

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigating the Effect of Coated Nanoparticles (Silicon oxide) on Increasing Salinity Tolerance of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

Molahoseini¹, H., Feizian^{2*}, M., Mehdi Pour³, E. and Davazdah Emami⁴, S.

1. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2. Associate Professor, Soil Department, Agriculture Faculty, Lorestan University, Lorestan, Iran,

3. Assistant Professor, Chemistry Faculty, Lorestan University, Lorestan, Iran,

4. Associate Professor, Natural Resource Research Departments, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

*: Corresponding Author Email: : Feizian.m@lu.ac.ir

Received: 2024/08/03

Accepted: 2024/10/28

Introduction

Abiotic stresses pose serious risks for growth and production of crop in the world. Salinity is among the most important environmental stresses that makes limitations to agricultural production in arid and semi-arid regions. Twenty seven million hectares was affected from salinity in Iran. Salinity stress disrupts some plant processes by reducing the osmotic potential, and disrupting the absorption and transfer of certain essential nutrients such as calcium (Ca) and potassium(K). Moreover, direct toxic effects of ions such as sodium (Na) and chlorine (Cl) on cell membranes, as well as enzymes of the plant, disrupt some plant processes. Furthermore, the secondary aspect of all environmental stresses is production of reactive oxygen species (ROS) that makes oxidative damages. Effective strategies to reduce negative effects of salinity stress include the separate or combined use of saline soil amendment methods, cultivation of compatible plants with saline conditions such as medicinal plants, application of optimal levels of chemical fertilizers such as silicon (Si), use of plant growth regulating agents such as humic acid (HA) and salicylic acid (SA), use of nano-fertilizers to improve the nutrient utilization efficiency, and growth stimulants applying. Therefore current research was performed to investigate the effects of SiO₂ nanoparticles coated with humic acid (coHA-nSi) on yield, ion composition and salt tolerance of black cumin (*Nigella sativa* L.) under laboratory and greenhouse conditions in 2016-2017.

Material and Methods

The laboratory experiment was conducted to obtain the adsorption rate and maximum adsorption of HA on the nSi. Total carbon in coHS-nSi as an indicator of HA was determined by using Carbon Analyze equipment (Vario El, Elementar, Germany). The size of nSi was measured by Transmission Electron Microscopy (TEM-EM10C-100KV-Zeiss-Germany) before and after coating process. The greenhouse experiment was conducted to apperceive the effectiveness of coHS-nSi on the yield, ion composition, and the increase of salt tolerance of black cumin(*Nigella sativa* L.). The treatments were arranged in a split plot design based on Randomized Complete Block Design(RCBD) with four replications and two observations in each plot. The main factor was salinity (NaCl in irrigation water)at three levels including 2 as the control, 3.5 and 5 dS/m, which applied 20 days after transplanting. The subplot was concentration of coHS-nSi in irrigation water at four levels including 0, 0.25, 0.5 and 0.75 g/l,that applied at two growth stages including 15 days (p1) and 50 days (flowering stage) (p2) after planting. Plants were harvested at maturity stage of seeds. Seed yield and biomass dry weight, harvest index, 1000-seed weight, the number of mature capsules, and the number of seeds were calculated per square meter (number of plants/m²=50). RWC [21] and ion leakage (IL)[22] of black cumin were evaluated as physiological parameters (ten weeks after transplanting). All data was subjected to analysis of variance (ANOVA) by using MSTAT.C software. Duncan's new multiple range test (DNMRT) at 5% probability level was used for mean comparison. Also, the graphs were drawn by Excel.

Results and Discussion

The laboratory results showed that the carbon adsorption as an indicator of HA on nSi was increased from 7.6 to 111.9 mgC/g and reached to maximum at 1.6 g/l of HA. Also, the adsorption rate of HA on nSi illustrated that it increased exponentially and peaked at 120 hours. The diameter of nSi was about 20-30 nm and did not change significantly during the experiment. It was confirmed by micrograph made with Transmission Electron Microscopy (TEM-EM10C-100KV-Zeiss-Germany). The greenhouse results demonstrated that the seed yield and biomass dry weight harvest index, and number of capsules and seeds were affected by salinity significantly. These parameters were reduced at 5 dS/m. Furthermore, the application of 0.5 g/l coHA-nSi increased significantly the seed yield and biomass dry weight, harvest index, and number of capsules at all salinity levels.. The biomass dry weight and seed yield was increased by 20

Molahoseini *et al.*, Investigating the effect of coated nanoparticles...

and 30% at 0.5 g/l coHS-nSi treatment, respectively. The results illustrated that these parameters reached to maximum by application of 0.5 g/l coHS-nSi at 5 dS/m. The results of nutrient uptake by black cumin illustrated that the salinity affected the uptake of N, K, Ca, Mg, Fe and ratio of K/Na and Ca/Na while it was not affected S uptake. The application of coHS-nSi affected the uptake of N, K, Mg, Na, S and K/Na ratio at leaves, significantly. The uptake of N, K, Mg, Na, S and K/Na ratio increased by 20, 20, 10, 20, 26 and 16%, respectively at the 0.5 g/l compared to the control. The percentage of IL and RWC of black cumin leaves was influenced by salinity and coHS-nSi treatments. The lowest IL and the highest RWC of leaves were found at 0.5 g/l coHS-nSi treatment at all salinity levels.

Conclusions:

The covering of nSi with HA in the presence of SA (coHS-nSi) investigated in laboratory conditions based on the carbon adsorption on nSi. The adsorption rate increased with increment of HA concentration and contact time. The outcome indicated that the maximum adsorption of carbon with nSi was 111.9 mgC/g. The diameter of nSi did not change significantly during the experiment according to micrograph made with Transmission Electron Microscopy. The results illustrated that application of 0.5 g / L coHS-nSi significantly increased biomass dry weight, grain yield, harvest index and the number of mature capsule in black cumin at salinity of 5 dS/m. Moreover, the application of coated nanoparticles not only increases the strength of cell wall but also increased uptake of nitrogen, potassium and magnesium. Therefore, it is concluded that coating of nSi with HA in the presence of SA(coHS-nSi), make a reduction to the amount and frequency of its usage and increase the salinity tolerance by improving the quantity and quality of black cumin.

Keywords: Humic acid, Medicinal plants, Coated nanoparticles,

Citations: Molahoseini, H., Feizian, M., Mehdi Pour, E. and Davazdah Emami, S. (2025). Investigating the Effect of Coated Nanoparticles (Silicon oxide) on Increasing Salinity Tolerance of Black Cumin (*Nigella sativa* L.). *Plant Production Technology*, 24(2), 101-113. <https://doi.org/10.22084/ppt.2024.19767.1943>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

بررسی تأثیر نانواکسید سیلیسیوم پوشش دار بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری سیاه‌دانه

Investigating the Effect of Coated Nanoparticles (Silicon oxide) on Increasing Salinity Tolerance of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

حمید ملاحسینی^۱، محمد فیضیان^{۲*}، ابراهیم مهدی‌پور^۳ و سعید دوازده امامی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

(مقاله پژوهشی)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانواکسید سیلیسیوم پوشش داده شده با اسیدهیومیک (نانوذره پوشش‌دار) بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری گیاه سیاه‌دانه، این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. جذب کربن به‌عنوان شاخص اسید هیومیک روی نانوذره در شرایط آزمایشگاهی و اثر بخشی نانوذره پوشش دار در قالب طرح اسپیلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید. تیمار شوری در سه سطح شامل ۰، ۲/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر با آب آبیاری و تیمار نانوذره پوشش دار در چهار سطح شامل صفر، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر در دو مرحله چند برگی (۱۵ روز پس از کاشت نشاء) و گل‌دهی (۵۰ روز پس از کاشت نشاء) در آب آبیاری اعمال شدند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مقدار جذب کربن، با افزایش زمان تماس و غلظت اسید هیومیک افزایش و از ۷/۶ به ۱۱۱/۹ میلی‌گرم در گرم رسید. ارزیابی نتایج گلخانه‌ای نشان داد که عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، تعداد کپسول بالغ و دانه با افزایش شوری کاهش یافت ولی کاربرد نانوذره پوشش‌دار در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر در کلیه سطوح شوری باعث افزایش معنی‌دار صفات عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، تعداد کپسول بالغ، جذب عناصر غذایی و رطوبت نسبی برگ و کاهش معنی‌دار نشت یونی گردید. با توجه به نتایج با کاربرد نانوذره پوشش‌دار می‌توان تحمل به شوری و صفات کمی و کیفی سیاه‌دانه را در شرایط شور افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، گیاهان دارویی، نانوذره پوشش‌دار

ارجاع به مقاله: ملاحسینی، ح، فیضیان، م، مهدی‌پور، ا. و دوازده امامی، س (۱۴۰۳). بررسی تأثیر نانواکسید سیلیسیوم پوشش‌دار بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری سیاه‌دانه، *مجله فناوری تولیدات گیاهی*، ۲۴(۲)، ۱۰۱-۱۱۳. <https://doi.org/10.22084/ppt.2024.19767.1943>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در

سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا الکترونیکی: ۰۶۵۱-۲۴۷۶

شاپا چاپی: ۶۳۲۱-۲۴۷۶

۱. استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم خاک و دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳. استادیار، دانشکده شیمی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۴. دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۱. مقدمه

تنش های غیرزنده جزء فاکتورهای اصلی کاهش رشد و تولید در سرتاسر جهان هستند و شوری یکی از مهم ترین تنش های محیطی محدودکننده تولید محصول در نواحی خشک و نیمه خشک جهان می باشد (Sairam and Tyagi, 2004). ایران با ۲۷ میلیون هکتار اراضی شور در مقام اول کشورهای آسیا قرار دارد و از نظر اقلیمی در زمره مناطق خشک و نیمه خشک با ویژگی هایی نظیر تبخیر زیاد و بارش های جوی اندک و پراکنده می باشد (Pirasteh et al., 2015). تنش شوری از طریق کاهش پتانسیل اسمزی، اختلال در جذب و انتقال برخی عناصر غذایی ضروری نظیر کلسیم و پتاسیم، اثرات سمی مستقیم یون هایی مانند سدیم و کلر بر غشاهای سلولی و اندامک ها و همچنین سیستم های آنزیمی گیاه، موجب اختلال در برخی فرآیندهای گیاه می شود (Kaya et al., 2006). از طرفی دیگر اثرات ثانویه تمام تنش های محیطی، تولید گونه های فعال اکسیژن و به دنبال آن آسیب های اکسیداتیو می باشد (Said et al., 2011). از جمله مهم ترین راهکارهای مؤثر در کاهش تنش شوری استفاده مجزا یا تلفیقی از روش های اصلاح خاک های شور، کشت گیاهان سازگار با شرایط شور نظیر گیاهان دارویی، کاربرد سطوح بهینه کودهای شیمیایی نظیر اسید هیومیک و سیلیسیوم، استفاده از مواد تنظیم کننده رشد گیاهی نظیر سالیسیلیک اسید و استفاده از فن آوری نانو کودها در بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و محرک های رشد می باشد. سیلیسیوم و نانو اکسید سیلیسیوم تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می دهد. اثر تعدیل کننده سیلیسیوم بر شوری در لوبیا، برنج، کهور، گندم، جو، خیار و گوجه فرنگی مورد آزمایش قرار گرفته است (Naseri et al., 2011). اسید سالیسیلیک یک مولکول پیام رسان در گیاهان است و باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش های مختلف زیستی می شود (Horvath et al., 2007). همچنین نقش مهمی در تنظیم برخی از فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی گیاهان نظیر رشد و توسعه، جذب یون ها، انتقال و نفوذپذیری غشا دارد (Simaei et al., 2012). معمولاً کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث به حداقل رساندن جذب سدیم و افزایش غلظت بافتی پتاسیم، کلسیم و منیزیم (Gunes et al., 2005) آهن، منگنز، مس و فسفر (El-Tayeb, 2005) ازت و

گوگرد (Nazar et al., 2011) در بسیاری از گونه های گیاهی می شود. اسید سالیسیلیک تأثیرات متفاوتی بر سازگاری با تنش و بهبود آسیب های گیاهان دارد که به گونه های گیاهی، غلظت، روش و زمان استفاده از آن بستگی دارد (Metwally et al., 2003). گیاهان در پاسخ به شوری، پروتئین هایی تولید می کنند که سنتز بسیاری از این پروتئین ها به وسیله سالیسیلیک اسید تحریک می شود هم چنین سالیسیلیک اسید به عنوان یک آنتی اکسیدان غیر آنزیمی موجب کاهش گونه های فعال اکسیژن می گردد (Pirasteh et al., 2012). اسید هیومیک در خاک شور از طریق تقویت رشد میکروبی، بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی و فعالیت آنزیم باعث بهبود تولید محصولات کشاورزی می شود (Khattak et al., 2013; Shaaban et al., 2013). سیاه دانه با نام علمی *Nigella sativa L.* از تیره آلاله است که به طور طبیعی و خودرو در نقاط مختلف ایران رشد می کند. این گیاه بومی غرب آسیا بوده و در مصر، هند، ایران، عربستان، ترکیه و پاکستان کشت می شود (Hyam and Pankhurst, 1995). در ایران این گیاه به ویژه در اراک و اصفهان به فراوانی کشت می گردد (Davazdah Imami & Majnoon, 2014). با پوشش نانوذرات اکسید سیلیسیوم به وسیله اسید هیومیک، امکان تجمع توانایی محرک های زیستی و عناصر معدنی در افزایش تحمل به شوری گیاهان و همچنین کاهش اثرات مضر ناشی از مصرف اضافی آن ها فراهم می شود. لذا جهت درک بهتر اثر توأم نانوذرات با مواد آلی طبیعی مطالعه حاضر با هدف بررسی چگونگی تأثیر نانو اکسید سیلیسیوم پوشش داده شده با اسید هیومیک بر عملکرد و افزایش تحمل به شوری گیاه سیاه دانه انجام شد.

۲. مواد و روش ها

این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی جهت تهیه نانو اکسید سیلیسیوم پوشیده شده با اسید هیومیک (نانوذره پوشش دار) و در شرایط گلخانه ای جهت آزمون اثربخشی نانوذره پوشش دار بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری گیاه سیاه دانه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در محل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان انجام شد.

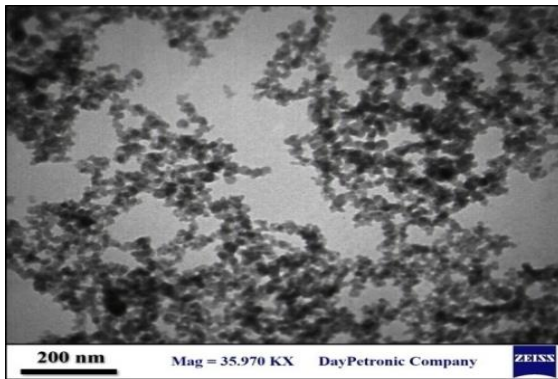


Fig. 1: Particle size of silicon oxide nanoparticles before coating

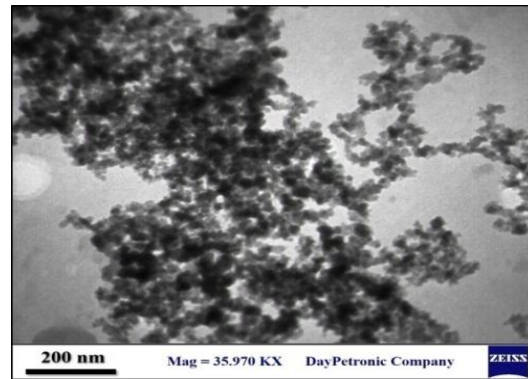


Fig. 2: The size of nano silicon oxide particles after coating

شاخص اسید هیومیک با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری کربن (CHNS) تعیین گردید. هم‌چنین مطابق اشکال ۱ و ۲ اندازه نانو اکسید سیلیسیوم در قبل و بعد از پوشش با استفاده از تکنیک آزمایشگاهی میکروسکوپ الکترونی عبوری TEM^۳ بررسی شد (Liang et al., 2011).

۲-۲. شرایط گلخانه‌ای

اثر بخشی نانو اکسید سیلیسیوم پوشش‌دار روی عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری سیاه دانه در شرایط گلخانه‌ای (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد در روز) بررسی شد. ابتدا بذرهای گیاه سیاه‌دانه با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت پنج تا ۱۰ دقیقه ضدعفونی شده و سه تا پنج بار با آب مقطر شسته شدند. در نیمه دوم بهمن‌ماه سال ۱۳۹۵ بذرهای ضدعفونی شده درون سینی‌های نشا حاوی پیت ماس در گلخانه کشت گردیدند. تعداد پنج نشاء در هر گلدان پلاستیکی استوانه‌ای (قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) حاوی مخلوط مساوی پرلیت پودری با پرلیت یک تا سه میلی‌متری در نیمه دوم اسفندماه سال ۱۳۹۵ کشت و پس از استقرار نشاها تعداد دو نشا در هر گلدان حفظ و مابقی حذف شدند. تعداد ۹۶ گلدان (دو گلدان در هر کرت × سه تیمار شوری × چهار تیمار نانوذره پوشش‌دار × چهار تکرار) در قالب طرح اسپیلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار مرتب شدند. فاکتور اصلی شوری آب آبیاری با نمک کلرید سدیم در سه سطح شوری شامل دو به‌عنوان شاهد

۱-۲. شرایط آزمایشگاهی

ابتدا نانو اکسید سیلیسیوم با اندازه ۲۰ تا ۳۰ نانومتر از شرکت یو اس ریسرچ^۱، اسید هیومیک از شرکت سیگما آلدریج^۲، اسید سالیسیلیک و نیترات سدیم از شرکت مرک تهیه گردید. سرعت و حداکثر میزان جذب اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیوم در شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

جهت تعیین سرعت جذب اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیوم ابتدا یک سوسپانسیون شامل غلظت‌های یک گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیوم، ۱/۶ گرم در لیتر اسید هیومیک و ۸/۵ گرم در لیتر نیترات سدیم تهیه گردید. اسیدیته سوسپانسیون با استفاده از اسید سالیسیلیک روی چهار تنظیم شد. سپس سوسپانسیون در زمان‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت شیکر و نمونه‌گیری شدند.

جهت تعیین حداکثر میزان جذب اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیوم، ابتدا ۱۰ سوسپانسیون شامل غلظت‌های ۴۰، ۱۵۰، ۲۵۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، یک گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیوم و ۸/۵ گرم در لیتر نیترات سدیم تهیه گردید. اسیدیته سوسپانسیون‌ها با استفاده از اسید سالیسیلیک روی چهار تنظیم شدند. سپس سوسپانسیون‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت شیکر و نمونه‌گیری شدند.

نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و مواد رسوب‌کرده پس از شستشو با آب مقطر، خشک و آسیاب شدند. مقدار کربن روی نانو اکسید سیلیسیوم به‌عنوان

(S₁)، ۳/۵ (S₂) و پنج دسی زیمنس بر متر (S₃) همراه با آب آبیاری از ۲۰ روز پس از کاشت نشاء استفاده شدند. فاکتور فرعی غلظت نانو اکسید سیلیسیوم پوشش دار در چهار سطح شامل ۰ (N₁)، ۰/۲۵ (N₂)، ۰/۵ (N₃) و ۰/۷۵ (N₄) گرم در لیتر با کاربرد در آب آبیاری در دو مرحله چند برگی (۱۵ روز پس از کاشت نشاء) و گل دهی (۵۰ روز پس از کاشت نشاء) اعمال شدند. به منظور جلوگیری از تجمع املاح در گلدانها، شوری آب زهکش گلدانها اندازه گیری و با شوری آب آبیاری مقایسه شدند. آبیاری به صورت روزانه و به روش دستی و مقدار آن از ابتدا تا انتهای دوره به ترتیب بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی لیتر در روز بر اساس کاهش وزن گلدان منتخب (تفاضل وزن گلدان حاوی بستر همراه با دو بوته در حالت پس از آبیاری در روز اول و قبل از آبیاری روز دوم) انجام گردید. ۱۲۰ روز پس از تغذیه بوتهها با استفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) در طی رشد بهاره و ظهور ۸۰ درصد علائم رسیدگی سیاه دانه شامل زرد شدن، خشک شدن بوتهها، ریزش برگها، کرمی رنگ شدن کپسول و سیاه و سفت شدن بذور در کپسول، بوتهها برداشت و صفات اندازه گیری شدند. صفات عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد کپسول بالغ و تعداد دانه در بوته و مترمربع (باتوجه به تعداد دو بوته در هر گلدان، قرار گرفتن ۲۵ گلدان در هر مترمربع، تراکم بوته در مترمربع ۵۰ بوته)، محتوای آب نسبی برگ (Mishra and Choudhuri, 1999) و نشت یونی (Kaya et al., 2002) اندازه گیری شد. محتوای آب نسبی برگ از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$RWC = \left(\frac{\text{وزن برگ خشک شده در آون} - \text{وزن برگ تر}}{\text{وزن برگ خشک شده در آون} - \text{آماس برگ}} \right) \times 100 \quad (1)$$

نشت یونی مطابق رابطه ۲ تعیین گردید.

$$EL = (EC1 / EC2) \times 100 \quad (2)$$

به منظور تعیین تأثیر تیمارها در تحمل به شوری، در مرحله رسیدن دانه نمونه های برگی تهیه و مقدار جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس، روی، گوگرد و سدیم اندازه گیری شدند (باتوجه به نقش مشابه سدیم و کلر در تنش اسمزی و سمیت یونی و امکان ارزیابی تحمل به شوری با استفاده از سدیم، مقدار سدیم اندازه گیری شد و کلر اندازه گیری نشد). تجزیه و تحلیل کلیه دادهها و مقایسه

میانگین تیمارها با استفاده از نرم افزار ام اس تات سی^۱ و بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۳. نتایج

میزان پوشش اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیوم بر اساس مقدار جذب کربن روی نانو ذره بررسی و نتیجه شد که با افزایش غلظت اسید هیومیک در تعادل با نانو اکسید سیلیسیوم، میزان جذب کربن از ۷/۶ به ۱۱۱/۹ میلی گرم در گرم افزایش یافت. بررسی روند جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیوم در شکل ۳ نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک در تعادل با نانو اکسید سیلیسیوم، مقدار جذب کربن به صورت نمایی افزایش و حداکثر جذب آن در غلظت تعادل ۱/۶ گرم در لیتر اسید هیومیک بود. همچنین بررسی روند سرعت جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیوم در شکل ۴ نشان داد که سرعت جذب به طور نمایی با افزایش زمان تعادل افزایش یافت و حداکثر آن در زمان ۱۲۰ ساعت بود. که با نتایج سایر محققین مبنی بر حداکثر مقدار و سرعت جذب مواد هیومیک روی نانو اکسیدها به ترتیب در غلظت تعادل ۱/۶ گرم در لیتر و زمان تعادل ۱۲۰ ساعت هم خوانی دارد (Liang et al., 2011). همچنین بر اساس نتایج میکروسکوپ الکترونی عبوری میانگین قطر ذرات نانو اکسید سیلیسیوم در قبل و بعد از پوشش اختلاف معنی داری نداشت (اشکال ۱ و ۲).

۳-۱. عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس دادهها مطابق جدول ۱ نشان داد که تغییرات عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی در بین تیمارهای شوری در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود و صفات مذکور مطابق نتایج جدول ۲ در شوری پنج دسی زیمنس بر متر، به ترتیب ۲۸/۹ و ۲۲/۲ درصد کاهش یافت. همچنین تغییرات صفات مذکور با کاربرد تیمارهای نانو ذره پوشش دار در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند و تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانو ذره پوشش دار به ترتیب با ۳۰ و ۲۰ درصد افزایش در عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی، بیشترین

مربوط به تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش‌دار در تیمار شاهد بود (شکل ۷).

۳-۳. تعداد کپسول بالغ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داد که تأثیر شوری بر کاهش تعداد کپسول بالغ و دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و بیش‌ترین کاهش به ترتیب معادل ۲۹/۳ و ۲۳/۴ درصد مربوط به شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲). تأثیر کاربرد نانوذره پوشش‌دار روی صفات مذکور مثبت و معنی‌دار بود و در تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش‌دار صفات مذکور به ترتیب با ۴۰ و ۳۰ درصد افزایش بیش‌ترین تأثیر را داشتند (جدول ۳). تأثیر توأم شوری و نانوذره پوشش‌دار روی تعداد کپسول بالغ در مترمربع مثبت و معنی‌دار بود به طوری که تعداد کپسول بالغ در مترمربع با کاربرد تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش‌دار در کلیه تیمارهای شوری افزایش خطی داشت و در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر (با ۱۲۰۶ کپسول بالغ، اختلاف معنی‌داری با شوری شاهد در تیمار بدون نانوذره پوشش‌دار نداشت (شکل ۸).

تأثیر را داشت (جدول ۳). عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی با کاربرد تیمارهای نانوذره پوشش‌دار در شوری‌های مختلف افزایش معنی‌دار خطی داشت به طوری که صفات مذکور در تیمار شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش‌دار با دو و ۱۰/۴ گرم در بوته دارای بیش‌ترین مقدار بودند و اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد (شوری شاهد و بدون کاربرد نانوذره پوشش‌دار) نداشتند (شکل‌های ۵ و ۶).

۳-۲. شاخص برداشت

تغییرات شاخص برداشت مطابق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱، در بین تیمارهای شوری معنی‌دار بود و در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر نسبت به شاهد ۲۹/۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). از طرفی صفت مذکور نسبت به کاربرد نانوذره پوشش‌دار پاسخ مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۳). از طرفی بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت معادل ۱۹/۵ درصد

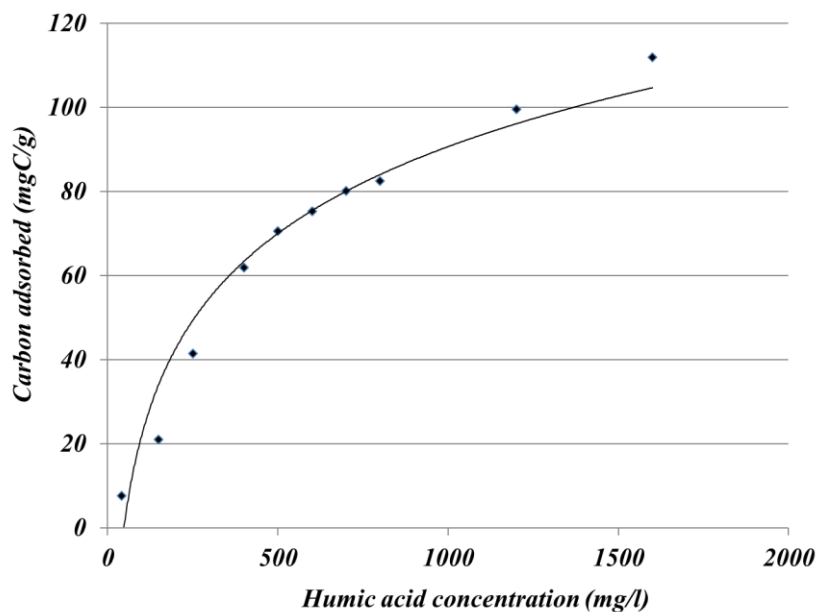


Fig. 3: The amount of carbon adsorption on SiO₂ nanoparticles

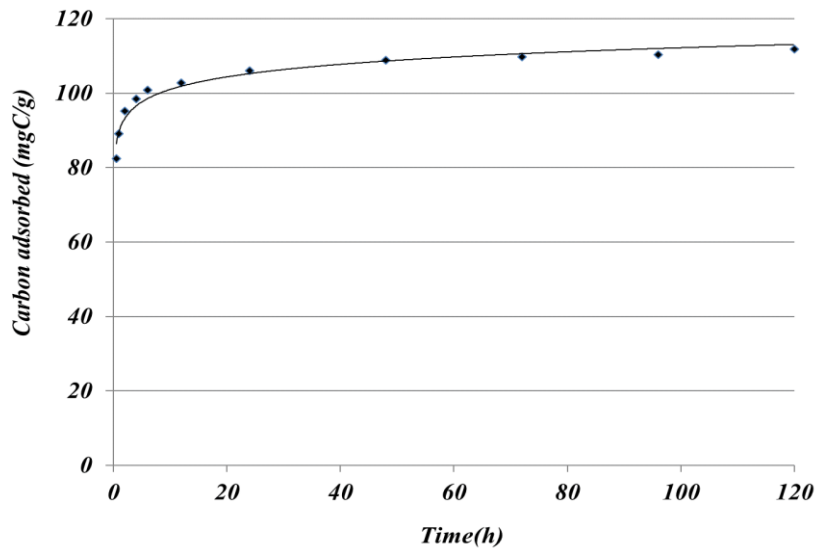


Fig. 4: Adsorption rate of carbon on SiO₂ nanoparticles

Table 1: Variance analysis of salinity and silicon nanooxide coated with humic acid on some traits of black seed (*Nigella sativa* L.)

Source of variance	df	Seed yield	Biomass dry weight	1000-seed weight	Harvest index	Mature capsule	Seed number
Replication	3	49.9	1.94	0.066	8.2	17.8	2092.2
Salinity	2	6504.4**	26.9**	0.121 ^{ns}	24.2*	370.8**	450116.1**
Error (a)	6	99.9	0.8	0.025	4.3	10.5	13612.4
coHS-nSi	3	1516.5**	10.1**	0.004 ^{ns}	18.6**	104.1**	142729.8**
Salinity× coHS-nSi	6	249*	2.1**	0.055 ^{ns}	15.8**	14.7*	21302.4 ^{ns}
Error (b)	27	80.4	0.6	0.025	3.9	5.9	10940.9
C.V.(%)		9.3	7.4	7.8	10.3	10.9	10.9

ns, * and ** are respectively non-significant, significant at the five percent, significant at the one percent level

Table 2: Comparison of average salinity levels on some characteristics of black beans (*Nigella sativa* L.)

Salinity (dS/m)	Seed yield (g/plant)	Biomass dry weight (g/plant)	1000-seed weight (g)	Harvest index (%)	Mature capsule (No./m ²)	Seed number (No./ m ²)
Control	2.4a	11.6a	2.08a	20.4a	1401a	1145a
3.5	1.8b	10b	2.06a	18b	1018b	862.3b
5	1.7b	9c	1.9b	18.7ab	990.6b	877.1b

The averages with common letters have no significant difference at the five percent level

Table 3: Comparison of the average effect of silicon nanooxide coated with humic acid on some characteristics of black seed (*Nigella sativa* L.)

coHS-nSi (g/l)	Seed yield (g/plant)	Biomass dry weight (g/plant)	1000-seed weight (g)	Harvest index (%)	Mature capsule (No./m ²)	Seed number (No./ m ²)
Control	1.7c	9.1c	2.03a	18.8b	945.8d	841c
0.25	1.8c	9.8b	2.03a	18.7b	1078c	915.9bc
0.5	2.2a	10.8a	2.03a	20.8a	1323a	1096a
0.75	2b	11.1a	2a	17.9b	1199b	992.9b

The averages with common letters have no significant difference at the five percent level

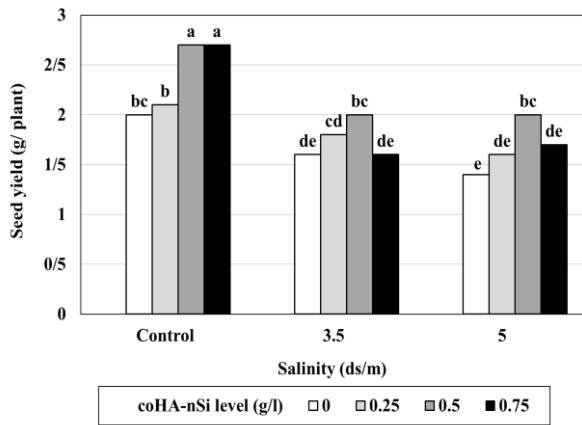


Fig. 5: Seed yield of *Nigella sativa* L. at different levels of SiO₂ nanoparticles coated with humic acid under salinity treatment

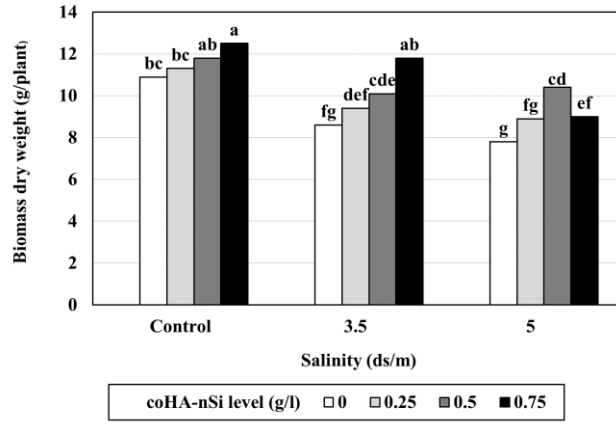


Fig. 6: Biomass dry weight of *Nigella sativa* L. at different levels of SiO₂ nanoparticles coated with humic acid under salinity treatment

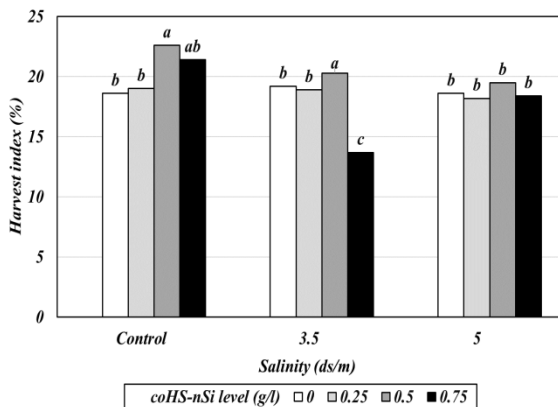


Fig. 7: Harvest index of *Nigella sativa* L. at different levels of SiO₂ nanoparticles coated with humic acid under salinity treatment

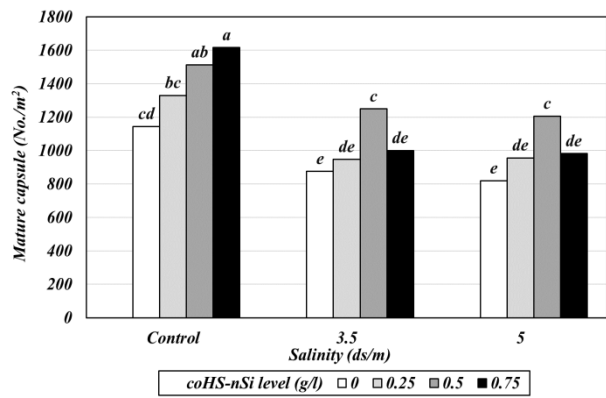


Fig. 8: Number of mature capsule of *Nigella sativa* L. at different levels of SiO₂ nanoparticles coated with humic acid under salinity treatment

گوگرد و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب ۲۰، ۲۰، ۱۰، ۲۰، ۲۶ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشتند (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارهای فوق فقط روی میزان جذب سدیم در اندام هوایی معنی دار بود.

۳-۵. نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ

درصد نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ سیاه دانه مطابق شکل های ۹ و ۱۰ تحت تأثیر تیمارهای شوری و نانوذره پوشش دار قرار گرفتند به طوری که صفات مذکور در تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش دار در کلیه سطوح شوری به ترتیب دارای کاهش و افزایش قابل توجهی بودند.

۳-۴. جذب عناصر معدنی

میزان جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، آهن، نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در اندام هوایی تحت تأثیر شوری قرار گرفتند. به طوری که در تیمار شوری میزان جذب عناصر مذکور به ترتیب ۳۸۰/۷، ۹۵۲/۶، ۱۳۵، ۵۵/۸، ۶۸/۱ و دو میلی گرم در بوته و نسبت های فوق به ترتیب ۱۶/۶ و ۲/۲ بیشترین و در تیمار شوری پنج دسی زیمنس بر متر کمترین بودند. مقایسه بین سطوح مختلف نانوذره پوشش دار نشان داد که کاربرد این ترکیب تأثیر معنی داری در افزایش میزان جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، گوگرد و نسبت پتاسیم به سدیم در اندام هوایی داشت به طوری که در تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش دار میزان جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم،

Table 4: Mean comparison of SiO₂-nanoparticles coated with humic acid on for uptake of nutrient elements in black cumin (*Nigella sativa* L.)

coHS-nSi (g/l)	Uptake (mg/plant)								
	N	K	Ca	Mg	Na	Fe	S	K/Na	Ca/Na
Control	327.1a	741.6b	108.3a	41.1ab	80.9c	1.3a	48.9b	10.8ab	1.5a
0.25	373.9a	759.7b	104.9a	35.3b	88.7bc	1.6a	59.5ab	9.5ab	1.4a
0.5	385.6a	910.9a	118.2a	46.2a	97.9ab	1.6a	61.9ab	12.5a	1.5a
0.75	394.3a	818.9ab	108.2a	46.7a	111.9a	1.6a	73a	8.3b	1.5a

The averages with common letters have no significant difference at the five percent level

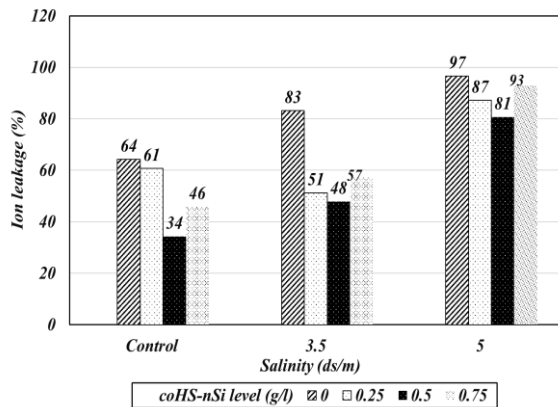


Fig. 9: Ionleakage (IL) of *Nigella sativa* L. at different levels of SiO₂-nanoparticles coated with humic acid under salinity treatment

The averages with common letters have no significant difference at the five percent level

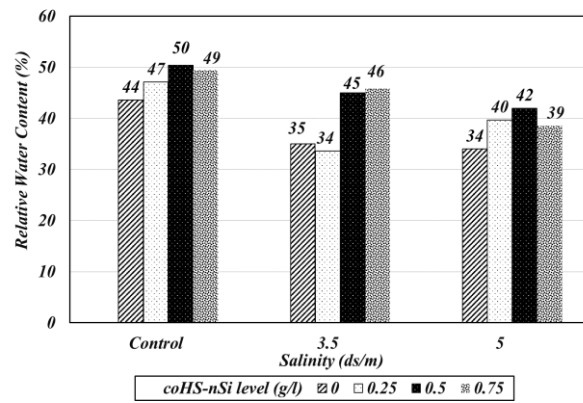


Fig. 10: Relative water content (RWC) of *Nigella sativa* L. at different levelsof SiO₂-nanoparticles coatedwith humic acid under salinity treatment

به ترتیب به میزان ۴۰، ۳۰، ۱۰ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشتند. از طرفی جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، گوگرد و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب به میزان ۲۰، ۲۰، ۱۰، ۲۰، ۲۶ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافتند ولی جذب کلسیم و نسبت کلسیم به سدیم تغییر معنی‌داری نداشت. هم‌چنین نشت یونی و محتوای نسبی آب به ترتیب ۱۷ درصد کاهش و ۲۰ درصد افزایش داشتند.

نتایج مشابهی با کاربرد توام اسید سالیسیلیک و سیلیسیوم باعث افزایش رشد دانه ماش و تولید دانه های بزرگ تر در سطوح مختلف تنش شده‌است (Lotfi et al., 2018). اثر مفید اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه ممکن است به دلیل جابه‌جایی فتواسیمیلانتهای بیشتر به دانه‌ها در طی پر شدن دانه باشد. همچنین در تحقیقات مختلف نشان داده شده‌است که سیلیسیوم در مقادیر کم میتواند تأثیرات قابل توجهی در خصوصیات مختلف گیاهان از جمله عملکرد خیار داشته باشد (Shokri et al., 2022). در مطالعات مختلف گزارش شده‌است که مصرف

۴. بحث

نتایج آزمایش اثربخشی نانواکسید سیلیسیوم پوشیده با اسید هیومیک در کاهش تنش شوری گیاه سیاهدانه نشان داد که شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش معنی‌دار صفات عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت، تعداد کپسول بالغ و دانه به ترتیب به میزان ۲۸/۹، ۲۲/۲، ۸/۵، ۲۹/۳ و ۲۳/۴ درصد گردید. هم‌چنین باعث کاهش جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن به ترتیب به میزان ۲۶، ۲۸، ۳۳، ۴۱ و ۴۰ درصد، نسبت‌های پتاسیم و کلسیم به سدیم به‌طور مجزا هرکدام به میزان ۶۴ درصد و رطوبت نسبی برگ به میزان ۲۱ درصد شد ولی باعث افزایش جذب سدیم و نشت یونی به ترتیب به میزان ۷۰ و ۵۰ درصد گردید.

نانوذره پوشش‌دار در کلیه سطوح شوری باعث افزایش برخی صفات عملکرد و اجزا آن در گیاه سیاهدانه گردید خصوصاً با کاربرد غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش‌دار در شوری پنج دسی‌زیمنس بر متر، صفات عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت و تعداد کپسول بالغ

گرم در لیتر اسید سالیسیلیک نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش معنی داری در عملکرد و اجزا آن در گیاه توت فرنگی شده است (Aghaeifard et al., 2015). کاربرد اسید هیومیک با غلظت یک گرم در لیتر در آب آبیاری یا محلول پاشی در گلخانه یا فضای باز باعث افزایش معنی دار تعداد غلاف و عملکرد کل هر بوته در گیاه نخود فرنگی گردیده است (Forgac and Czimbalmos, 2011). محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۲ گرم در لیتر و اسید هیومیک با غلظت یک گرم در لیتر در طی سه نوبت به ترتیب به فاصله ۱۰ و ۷ روز باعث افزایش خصوصیات کمی و کیفی نخود شده است (Gad El- Hak et al., 2012). نتایج محلول پاشی گیاه ریحان با نانو اکسید سیلیسیوم در غلظت یک گرم در لیتر در سه سطح شوری یک، سه و شش دسی زیمنس بر متر نشان داد که نانو اکسید سیلیسیوم باعث افزایش معنی دار وزن تر و خشک ساقه در کلیه سطوح شوری گردیده است (Kalteh et al., 2014).

۵. نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که سرعت جذب و مقدار جذب عنصر کربن به عنوان شاخص اسید هیومیک روی نانوذره، با افزایش زمان تماس و غلظت اسید هیومیک افزایش یافت به طوری که حداکثر جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیوم برابر با ۱۱۱/۹ میلی گرم در گرم بود. قطر نانو اکسید سیلیسیوم بر اساس میکروگراف میکروسکوپ الکترونی در قبل و بعد از پوشش تغییر نداشت. نتایج کاربرد نانو اکسید سیلیسیوم پوشیده شده با اسید هیومیک در گیاه سیاه دانه تحت تنش شوری نشان داد که کاربرد غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانوذره پوشش دار در تیمار شوری پنج دسی زیمنس بر متر باعث افزایش معنی دار صفات عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی، شاخص برداشت و تعداد کپسول بالغ شد به طوری که صفات مذکور اختلاف معنی داری با تیمار شاهد شوری و بدون کاربرد نانوذره پوشش دار نداشتند علاوه بر این، استفاده از نانوذره پوشش دار باعث افزایش جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم و منیزیم و همچنین افزایش استحکام دیواره سلولی باعث کاهش نشت یونی و افزایش رطوبت نسبی برگ گردید. بدین ترتیب با پوشش نانو اکسید سیلیسیوم توسط اسید هیومیک و استفاده از غلظت ۰/۵ تا ۰/۷۵ گرم در لیتر آن در طی دو نوبت چند برگی (۱۵

اسید سالیسیلیک تا 855 پی پی ام منجر به افزایش قابل توجه عملکرد ذرت گردیده است (Raghara and Mousavi, 2018). همچنین در آزمایشی محققان عملکرد و کیفیت کاهو (*Lactuca sativa L.*) را در شرایط کاربرد اسید سالیسیلیک و سیلیسیوم گزارش دادند (Barros et al., 2018). زمانی که سیلیسیوم در زیر کوتیکول برگ تجزیه می گردد یک سد دو لایه را ایجاد می کند که از دست رفتن آب ممانعت می کند (Rea et al., 2022). در پژوهشی گزارش شد که کاربرد اسید سالیسیلیک به همراه سیلیسیوم جذب سیلیس توسط گیاه را افزایش داد. البته قابل ذکر است افزایش سرعت فتوسنتز پس از کاربرد اسید سالیسیلیک در نتیجه افزایش جذب دی اکسید کربن و باز شدن روزنه است زیرا اسید سالیسیلیک برعکس آبسازیک اسید قادر به باز کردن روزنه ها می شود و به طور موثر، مهار بیوستز اتیلن را سبب شود. تجمع سیلیسیوم باز بودن روزنه ها و در نتیجه دریافت بیشتر دی اکسید کربن را تداوم و در افزایش عملکرد موثر است (Barros et al., 2018).

نتایج مشابهی مبنی بر کاهش معنی دار عملکرد و جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۰، ۴۵ و ۵۲ درصد نسبت به شاهد در تیمار ۶/۳ دسی زیمنس بر متر در دانه سیاه دانه گزارش شده است (Khalid, 2015). از طرفی نتایج مشابهی در خصوص اثرهای مجزا و مشترک نانو اکسید سیلیسیوم، اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک روی افزایش عملکرد و اجزا آن در گیاهان مختلف گزارش شده است. محلول پاشی گیاه ریحان با غلظت یک گرم در لیتر نانو سیلیسیوم باعث افزایش معنی دار وزن تر و خشک ساقه شده است (Kalteh et al., 2014). وزن تر و خشک گیاه گوجه فرنگی گیلاسی با مصرف مداوم نانو اکسید سیلیسیوم در محلول غذایی با غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب افزایش معنی دار داشته اند (Haghighia and Pessaraki, 2013). اختلاف عملکرد دانه سیاه دانه بین سطوح مختلف اسید سالیسیلیک معنی دار بود، به طوری که میزان عملکرد دانه در تیمار ۷۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک ۱۳ درصد بالاتر از تیمار صفر بوده است (Rezaei & Pirzad, 2014). کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود کمی میوه نظیر وزن یک میوه و عملکرد میوه کیوی گردیده است (Mahmoudi et al., 2013). محلول پاشی غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک و ۰/۳

کیفی سیاه دانه در شرایط بدون تنش و با تنش شوری را افزایش داد.

روز پس از کاشت نشاء) و گل‌دهی (۵۰ روز پس از کاشت نشاء) می‌توان از نظر اقتصادی میزان و دفعات مصرف مواد مذکور را کاهش و همچنین تحمل به شوری و صفات کمی و

۶. منابع

- Aghaeifard, F., Babalar, M., Fallahi, E. and Ahmadi, A. (2015). Influence of humic acid and salicylic acid on yield, fruit quality and leaf mineral elements of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) cv. camarosa. *Journal of Plant Nutrition*, 39(13): 1821-1829. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1088023>
- Barros, T. C., De Mello Prado, R., Garcia Roque, C., Ribeiro Barzotto, G. and Wassolowski, C. R. (2018). Silicon and salicylic acid promote different responses in legume plants. *Journal of Plant Nutrition*, 41: 2116-2125. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497177>
- Davazdah Imami, S. and Majnoon, H. (2014). *The Cultivation And Production of Some Spice And Medicinal Plants* (third edition). Tehran University Press, Tehran, PP. 1-300 (In Persian).
- El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul.*, 45: 215-224. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1>
- Forgac, L. and Czimbalmos, R. (2011). The applied soil protective cultivation system-a method to reduce and prevent the soil degradation processes. *Novenytermeles*, 60: 279-282. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113086334>
- Gad El-Hak, S. H., Ahmed, A. M. and Moustafa, Y. M. M. (2012). Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4 (3): 318-328. DOI: [10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262](https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262)
- Gunes, A., Inal, A. and Alpaslan, M. (2005). Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Archives Agronomy Soil Science*, 51: 687-695. <https://doi.org/10.1080/03650340500336075>
- Haghighia, M. and Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, 161: 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034>
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950). *The waterculture for growing plants without soil*. California Agriculture Experimental Statistics Circular.
- Horvath, E., Szalai, G. and Janda, T. (2007). Induction of Abiotic Stress Tolerance by Salicylic Acid Signaling. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(3): 290- 300. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9017-4>
- Hyam, R. and Pankhurst, R. (1995). *Plants and their names*. Oxford University Press.
- Kalteh, M., Alipour, Z. T., Ashraf, S., Marashi-A, M. and Falah-N, A. (2014). Effect of silica Nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) Under Salinity Stress. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(3): 49 -55. <https://www.jchr.org/index.php/JCHR/article/view/408>
- Kaya C., Kirnak H., Higgs D. and Saltali K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth at fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *J. Scientia Horticulturae*, 93: 65-74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00313-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00313-2)
- Kaya, M. D., Okci, G., Atak, M., Cikili, Y. and Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291- 295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Khalid, A. (2015). Seed yield, fixed oil, fatty acids and nutrient content of nigella sativa L. cultivated under salt stress conditions. *Journal of Agronomy*, 14 (4): 241-246. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.241.246>
- Khattak, R. A., Haroon, K. and Muhammad, D. (2013). Mechanism(s) of humic acid induced beneficial effects in salt affected soils. *Scientific Research and Essays - Academic Journal*, 8: 932-939. <http://www.academicjournals.org/SRE>
- Liang, L., Luo, L. and Zhang, S. (2011). Adsorption and desorption of humic and fulvic acids on SiO₂ particles at nano and micro-scales. *Colloids and Surfaces A: Physicochem English Aspects*, 384: 126- 130. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.03.045>
- Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K. and Najafi, N. (2018). Grain filling and yield of mung bean affected by salicylic acid and silicon under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1457686>
- Mahmoudi, M., Samavat, S., Mostafavi, M., Khalighi, A. and Cherati, A. (2013). The effects of proline and humic acid on quantitative properties of kiwifruit. *International Research Journal Applied and Basic Science*, 6 (8): 1117-1119. <https://www.aensiweb.com/old/jasa/rjfh/2014/9-12.pdf>
- Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M. and Dietz, K. J. (2003). Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiology*, 132(1): 272-281. <https://doi.org/10.1104/pp.102.018457>
- Mishra, A. and Choudhuri, M. A. (1999). Effects of salicylic acid on heavy metal induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. *Biologia Plantarum*, 42: 409-415. <https://doi.org/10.1023/A:1002469303670>

- Nasari M, Aroei H, Nemati S H, Kafi M. (2011). Effect of Different Levels of Salinity and Silicon on Productivity of Mass. Masses of Sodium and Potassium in Aerial Plant of Fenugreek. *Journal of Soil and Water*, 26(2):508-514. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/141344/en>
- Nazar, R., Iqbal, N., Syeed S. and Khan, N. A. (2011). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *Journal Plant Physiology*, 168: 807-815. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.001>
- Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2012). Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. *Advanced Studies in Biology*, 11 (4): 501- 520. <https://www.academia.edu/download/106053571/fooladASB9-12-2012.pdf>.
- Pirasteh-Anosheh, H., Rosta, M. J. and Emam, Y. (2015). Different methods of crop treatment with salicylic acid in salinity research. National Center of Yazd Salinity Researchm 1-20. (In Persian).
- Raghara, H. & Mousavi, S. G. H. (2018). The effect of drought stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 13(50), 87-101. (in Persian). https://journals.iau.ir/article_692027.html
- Rea, R. S., Islam, M. R., Rahman, M. M., Nath, B. & Mix, K. (2022). Growth, nutrient accumulation and drought tolerance in crop plants with silicon application. A Review. *Sustainability*, 14, 4525. <https://doi.org/10.3390/su14084525>
- Rezaei, C. I. and Pirzad, A. (2014). Effect of Salicylic Acid on Yield, Yield Components and Black Sea Oil (*Nigella sativa* L.) in low water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3), 427- 37. (In Persian).
- Said-Alahl, H. A. H. and Omer, E. A. (2011). Medicinal and aromatic plants production under salt stress. A review, *Herba Polonica*, 57 (1): 72-86. <https://www.researchgate.net/publication/356987140>
- Sairam, R. K. and Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86: 407-421. doi: [10.1007/1-4020-4225-6](https://doi.org/10.1007/1-4020-4225-6)
- Shaaban, M., Abid, M. and Abou-Shanab, R. A. I. (2013). Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic and inorganic amendments. *Plant Soil Environment*, 59: 227-233. <https://doi.org/10.17221/881/2012-PSE>
- Shokri, S., Hooshmand, A., Golabi3, M., Alemzadeansari, N. and Struve, D. (2012). Effect of Silica Nanoparticles on Yield of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Ahvaz region. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 32(1), 292-297. (In Persian). doi: [10.22034/saps.2021.44312.2624](https://doi.org/10.22034/saps.2021.44312.2624)
- Simaei, M., Khavari-Nejad, R. A. and Bernard, F. (2012). Exogenous application of salicylic acid and nitric oxide on the ionic contents and enzymatic activities in nacl-stressed soybean plants. *American Journal of Plant Sciences*, 3: 1495-1503. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.310180>