11: 1532-2215.
37. Li, M., Zhang, P., Adeel, M., Guo, Z., Chetwynd, A.J., Ma, C., Rui, Y., 2021. Physiological impacts of zero valent iron, Fe₃O₄ and Fe₂O₃ nanoparticles in rice plants and their potential as Fe fertilizers. *Environmental Pollut*, 269, 116134.
38. Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42(3): 421-428.
39. Liu, X. M., Zhang, F. D., Feng, Z. B., Zhang, S.Q., He, X. S., Wang, R. F. and Wang, Y. J. 2005. Effects of nano-ferric oxide on the growth and nutrients absorption of peanut. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 11: 551-555.
40. Liu, Y., Shen, Y. T., Sun, L. T., Li, J. C., Liu, C., Ren, W. C., Li, F., Gao, L. B., Chen, J., Liu, F. C., Sun, Y. Y., Tang, N. J., Cheng, H. M., Du, Y. W. 2016. Elemental superdoping of graphene and carbon nanotubes. *Nature Communications*, 7: 1-9.
41. Lucena, J.J. 2006. Synthetic iron chelates to correct iron deficiency in plants. P 103-128, In: L.L. Barton and J. Abadía (eds.), *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*. Springer, Dordrecht.
42. Machado, J. R., Nakagwa, J., Rosolem, C. A. and Brinhol, I. 1990. *Fild crops Abstracts*. CABI Agriculture and Bioscience, 43(11).
43. Mahmoud, A. W. M., Ayad, A. A., Abdel-Aziz, H. S. M., Williams, L. L., El-Shazoly, R. M., Abdel-Wahab, A., Abdeldaym, E. A. 2022. Foliar Application of Different Iron Sources Improves Morpho-Physiological Traits and Nutritional Quality of Broad Bean Grown in Sandy Soil. *Plants*, 11, 2599.
44. Martinez-Fernandez, D., Komarek, M., 2016. Comparative effects of nanoscale zero-valent iron (nZVI) and Fe₂O₃ nanoparticles on root hydraulic conductivity of *Solanum lycopersicum* L. *Environmental and Experimental Botany*, 131, 128–136.
45. Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., Monshi, A. 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, J. 7(1), 36- 40.
46. Moosapoor, N.S., Sadeghi, M., and Bidarigh, S. 2013. Effect of bohr nanofertilizer and chelated iron on the yield of peanut in province guilan. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science*, 3: 45-62.
47. Olsen, S. R and L. E. Sommers. 1982. P. 403-430. In: A. Lpage (Ed.) *Methods of soil Analysis*, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties. American Society. Agronomy. Madison WI, USA.
48. Omid, H., Tahmasebi, Z., Naghdi Badi, H. A., Torabi, H., and Miransari, M. 2010. Fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L.), as affected by agronomical, genotypic and environmental parameters. *Comptes Rendus Biol*, 333: 248-254.

49. Pakkath, S., Chetty, S., Selvarasu, P., Murugan, A., Kumar, Y., Periyasamy, L., Santhakumar, M., Sadras, Sand Santhakumar, K2018Transition Metal Ion (Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , and Ni^{2+})-Doped Carbon Dots Synthesized via Microwave-Assisted Pyrolysis: A Potential Nanoprobe for Magneto-fluorescent Dual-Modality Bioimaging. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, (7): 2582-2596.
50. Peng, Z., Zeng, M., Wu, S., Yan, Z., Rui, J., Qiu, P. and Wang, X. 2022. Development of a pH-Responsive, SO_4^{2-} -loaded Fe and N co-doped carbon quantum dots-based fluorescent method for highly sensitive detection of glyphosate. *Analytica Chimica Acta*.
51. Pourgholam, M., Nemati, N., and Oveysi, M. 2013. Effect of zinc and iron under the influence of drought on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus L.*). *Annals of Biological Research*, 4(4):186-189.
52. Qu, D., Zheng, M., Zhang, L., Zhao, H., Xie, Z., Jing, X., Haddad, R. E., Fan, H., Sun, Z. 2013. Formation mechanism and optimization of highly luminescent N-doped graphene quantum dots. *Scientific reports*, 4 (1): 1-11.
53. Raiesi-Ardali, T., Ma'mani, L., Chorom, M., and Moezzi, A. 2022. Improved iron use efficiency in tomato using organically coated iron oxide nanoparticles as efficient bioavailable Fe sources. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture Agric*, 1-16.
54. Ramimoghadam, D., Hussein, M., and Taufiq-Yap, Y. 2012. The Effect of Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) And Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) on The Properties of ZnO Synthesized By Hydrothermal Method. *International Journal Of Molecular Sciences*, 13: 13275-13293.
55. Razmandeh, N., Zakernejad, S., Payandeh, Kh. 2020. Assess Effect of Vermicompost and Iron Nano Fertilizer on Morphological Traits and Chlorophyll Content of Zea mays L. *Journal of Crop Nutrition Science*, 6:77-87
56. Rico, C.M., Majumdar, S., Duarte-Gardea, M., Peralta-Videa, J.R., Gardea-Torresdey, J.L. 2011. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59 (8), 3485–3498.
57. Roosta, H. R., and Mohsenian, Y. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum L.*) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*, 146: 182-191.
58. Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., Hou, T., Zhu, S., 2016. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Science*, 7, 815.
59. Sabir, A., Yazara, K., Sabira, F., Karaa, Z., Atilla Yazicib, M. and Goksu, N. 2014. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*, 175: 1-8.
60. Saedpanah, P., Mohammadi, K., Fayaz, F. 2016. Agronomic traits of forage maize (*Zea mays L.*) in response to spraying of nanofertilizers, ascorbic and salicylic acid. *Journal of Research in Ecology*, 4 (2): 359-365.
61. Scott, N., and Chen, H. 2003. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems, A Report Submitted to Cooperative State Research, Education, and Extension Service the USDA. National Planning Workshop November 18-19, 2002 Washington, DC. Cornell University.
62. Shafiee-Masouleh, S. S., Hatamzadeh, A., Samizadeh, H. and Rad-Moghadam, K. 2014. Enlarging bulblet by magnetic and chelating structures of nano-chitosan as supplementary fertilizer in *Lilium*. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 55 (6): 437-444.
63. 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, e1. 1-5.

64. Sharafi, S., Tajbakhsh, M. Majidi, A. Poormirza, A. and Malakooti, M. J. 2000. Evaluation effect of Fe and Zn on yield, protein and nutrition balance at two corn cultivar. *Water and Soil*, 12(11):85-94.
65. Sheykhabglou, 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.
66. Soleimanzadeh, A. and Fekri, M. 2021. Effects of green iron nanoparticles on iron changes and phytoavailability in a calcareous soil. *Pedosphere*, 31(5), 761–770.
67. Sparks, D. L. 1996. *Methods of soil analysis*. Madison: SSSA, ASA Publishing. Takahashi, F., Mizoguchi, T., Yoshida, R., Ichimura, K. and Shinozaki, K. F. 2011. Calmodulin-dependent activation of MAP kinase for ROS homeostasis in Arabidopsis. *Molecular Cell*, 41:649–660.
68. Stafford, J. 2000. Implementing Precision Agriculture in the 21st Century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(3): 267-275.
69. Tadesse, A. Hago, M. RomaDevi, D. Basavaiah, K. and Belachew, N. 2020. Fluorescent- Nitrogen- Doped Carbon Quantum Dots Derived from Citrus Lemon Juice: Green Synthesis, Mercury(II) Ion Sensing, and Live Cell Imaging. *ACS Omega*, 5(8): 3889-3898.
70. Tan, T.L., Zulkifli, N.A., Zaman, A.S.K., Jusoh, M.B., Yaapar, M.N., Rashid, S.A. 2021. Impact of photoluminescent carbon quantum dots on photosynthesis efficiency of rice and corn crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162: 737–751.
71. Tomaszewska, M., Jarosiewicz, A. 2006. Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method. *Desalination*, 198: 346–352.
72. Tripathi, S., Sonkar, S. K., and Sarkar, S. 2011. Growth stimulation of gram (*Cicer arietinum*) plant by water soluble carbon nanotubes. *Nanoscale*, 3(3): 1176–1181.
73. Wang, H. Zhang, M., Song, Y., Li, H., Huang, H. Shao, M., Liu, Y., Kang, Z. 2018. Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, 136 (94): 1-34.
74. Wang, L., Li, W. Wu, B., Li, Z. P., and DWu, M. 2016. Facile synthesis of fluorescent graphene quantum dots from coffee grounds for bioimaging and sensing. *Chemical Engineering Journal*, 300:75–82.
75. Wang, X. and Cai. Q. S. 2010. Steel slag as an iron fertilizer for corn growth and soil. *Journal of Plant Physiology*, 132: 421-427.
76. Wang, Y., Wang, S., Xu, M., Xiao, L., Dai, Z., and Li, J. 2019. The impacts of γ -Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanoparticles on the physiology and fruit quality of muskmelon (*Cucumis melo*). *plants Environmental Pollution*, 249: 1011-1018
77. Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H.J., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W.A. 2004. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126: 12736–12737.
78. Zayed, B.A., Salem, A.K.M., El Sharkawy, H.M., 2011. Effect of Different Micronutrient Treatments on Rice (*Oriza sativa L.*) Growth and Yield under Saline Soil Conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7, 179–184.
79. Zhao, L. Y. Huang, A. S. Adeleye and A. A. Keller. 2017. Metabolomics Reveals Cu(OH)₂ Nanopesticide-Activated Anti-oxidative Pathways and Decreased Beneficial Antioxidants in Spinach Leaves *Environ. Journal of Materials Science and Technology*.
80. Zhu, Sh., Song, Y., Zhao, X., Shao, J., Zhang, J., Yang, B. 2015. The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer dots): Current state and future perspective. *Nano Research*, 8(2):355-81.