

بررسی تأثیر نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک بر برخی پارامترهای مورفولوژی و ترکیب یونی گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش شوری

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

۱- مربی پژوهش و دانشجوی دکترا، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، پست الکترونیک: m_Feizian@yahoo.com

۳- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۴- استادیار، دانشکده شیمی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی چگونگی پوشش نانو اکسید سیلیسیم با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و تأثیر آن در افزایش تحمل به شوری گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. شرایط آزمایشگاهی با پوشش نانو اکسید سیلیسیم در غلظت‌های مختلف اسید هیومیک (۴۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با حضور اسید سالیسیلیک و در زمان‌های مختلف (۰/۵ تا ۱۲۰ ساعت) به ترتیب برای حداکثر پوشش و انرژی جذب و شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار برای آزمون اثربخشی نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار اجرا گردید. تیمار شوری در ۳ سطح شامل ۲، ۳/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر با آب آبیاری و تیمار نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار در ۴ سطح شامل 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. بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش غلظت و زمان تماس اسید هیومیک، میزان جذب کربن از ۷/۶ به ۱۱/۹ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت ولی اندازه نانو ذرات در حدود ۲۰ تا ۳۰ نانومتر بود. ارزیابی نتایج گلخانه‌ای نشان داد که وزن خشک اندام هوایی، ریشه، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی اولیه، رطوبت نسبی برگ و پتاسیم برگ با افزایش شوری کاهش و با کاربرد نانو ذره پوشش‌دار در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر افزایش معنی‌دار داشتند. به طوری که وزن خشک اندام هوایی در غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانو ذره پوشش‌دار در شوری‌های ۳/۵ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار نداشت. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که با پوشش نانو اکسید سیلیسیم توسط اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌توان با کاهش مقدار و دفعات مصرف مواد مذکور، تحمل به شوری گیاه سیاهدانه را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، نانو اکسید سیلیسیم، اسید سالیسیلیک، اسید هیومیک.

مقدمه

زراعی در گیاهان دارویی مانند خرفه، بره‌نٹی، گل‌گاوزبان و شنبلیله مورد آزمایش قرار گرفته است (Rahimi *et al.*, 2011b؛ Azizi *et al.*, 2015؛ Alishavandi *et al.*, 2010؛ Naseri *et al.*, 2012). اسید سالیسیلیک یک اسید آلی بی‌رنگ، بی‌مزه و بلورین است؛ این ماده یکی از مشتقات فنلی می‌باشد. 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، فسفر، نیتروژن و گوگرد (Nazar *et al.*, 2011) در بسیاری از گونه‌های گیاهی شده است. از این رو، اثرات کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید به غلظت مصرف، گونه‌های گیاهی مورد مطالعه، شدت و مدت‌زمان مصرف وابسته است. گیاهان در پاسخ به شوری، پروتئین‌هایی تولید می‌کنند که سنتز بسیاری از این پروتئین‌ها به وسیله سالیسیلیک اسید تحریک می‌شود. همچنین سالیسیلیک اسید به عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیر آنزیمی موجب کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2012). محتوای رطوبت نسبی برگ همبستگی بالایی با قابلیت آب برگ دارد. کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در ابتدا منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و با افزایش شوری منجر به توقف انتقال الکترون و ممانعت نوری در چرخه فتوسنتز می‌شود. Fazeli و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تیمار سیاهدانه با سالیسیلیک اسید میزان محتوای رطوبت نسبی را افزایش داد. اسید هیومیک در خاک شور از طریق تقویت رشد میکروبی، بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی و فعالیت آنزیم باعث بهبود تولید محصولات کشاورزی می‌شود (Khattak *et al.*, 2013؛ Shaaban *et al.*, 2013). سیاهدانه با نام علمی (*Nigella sativa* L.) گیاهی از تیره آلاله است که به طور طبیعی و خودرو در نقاط مختلف ایران رشد می‌کند. این گیاه بومی غرب آسیا می‌باشد و در مصر، هند، ایران، عربستان، ترکیه و پاکستان کشت می‌شود (Hyam & Pankhurst, 1995). در ایران این گیاه به ویژه در اراک و اصفهان به فراوانی کشت می‌گردد (Davazdah Imami & Majnoon Hosseini, 2014). با پوشش نانو

کشور ایران با ۲۷ میلیون هکتار اراضی شور در مقام اول کشورهای آسیا قرار دارد (Pakar *et al.*, 2005) و از نظر اقلیمی در زمره مناطق خشک و نیمه خشک با ویژگی‌هایی مانند تبخیر زیاد و بارش‌های جوی اندک و پراکنده می‌باشد که باعث تجمع املاح مختلف در قشر سطحی خاک‌های کشور می‌شود (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2015). تنش شوری از طریق کاهش قابلیت اسمزی، اختلال در جذب و انتقال برخی عناصر غذایی ضروری مانند کلسیم و پتاسیم، موجب اختلال در برخی فرایندهای گیاه می‌شود (Kaya *et al.*, 2006). از سوی دیگر تمام تنش‌های محیطی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند که باعث آسیب‌های اکسیداتیو می‌گردند (Said-Alahl & Omer, 2011). گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تغییر در نفوذپذیری غشاء (نشت یونی) و خسارت به سلول می‌گردند که در نتیجه آن غشای سلولی پاره شده و باعث افزایش نشت یونی به بیرون از سلول می‌شود (Mohammadkhani & Heidari, 2007). راهکارهای مؤثر در کاهش تنش شوری استفاده مجزا یا تلفیقی از روش‌های اصلاح خاک‌های شور، کشت گیاهان سازگار با شرایط شور مانند گیاهان دارویی، کاربرد سطوح بهینه کودهای شیمیایی مانند اسید هیومیک و سیلیسیم، استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی مانند سالیسیلیک اسید و استفاده از فناوری نانو کودها در بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و محرک‌های رشد می‌باشند. امروزه افزودن نانو ذرات به محلول غذایی گیاهان به دلیل داشتن اثرهای بی‌نظیر مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی، توجه زیادی را در بین تولیدکنندگان به خود جلب کرده است؛ از سویی در بین نانو ذرات، نانو اکسیدها بیشتر استفاده می‌شوند (Aitken *et al.*, 2006). نانوذرات سیلیکا پس از جذب توسط ریشه گیاهان و تشکیل یک لایه در دیواره سلولی باعث افزایش تحمل به تنش‌ها از جمله تنش شوری و بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌شوند (Derosa *et al.*, 2010). اثر تعدیل‌کننده سیلیسیم بر شوری علاوه بر گیاهان

انرژی جذب اسید هیومیک (کربن)، ۰/۵ گرم نانو اکسید سیلیسیم با ۱ لیتر محلول حاوی غلظت ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک و ۰/۱ مولار نیترات سدیم در هر یک از ۱۰ زمان ۰/۵ تا ۱۲۰ ساعت مخلوط و شیکر شدند. در پایان شیکر کلیه نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و مواد رسوب کرده پس از شستشو با آب مقطر، خشک و آسیاب گردید. مقدار کربن روی نانو اکسید سیلیسیم که بیانگر میزان پوشش و جذب اسید هیومیک می‌باشد با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری کربن (CHNS) تعیین گردید. همچنین اندازه نانو اکسید سیلیسیم در قبل و بعد از پوشش با استفاده از تکنیک آزمایشگاهی TEM (Transmission Electron Microscopy) بررسی شد (Liang et al., 2011).

در بخش گلخانه‌ای بذرهای مورد استفاده پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه، ۳ تا ۵ بار با آب مقطر شسته و درون سینی‌های نشاء حاوی پیت‌ماس در نیمه دوم بهمن‌ماه سال ۱۳۹۵ در گلخانه کشت گردیدند. نشاءها در گلدان‌های پلاستیکی استوانه‌ای (قطر دهانه ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر) حاوی مخلوط مساوی پرلیت پودری با پرلیت ۱ تا ۳ میلی‌متری در نیمه دوم اسفندماه سال ۱۳۹۵ کشت و در قالب طرح اسپلیت پلات با ۴ تکرار مرتب شدند. فاکتور اصلی شوری آب آبیاری با نمک کلرید سدیم در ۳ سطح شوری شامل ۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌عنوان شاهد (S_1)، ۳/۵ (S_2) و ۵ دسی‌زیمنس بر متر (S_3) همراه با آب آبیاری استفاده شدند. فاکتور فرعی غلظت نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک در ۴ سطح شامل ۰ (N_1)، ۰/۲۵ (N_2)، ۰/۵ (N_3) و ۰/۷۵ (N_4) گرم در لیتر با کاربرد در آب آبیاری در دو مرحله چند برگی (۱۵ روز پس از کاشت نشاء) و گلدهی (۵۰ روز پس از کاشت نشاء) اعمال شدند. وضعیت دمایی گلخانه در نیمه اول دوره در شب و روز به ترتیب ۱۵ و ۲۵ و در نیمه دوم دوره در شب و روز به ترتیب ۲۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد و

اکسید سیلیسیم به‌وسیله اسید هیومیک و در حضور اسید سالیسیلیک، امکان تجمع توانایی محرک‌های زیستی و عناصر معدنی در افزایش تحمل به شوری گیاهان و همچنین کاهش اثرات مضر ناشی از مصرف اضافی آنها فراهم می‌شود. از این‌رو برای درک بهتر اثر توأم نانو ذرات با مواد آلی طبیعی این مطالعه با هدف بررسی چگونگی پوشش نانو اکسید سیلیسیم با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک و تأثیر آن بر برخی پارامترهای رشدی، ترکیب یونی و افزایش تحمل به شوری گیاه سیاهدانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو شرایط آزمایشگاهی و گلخانه‌ای به ترتیب برای تهیه نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار شده با اسید هیومیک در حضور سالیسیلیک اسید و آزمون اثربخشی نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار شده بر برخی پارامترهای مورفولوژی و ترکیب یونی گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط تنش شوری انجام شد. در مرحله آزمایشگاهی ابتدا برای دستیابی به حداکثر میزان جذب و انرژی جذب اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک روی نانو اکسید سیلیسیم، به ترتیب مقدار جذب کربن در ۱۰ غلظت مختلف اسید هیومیک از ۴۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر و همچنین در ۱۰ زمان مختلف از ۰/۵ تا ۱۲۰ ساعت بعد از شروع آزمایش مطابق روش‌های زیر تعیین شد. سرانجام پس از رسم نمودار و تعیین غلظت بهینه اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک و زمان مناسب برای حداکثر مقدار جذب، نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار براساس غلظت و زمان بدست آمده تهیه گردید.

تعیین میزان و انرژی جذب اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک روی نانو اکسید سیلیسیم-برای تعیین میزان جذب اسید هیومیک (کربن)، ۰/۵ گرم نانو اکسید سیلیسیم به ترتیب با ۱ لیتر محلول از ۱۰ غلظت ۴۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک و ۰/۱ مولار نیترات سدیم مخلوط و به مدت ۱۲۰ ساعت شیکر شدند. همچنین برای تعیین

هوایی و ریشه بعد از برداشت با استفاده از ترازوی دیجیتالی و وزن خشک آنها پس از قرار گرفتن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تعیین گردید. در نهایت محتوای آب نسبی برگ (Mishra & Choudhuri, 1999) و نشت یونی (Kaya *et al.*, 2006) با استفاده از روش‌های زیر اندازه‌گیری شد. محتوای آب نسبی برگ از رابطه زیر محاسبه شد:

$$RWC = \{(\text{وزن برگ خشک شده در آون} - \text{وزن تر برگ}) / (\text{وزن برگ خشک شده در آون} - \text{وزن آب‌ساز})\} \times 100$$

نتایج

مرحله آزمایشگاهی

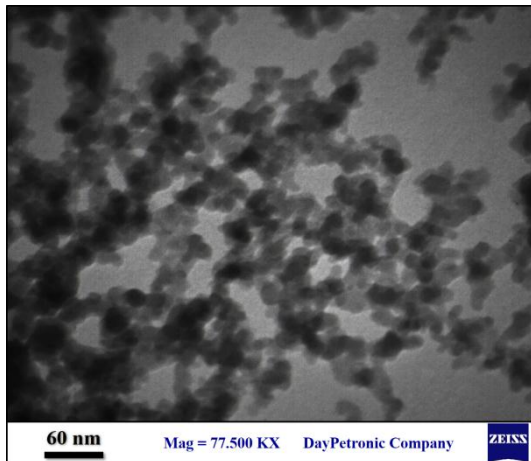
آزمایش پوشش نانو اکسید سیلیسیم با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک - میزان پوشش اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیم براساس مقدار جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیم بررسی و نتیجه‌گیری شد که با افزایش غلظت اسید هیومیک در تعادل با نانو اکسید سیلیسیم، میزان جذب کربن از ۷/۶ به ۱۱/۹ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت. همچنین حداکثر عنصر کربن جذب شده روی نانو اکسید سیلیسیم حدود ۳۰٪ تا ۳۵٪ غلظت آن در اسید هیومیک خالص بود. بررسی روند جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیم در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک مطابق شکل ۱ نشان داد که با افزایش غلظت اسید هیومیک در تعادل با نانو اکسید سیلیسیم، مقدار جذب کربن به صورت نمایی افزایش یافت و حداکثر جذب آن در غلظت تعادل ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بود. همچنین بررسی روند انرژی جذب کربن روی نانو اکسید سیلیسیم در اسیدپته ۴ با حضور اسید سالیسیلیک مطابق شکل ۲ نشان داد که انرژی جذب به طور نمایی با افزایش زمان تعادل افزایش یافت و حداکثر آن در زمان ۱۲۰ ساعت بود.

وضعیت رطوبت گلخانه ۳۰٪ بود. ۱۱۰ روز پس از تغذیه بوته‌ها با استفاده از محلول غذایی هوگلند (Hoagland & Arnon, 1950) در طی رشد بهاره و ظهور ۸۰٪ علائم رسیدگی سیاهدانه شامل زرد شدن، خشک شدن بوته‌ها، ریزش برگ‌ها، کرمی رنگ شدن کپسول و سیاه و سفت شدن بذرها در کپسول، بوته‌ها برداشت و صفات ارتفاع گیاه از سطح بستر، ارتفاع اولین شاخه فرعی تا سطح بستر و نسبت اندام هوایی به ریشه اندازه‌گیری شدند. وزن تر اندام

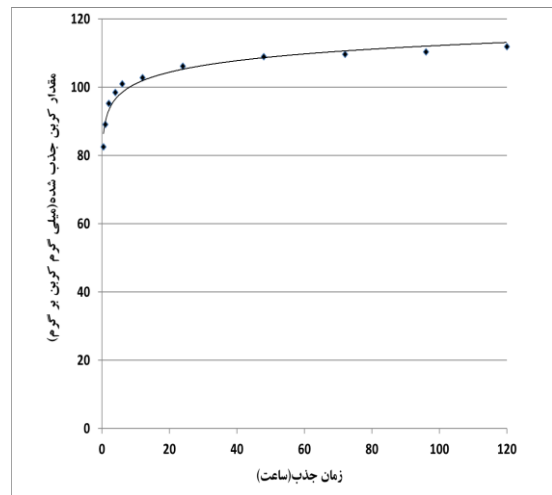
نشت یونی با استفاده از روش Kaya و همکاران (۲۰۰۶) مطابق رابطه زیر تعیین گردید. شصت روز پس از اعمال تنش، از هر بوته یک برگ در موقعیت یکسان جدا و پس از شستشو با آب مقطر و حذف آب اضافی، نمونه‌ها را داخل لوله‌های درب‌دار حاوی ۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده و به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری و بعد هدایت الکتریکی اولیه محلول (EC1) اندازه‌گیری شد؛ بعد نمونه‌ها منجمد شده تا سلول‌ها پاره شوند و در نهایت با رسیدن محلول به دمای اتاق، هدایت الکتریکی نهایی (EC2) قرائت گردید و با استفاده از رابطه زیر میزان نشت یونی (EL) محاسبه شد:

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

به منظور تعیین تأثیر تیمارها در تحمل به شوری و جذب عناصر غذایی توسط گیاه، در مرحله رسیدن دانه نمونه برگی تهیه و عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مس، روی، گوگرد و سدیم در آنها اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل کلیه داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. همچنین برای رسم نمودار از نرم‌افزار Excel استفاده شد.



شکل ۴- اندازه ذرات نانو اکسید سیلیسیم بعد از پوشش

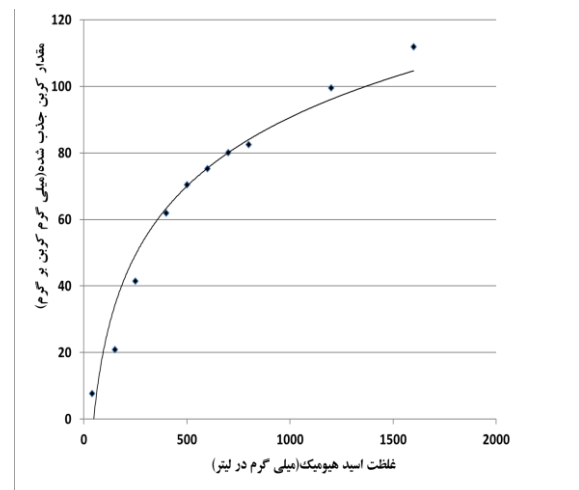


شکل ۱- مقدار جذب کربن روی نانو ذره اکسید سیلیسیم

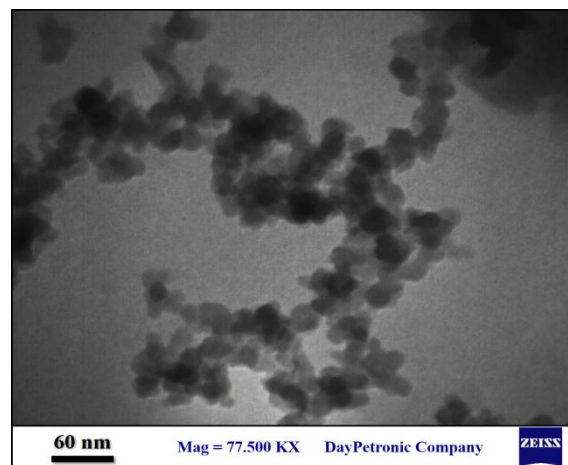
مقایسه اندازه ذرات نانو اکسید سیلیسیم در قبل و بعد از پوشش با اسید هیومیک به ترتیب در شکل‌های ۳-۴ نشان داد که اندازه ذرات نانو اکسید سیلیسیم تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشته و در حدود ۲۰ تا ۳۰ نانومتر بودند. از این رو نتیجه‌گیری شد که امکان پوشش نانوذره اکسید سیلیسیم با محرک‌های زیستی در اسید پسته ۴ وجود دارد و ضروری است اثر بخشی این ترکیب از نظر افزایش تحمل به تنش در گیاهان آزمایش شود.

مرحله گلخانه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تغییرات وزن خشک اندام هوایی سیاهدانه تحت تأثیر شوری، تیمارهای نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار و اثر متقابل آنها در سطح ۱٪ معنی دار شد. وزن خشک اندام هوایی در بین تیمارهای شوری شاهد و شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب با میانگین ۵۷۹ و ۴۵۰/۷ گرم در مترمربع بیشترین و کمترین مقدار را داشتند (جدول ۲). همچنین صفت مذکور در بین سطح صفر و ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار، به ترتیب با میانگین ۴۵۳/۴ و ۵۵۵ گرم در مترمربع بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. البته سطوح ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر از لحاظ آماری در یک



شکل ۲- انرژی جذب کربن روی نانو ذره اکسید سیلیسیم



شکل ۳- اندازه ذرات نانو اکسید سیلیسیم قبل از پوشش

است (جدول ۲). صفت تعداد شاخه فرعی اولیه در بین تیمارهای شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار به طور مستقل به ترتیب در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار شدند، ولی در اثر متقابل این دو معنی دار نگردید (جدول ۱). تعداد شاخه فرعی اولیه در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین (۳/۵) و در شاهد بیشترین (۴/۴) بود و بیانگر تأثیر شوری در کاهش توسعه اندام هوایی بود (جدول ۲). همچنین بررسی صفت مذکور در بین سطوح مختلف نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی اولیه برابر ۴/۶ مربوط به تیمار ۰/۵ گرم در لیتر، که نسبت به تیمار شاهد ۱/۴ برابر افزایش یافته بود (جدول ۳). در این بررسی، ارتفاع بوته در تیمارهای شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار به طور مستقل در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد ولی در اثر متقابل دو تیمار معنی دار نگردید (جدول ۱). شوری باعث کاهش معنی دار ارتفاع بوته شد؛ به طوری که کمترین ارتفاع بوته (۹۰/۴ سانتی متر) مربوط به شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۱/۴ سانتی متر) مربوط به شاهد بود (جدول ۲). از سویی کاربرد سطوح مختلف نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار تأثیر معنی داری در افزایش ارتفاع بوته داشت؛ به طوری که ارتفاع بوته در سطوح ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱/۰۶ و ۱/۰۸ برابر افزایش و از نظر آماری با تیمار شاهد اختلاف معنی دار داشتند (جدول ۳). درصد نشت یونی غشاء برگ سیاهدانه مطابق شکل های ۶-۷ تحت تأثیر تیمارهای شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار به طور مستقل قرار گرفت. مقایسه میانگین میزان نشت یونی در بین تیمار شوری نشان داد که کمترین میزان نشت یونی (۵۱/۳٪) مربوط شاهد و بیشترین (۸۹/۵٪) مربوط به شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. از سویی کاربرد نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار کاهش معنی داری روی نشت یونی داشت؛ به طوری که میزان نشت یونی در تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار با بیش از ۶۰٪ کاهش به ۵۴/۳٪ رسید که

گروه قرار گرفتند (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و تیمارهای نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار بر وزن خشک اندام هوایی (شکل ۵) نشان داد که پاسخ وزن خشک اندام هوایی در شوری های مختلف نسبت به افزایش غلظت نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار مثبت بود. به طوری که وزن خشک اندام هوایی در تیمار شوری شاهد و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار با غلظت های ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر (S_1N_3 و S_1N_4) و تیمار شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار با غلظت ۰/۷۵ گرم در لیتر (S_2N_4) بیشترین مقدار و از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفتند. البته افزایش وزن خشک اندام هوایی در تیمار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر (S_3N_3) معنی دار و با تیمار (S_2N_3) در یک گروه قرار گرفتند. وزن خشک ریشه سیاهدانه در بین تیمارهای شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار به طور مستقل به ترتیب در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ اختلاف معنی دار داشت ولی در اثر متقابل شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار معنی دار نگردید (جدول ۱). وزن خشک ریشه در شوری شاهد (۲ گرم در مترمربع) تقریباً ۱/۵ برابر وزن خشک ریشه در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که بیانگر تأثیر منفی شوری در رشد ریشه بود (جدول ۲). همچنین مقایسه بین سطوح نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار نشان داد که وزن خشک ریشه در سطوح ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۴ برابر افزایش و از نظر آماری با تیمار شاهد اختلاف معنی دار داشتند (جدول ۳). در مورد صفت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه، اثر شوری در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد، ولی در سطح نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار و اثر متقابل شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار معنی دار نشد (جدول ۱). صفت مذکور در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین (۳۵/۶) و در شاهد بیشترین (۴۳/۸) بود که بیانگر تأثیر بیشتر شوری در کاهش وزن ریشه نسبت به وزن اندام هوایی

افزایش و از نظر آماری با تیمار شاهد اختلاف معنی دار داشت. در این بررسی، میزان جذب سدیم در اندام هوایی تحت تأثیر شوری و نانو ذره پوشش دار به طور مستقل قرار گرفت و در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد ولی اثر متقابل شوری در نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار معنی دار نگردید (جدول ۴). بیشترین میزان جذب سدیم در اندام هوایی مربوط به شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر (۱۳۸/۸ میلی‌گرم در بوته) و کمترین در شاهد (۸۱/۸ میلی‌گرم در بوته) بود. همچنین میزان جذب سدیم در تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار در مقایسه با تیمار شاهد ۱/۴ برابر افزایش و از نظر آماری با تیمار شاهد اختلاف معنی دار داشت. نتایج تجزیه واریانس میزان جذب کلسیم در اندام هوایی، حکایت از معنی دار شدن اثر شوری و معنی دار نشدن اثر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار و اثر متقابل تیمارهای فوق روی این صفت داشت (جدول ۴). در مورد نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم، تنها اثر شوری معنی دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها در سطوح شوری نشان داد که بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم به ترتیب ۱۶/۲ و ۲/۲ مربوط به سطح شوری شاهد بود و سایر سطوح شوری با نسبت کمتر باهم تفاوت معنی‌داری نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. طبق نتایج تجزیه واریانس، میزان جذب آهن و گوگرد در اندام هوایی به ترتیب تحت تأثیر شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار قرار گرفتند ولی تغییرات آنها در سایر موارد معنی‌دار نبود (جدول ۴). بیشترین میزان جذب آهن (۲/۴ میلی‌گرم در بوته) مربوط به شاهد و کمترین در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر (۱/۵ میلی‌گرم در بوته) بود. همچنین بیشترین میزان جذب گوگرد در اندام هوایی مربوط به تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار (۸۷/۶ میلی‌گرم در بوته) و کمترین مربوط به شاهد (۵۸/۶ میلی‌گرم در بوته) بود.

برابر میزان نشت یونی در شرایط بدون تنش شوری بود. شوری و کاربرد نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ سیاهدانه داشتند (شکل‌های ۹-۸)؛ به طوری که با افزایش سطوح شوری، محتوای آب نسبی برگ در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین (۳۸/۶٪) و در تیمار شاهد بیشترین (۴۷/۶٪) بود. همچنین با افزایش کاربرد نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار، محتوای آب نسبی برگ با ۱/۲ برابر افزایش به ۴۵/۸٪ در تیمار ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار رسید. تغییرات میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی تحت تأثیر شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار به طور مستقل قرار گرفت و به ترتیب در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار شد ولی اثر متقابل دو تیمار معنی دار نگردید (جدول ۴). شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین (۳۸۰/۷ میلی‌گرم در بوته) و شاهد بیشترین (۵۱۴/۴ میلی‌گرم در بوته) میزان جذب نیتروژن را در اندام هوایی داشتند. مقایسه بین سطوح مختلف نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار نشان داد که کاربرد این ترکیب تأثیر معنی‌داری در افزایش جذب نیتروژن داشت؛ به طوری که میانگین میزان جذب نیتروژن در اندام هوایی از ۳۸۶ میلی‌گرم در بوته در تیمار شاهد به ۴۷۳/۱ میلی‌گرم در بوته در تیمار ۰/۷۵ گرم در لیتر افزایش یافت. در این آزمایش، میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی تحت تأثیر شوری و نانو ذره پوشش دار به طور مستقل قرار گرفت و در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد ولی اثر متقابل دو تیمار معنی دار نگردید (جدول ۴). بیشترین میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی مربوط به شاهد (۱۱۴۳ میلی‌گرم در بوته) و کمترین مربوط به شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر (۸۲۴/۶ میلی‌گرم در بوته) بود. از سویی کاربرد سطوح مختلف نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی داشت؛ به طوری که میزان جذب پتاسیم در اندام هوایی در سطوح ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱/۲ و ۱/۱ برابر

جدول ۱- میانگین مربعات صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن ریشه، وزن خشک اندام هوایی به ریشه، تعداد شاخه فرعی اولیه و ارتفاع بوته

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی به ریشه	تعداد شاخه فرعی اولیه در بوته	ارتفاع بوته
تکرار	۳	۴۸۵۰/۷	۰/۴۶۹	۴۱/۶	۱/۶	۵۹/۷
شوری	۲	۶۷۱۶۱/۸**	۲۳۰/۱**	۲۴۲*	۳/۸*	۵۰۳/۹**
خطا	۶	۱۸۹۹/۱	۵/۶	۲۲/۷	۰/۵	۲۱/۲
نانوذره پوشش‌دار	۳	۲۵۲۹۲/۷**	۳۷/۴*	۷/۹ns	۳۳/۶**	۱۱۹/۵**
شوری × نانوذره پوشش‌دار	۶	۵۱۴۷/۳**	۴/۴ns	۱۳/۲ns	۰/۹ns	۲۲/۵ns
خطا	۲۷	۱۴۲۲/۹	۸/۳	۴۲/۸	۰/۵	۱۸/۴

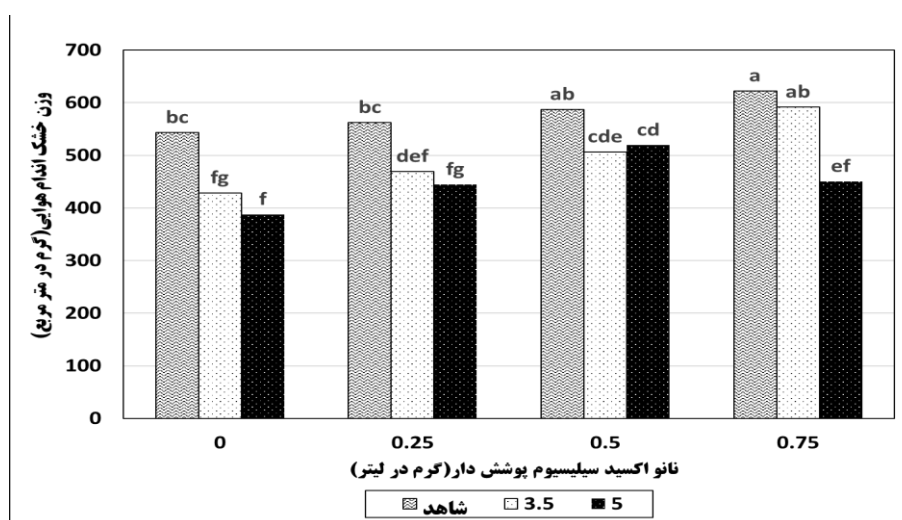
ns و ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، معنی‌دار در سطح ۱٪ و غیر معنی‌دار

جدول ۲- میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن ریشه، وزن خشک اندام هوایی به ریشه و ... در سطوح شوری

سطوح شوری (dS/m)	وزن خشک اندام هوایی (g/m ²)	وزن خشک ریشه (g/m ²)	وزن خشک اندام هوایی به ریشه	تعداد شاخه فرعی اولیه در بوته	ارتفاع بوته
شاهد	۵۷۹a	۱۹/۹a	۲۹/۶b	۴/۴a	۱۰۱/۴a
۳/۵	۴۹۹/۲b	۱۵/۳b	۳۳/۴ab	۳/۷b	۹۴b
۵	۴۵۰/۷c	۱۲/۴c	۳۷/۴a	۳/۵b	۹۰/۴b

جدول ۳- میانگین صفات وزن خشک اندام هوایی، وزن ریشه و ... در سطوح نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار

سطوح مختلف نانو ذره پوشش‌دار (g/Lit)	وزن خشک اندام هوایی (g/m ²)	وزن خشک ریشه (g/m ²)	وزن خشک اندام هوایی به ریشه	تعداد شاخه فرعی اولیه در بوته	ارتفاع بوته
۰	۴۵۳/۴c	۱۳/۵b	۳۴/۶a	۳/۳b	۹۰/۹b
۰/۲۵	۴۹۲/۲b	۱۵/۵ab	۳۳/۷a	۳/۶b	۹۶/۴a
۰/۵	۵۳۷/۸a	۱۷/۱a	۳۳a	۴/۶a	۹۸/۴a
۰/۷۵	۵۵۵a	۱۷/۳a	۳۲/۷a	۳/۹b	۹۵/۴a

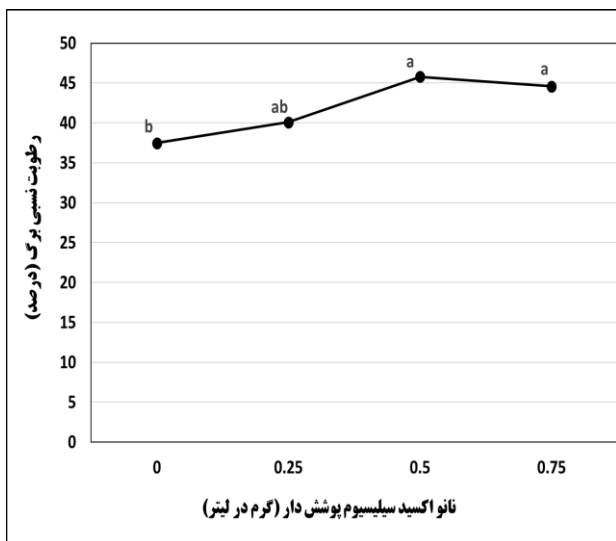


شکل ۵- اثر متقابل شوری و نانو اکسید سیلیسیم پوشش‌دار بر وزن خشک اندام هوایی

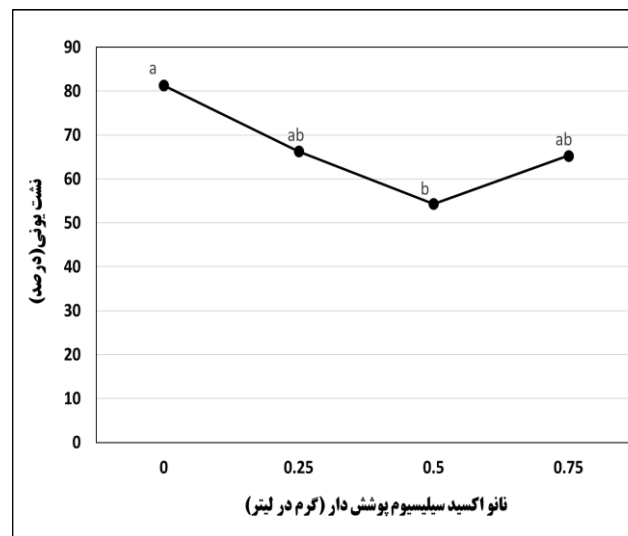
جدول ۴- میانگین مربعات مقدار جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و گوگرد

مقدار جذب عناصر (گرم بر مترمربع)									درجه آزادی	منابع تغییرات
کلسیم به سدیم	پتاسیم به سدیم	گوگرد	آهن	سدیم	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	نیتروژن		
۰/۳۱۶	۳۲/۳	۸۱	۰/۱۸۳	۱۲۹۹/۵	۱۸۹/۹	۱۴۴۱/۵	۱۷۹۷۳/۸	۴۹۷/۷	۳	تکرار
۰/۷۰۲**	۴۹۵/۲*	۳۴۰/۶ns	۲/۸۲۸**	۹۴۵۱/۷**	۲۲۷۷/۳**	۸۲۳۷/۸*	۲۸۸۹۹۳/۱*	۵۰۴۹۹/۶*	۲	شوری
۰/۵۴۵	۵۴/۵	۵۰۵/۷	۰/۱۴	۶۲۰/۲	۱۱۱/۷	۱۶۲۶/۵	۴۷۸۰/۱/۳	۶۲۳۶/۲	۶	خطا
۰/۴۵۶ns	۴۰/۴ns	۱۱۷۹/۹*	۰/۳۴ns	۲۱۲۵/۴**	۳۳۹/۳*	۳۹۵/۹ns	۶۹۷۸۴/۵*	۱۲۷۴۶/۷**	۳	نانوذره
۰/۲۰۲ns	۳۹/۲ns	۳۱۹/۸ns	۰/۱۷۸ns	۷۰۹/۲*	۹۴/۶ns	۶۴۰/۱ns	۱۲۲۹۷/۷ns	۲۸۸۲/۶ns	۶	شوری × نانوذره
۰/۲۸۱	۱۹/۹	۳۵۰/۸	۰/۱۴۶	۲۹۶/۷	۸۱/۳	۹۵۸/۹	۱۸۳۳۸/۵	۲۷۶۶/۴	۲۷	خطا

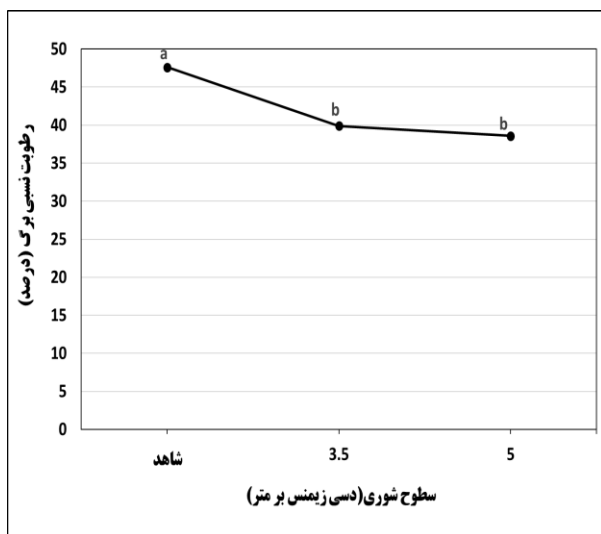
*, **, ns: به ترتیب معنی دار در سطح ۵٪، معنی دار در سطح ۱٪ و غیر معنی دار



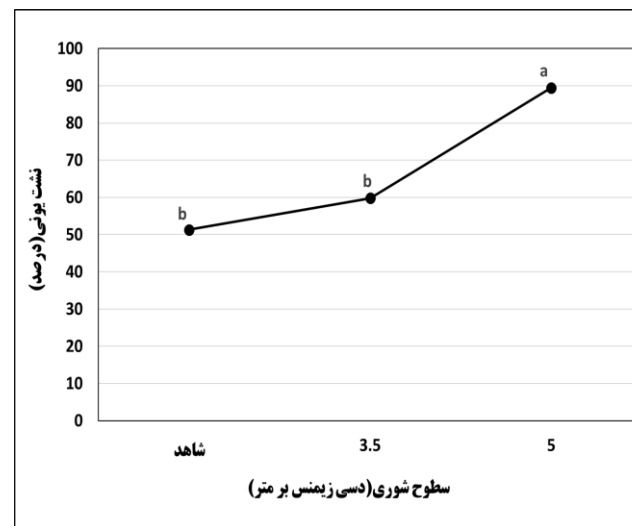
شکل ۸- تأثیر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار بر رطوبت نسبی



شکل ۶- تأثیر نانو اکسید سیلیسیم پوشش دار بر نشت یونی



شکل ۹- تأثیر شوری بر رطوبت نسبی



شکل ۷- تأثیر شوری بر نشت یونی

بحث

نتایج آزمایش پوشش نانو اکسید سیلیسیم با اسید هیومیک و سالیسیلیک نشان داد که حداکثر انرژی و میزان جذب به ترتیب با افزایش زمان تعادل تا ۱۲۰ ساعت و غلظت تعادل اسید هیومیک تا ۱۶۰۰ میلی گرم در لیتر بدست آمد. به طوری که در زمان غلظت تعادل مذکور مقدار کربن نانو اکسید سیلیسیم حداکثر و به ۱۱۱/۹ میلی گرم بر گرم رسید و با نتایج گزارش شده توسط Liang و همکاران (۲۰۱۱) مبنی بر حداکثر مقدار و انرژی جذب مواد هیومیک روی نانو اکسیدها به ترتیب در غلظت تعادل ۱۶۰۰ میلی گرم در لیتر و زمان تعادل ۱۲۰ ساعت همخوانی دارد. نتایج آزمایش اثربخشی نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک در کاهش تنش شوری گیاه سیاهدانه نشان داد که با افزایش شوری تا ۵ دسی زیمنس بر متر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی اولیه به ترتیب به میزان ۲۳، ۳۸، ۱۱ و ۲۱٪ کاهش معنی داری داشتند. همچنین نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه به میزان ۱/۳ برابر افزایش داشت که بیانگر تأثیر منفی بیشتر شوری روی وزن خشک ریشه نسبت به وزن خشک اندام هوایی و همچنین حساسیت سیاهدانه به شوری بود. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است. در آزمایشی تأثیر تنش شوری بر برخی خصوصیات رشدی گیاه دارویی نعنا نشان داد که با افزایش شوری طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، طول میان گره و بیوماس کل کاهش یافت (Khorasaninejad *et al.*, 2010). در یک آزمایش گلخانه ای، اثر تنش شوری روی رشد و میزان انباشت یون ها در گیاه دارویی زنیان مطالعه و نتایج نشان داد که افزایش سطح شوری باعث کاهش معنی داری در وزن تر و خشک ریشه و ساقه، میزان کلسیم و پتاسیم و افزایش میزان سدیم در اندام هوایی و ریشه گردید (Ashraf *et al.*, 2004). Hajar و همکاران (۱۹۹۶) با بررسی اثر

تیمارهای مختلف شوری بر جوانه زنی و شاخص های رشد سیاهدانه مشاهده کردند که با افزایش شوری، وزن ساقه و وزن ریشه کاهش یافتند. مطابق نتایج این آزمایش با کاربرد غلظت ۰/۵ و ۰/۷۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب ۱/۲ و ۱/۳ برابر افزایش یافت؛ همچنین با کاربرد غلظت ۰/۲۵ گرم در لیتر نانو ذره مذکور ارتفاع بوته ۱/۱ برابر افزایش و با کاربردهای بیشتر اختلاف معنی دار نداشت. نتایج مشابهی توسط سایر محققان در مورد اثرهای منفرد سیلیسیم، اسید سالیسیلیک و هیومیک اسید روی افزایش پارامترهای رشد و افزایش تحمل به تنش در گیاهان گزارش شده است. بررسی اثر نانو اکسید سیلیسیم روی برخی از خصوصیات گیاه دارویی ریحان در شرایط تنش شوری نشان داد که وزن تر و خشک و مقدار کلروفیل برگ با کاربرد نانو اکسید سیلیسیم در شرایط تنش شوری افزایش یافت (Kaltah *et al.*, 2014). نتایج ما با Rahimi و همکاران (۲۰۱۱b) که تأثیر سیلیسیم را بر برخی از ویژگی های مورفوفیزیولوژیک گیاه دارویی خرفه تحت تنش شوری بررسی کرده بودند همخوانی داشت. تیمار ۱ میلی مولار سیلیسیم باعث افزایش تعداد برگ در بوته، ارتفاع ساقه اصلی و شاخص سطح برگ در مرحله تنش گردید. Harati و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات شوری بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی آویشن دنیایی نتیجه گرفتند که محلول پاشی غلظت ۴۵۰ میلی گرم در لیتر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم، باعث افزایش معنی دار وزن تر و خشک گیاه و نسبت ریشه به اندام هوایی گردید که با نتایج ما مطابقت داشت. Eskandari Zanjani و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک در شرایط تنش شوری بر خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه دارویی درمنه دریافتند که تیمار ۰/۵ میلی مولار اسید سالیسیلیک باعث افزایش ارتفاع

بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته و عملکرد سرشاخه‌های گلدار نسبت به شاهد شد. همچنین Baiat و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که محلول پاشی اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری باعث افزایش ارتفاع گیاه شد. به طوری که ارتفاع گیاه در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار با محلول پاشی اسید سالیسیلیک ۲ میلی‌مولار حدود ۶ برابر افزایش یافت. بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک و اسید هیومیک بر شاخص‌های رویشی گیاه زینتی دارویی پروانش نشان داد که غلظت کم اسید هیومیک (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و متوسط اسید سالیسیلیک (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیشترین تأثیر را روی ارتفاع گیاه داشت (Chamani *et al.*, 2016). در یک تحقیق دیگر محلول پاشی گیاه دارویی ریحان در شرایط تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار، با اسید هیومیک ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ و کل گیاه گردید؛ به طوری که صفات مذکور اختلاف معنی‌داری با گیاهان شاهد نداشتند (Gohari *et al.*, 2017). در مطالعه‌ای تأثیر استفاده از اسید هیومیک بر تعداد گل، وزن تر گل و وزن تر و خشک کلاله زعفران مثبت بود (Koocheki *et al.*, 2016). بررسی وضعیت جذب عناصر در این آزمایش نشان داد که مقدار جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن با افزایش شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به میزان ۲۶، ۲۸، ۳۳، ۴۱ و ۴۰ درصد کاهش و در مقابل مقدار جذب سدیم به میزان ۱/۷ برابر افزایش و نسبت‌های پتاسیم و کلسیم به سدیم به طور مجزا هر یک به میزان ۶۴٪ کاهش داشتند. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است. تنش شوری از طریق اختلال در جذب و انتقال برخی عناصر غذایی ضروری مانند کلسیم و پتاسیم، موجب اختلال در برخی فرایندهای گیاه می‌شود (Kaya *et al.*, 2006). همچنین باعث ایجاد مسمومیت توسط برخی یون‌های سمی، فعالیت اندک عناصر غذایی ضروری، نسبت زیاد Cl/NO_3 و Mg/Ca ، Na/Ca ، Na/K در گیاهان، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش فعالیت آنزیم‌ها،

به هم خوردن ساختار غشاء، کاهش رشد و کیفیت محصول می‌شود (Poustini & Ciocmardeh, 2001). ارزیابی واکنش اجزای جوانه‌زنی و رشد رویشی سیاهدانه به تنش شوری نشان داد که گیاه سیاهدانه در مرحله جوانه‌زنی می‌تواند تا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر را بدون کاهش در درصد جوانه‌زنی تحمل نماید، اما در مرحله رشد رویشی بیشتر صفات رویشی و ترکیب یونی مانند طول ساقه، تعداد برگ، وزن خشک، غلظت یون پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم از شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر کاهش و غلظت یون سدیم افزایش داشت که بیانگر حساسیت گیاه سیاهدانه به شوری می‌باشد (Rahimi *et al.*, 2011a). براساس این آزمایش با کاربرد غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مقدار جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، آهن، گوگرد و نسبت پتاسیم به سدیم به ترتیب به میزان ۱/۲، ۱/۲، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۲، ۱/۵ و ۱/۲ برابر افزایش و در مقابل مقدار جذب کلسیم و نسبت کلسیم به سدیم افزایش معنی‌دار نداشتند. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است. ارزیابی کاربرد غلظت ۱/۵ میلی‌مولار سیلیسیم و سطوح مختلف شوری بر مقدار سدیم و پتاسیم اندام هوایی گیاه شنبليله نشان داد که سیلیسیم نقش مثبتی در افزایش تحمل به شوری دارد؛ به طوری که باعث کاهش تجمع سدیم و افزایش مقدار پتاسیم در اندام هوایی گیاه شنبليله در شرایط تنش گردید (Naseri *et al.*, 2012). در میان عناصر غذایی نیتروژن سهم مهمی در افزایش سبزی‌نگی گیاه دارد و با کاربرد اسید هیومیک در غلظت ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن افزایش یافت و در نهایت منجر به افزایش سبزی‌نگی گیاه شد (Chamani *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای گلخانه‌ای اثر اسید هیومیک را روی قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد پیاز مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم باعث

درصد تعرق و هدایت روزنه ای را در ذرت و سویا، در پاسخ به کاربرد اسپری سالیسیلیک اسید و دیگر سالیسیلات‌ها گزارش کردند. محتوای رطوبت نسبی برگ همبستگی بالایی با قابلیت آب برگ دارد. کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ در ابتدا منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و با افزایش شوری منجر به توقف انتقال الکترون و ممانعت نوری در چرخه فتوسنتزی می‌شود. Agarwal و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که تیمار گندم با سالیسیلیک اسید میزان محتوای رطوبت نسبی را افزایش می‌دهد. یک گرم نانو ذرات سیلیس با قطر ۷ نانومتر دارای سطح جذبی حدود ۴۰۰ مترمربع است. بنابراین استفاده از نانو ذرات سیلیکا بر روی رطوبت آوند چوبی و انتقال آب و در نهایت بر بهبود بهره‌وری آب تأثیر دارد (Wang & Naser, 1994).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که نتایج حاصل از این پژوهش، نشان‌دهنده این موضوع است که غلظت متوسط نانو اکسید سیلیسیم پوشیده با هیومیک اسید و اسید سالیسیلیک باعث افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، آهن و گوگرد و به‌دنبال آن افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه فرعی اولیه گردید؛ همچنین باعث افزایش تحمل گیاه سیاهدانه در برابر شرایط نامساعد محیطی و تنش شوری از طریق افزایش پایداری غشاء، کنترل رطوبت نسبی برگ‌ها و افزایش نسبت یون پتاسیم به سدیم شد. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود با پوشش نانو اکسید سیلیسیم توسط اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک می‌توان با کاهش مقدار و دفعات مصرف مواد مذکور، تحمل به شوری گیاه سیاهدانه را افزایش داد.

منابع مورد استفاده

- Agarwal, S., Sairam, R.K., Srivastava, G.C. and Meena, R.C., 2005. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49: 541-550.

بیشترین عملکرد پیاز و افزایش ۱۲٪ در جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم گردید (Sangeetha *et al.*, 2006). بررسی وضعیت نتایج نشت یونی در این آزمایش بیانگر اینست که افزایش شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش نشت یونی به میزان ۱/۷ برابر شد. همچنین با کاربرد غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیم پوشیده شده با اسید هیومیک و اسید سالیسیلیک مقدار نشت یونی به میزان ۶۶٪ کاهش یافت. نتایج ما با سایر محققان مطابقت دارد. محلول پاشی گیاه سیاهدانه تحت تنش شوری ۲۵ و ۷۵ میلی‌مولار، باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، امکان رشد و بقای گیاه در این شرایط شد. همچنین محتوای نسبی آب برگ افزایش و نشت یونی کاهش یافت (Fazeli *et al.*, 2018). بررسی برخی خصوصیات فیزیولوژیک و عملکرد هیبریدهای ذرت تحت شرایط تنش شوری نشان داد که شاخص نشت یونی با افزایش شوری افزایش پیدا کرد. به طوری که کمترین میزان نشت یونی (۶۵/۸٪) مربوط به کمترین سطح شوری (۲ دسی‌زیمنس بر متر) و بیشترین میزان (۷۶/۰۵٪) مربوط به بیشترین سطح شوری (۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود (Qinghua *et al.*, Mandhanis *et al.*, 2006). Cachorro (2006) و همکاران (۱۹۹۵) در تحقیقات خود مشاهده کردند که غلظت زیاد نمک در محیط کشت باعث ایجاد تغییراتی در غشاء سلولی گیاه می‌شود و علاوه بر این، میزان تراوش یونی غشاء سلولی نیز به همین تغییرات ایجادشده بستگی دارد. Kaya و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که شوری زیاد باعث آسیب زدن به قابلیت تراوش یونی و افزایش نشت یونی می‌گردد. نتایج محتوای رطوبت نسبی برگ نشان داد که افزایش شوری تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش رطوبت نسبی برگ به میزان ۲۰٪ شد. یافته‌های Rai و همکاران (۱۹۸۶) نشان داد که سالیسیلیک اسید اثر بازدارندگی روی بسته شدن روزنه‌های ناشی از تنش شوری دارد و از این‌رو می‌تواند در غلظت مناسب از بسته شدن روزنه‌ها جلوگیری نماید. Khan و همکاران (۲۰۰۳) افزایش

- Gohari, G., Rasouli, F. and Zahedi, S.M., 2017. Evaluation of some growth traits and quantitative characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) in conditions of salt stress and application of humic acid. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 27(2): 159-168.
- 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.
- Hajar, A.S., Zidan, M.A. and Al-zahrani, H.S., 1996. Effect of salinity stress on the germination, growth and physiological activities of Black cumin (*Nigella sativa* L.). *The Arab Gulf Journal of Science Research*, 14(2): 445-454.
- Harati, E., Kashefi, B. and Matinizadeh, M., 2016. Investigation of reducing detrimental effects of salt stress on morphological and physiological traits of (*Thymus daenensis* Celak.) through Salicylic Acid Application. *Plant Production Technology*, 16(2): 111-125.
- Hoagland, D.R. and Arnon, D.I., 1950. *The Waterculture for Growing Plants without Soil*. California Agriculture Experimental Statistics Circular, 32p.
- Hyam, R. and Pankhurst, R., 1995. *Plants and Their Names*, Oxford, 545p.
- Kalteh, M., Taj Alipour, Z., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M. and Falah, A., 2014. Effect of silica nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(3): 49-55.
- 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.
- Khan, W., Prithiviraj, B. and Smith, D.L., 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal Plant Physiology*, 160: 485-492.
- 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*, 8(21): 932-939.
- Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B. and Ehyaei, H.R., 2016. Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of Saffron. *Journal of Agroecology*, 7(4): 425-442.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, Kh. and Khalighim, A., 2010. The effect of Alishavandi, R., Enteshari, S., Delavar, K. and Gagoonani, S., 2010. Interactive effects of silicon and NaCl on the physiological and biochemical parameters in *Borago officinalis*. The 5th National Conference on New Ideas in Agriculture, Esfahan, 15-16 February: 1-3.
- Aitken, R.J., Chaudhry, M.Q., Boxall, A.B.A. and Hull, M., 2006. Manufacture and use of nano materials: current status in the UK and global trends. *Occupational Medicine*, 56: 300-306.
- Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S. and Rha, E.S., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). *Photosynthetica*, 42(4): 543-550.
- Azizi, M., Abdolzade, A., Mehrban, P. and Sadegipour, H.R., 2015. The effect of silica on increasing salt resistance by reducing oxidative stress in lambs (*Festuca arundinacea*). *Scientific Journal of Rangeland*, 9(1): 43-54.
- Baiat, H., Nemati, S.H., Tehranifar, A., Vahdati, N. and Salahvarzi, A., 2012. Effects of salicylic acid on growth and ornamental characteristics of Persian petunia (*Petunia hybrida*) under salt stress. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(3): 43-51.
- Cachorro, P., Olmos, E. and Cerda, A., 1995. Salinity-induced changes in the structure and ultra structure of bean Root. *Cell Plant Biology*, 37: 273-283.
- Chamani, I., Bonyadi, M. and Ghanbari, A., 2016. Effect of salicylic acid and humic acid on vegetative indices of parvanesh medicinal ornamental plant. *Journal of Horticultural Science*, 29(4): 631-641.
- Davazdah Imami, S. and Majnoon Hosseini, N., 2014. *The Cultivation and Production of Some Spice and Medicinal Plants*. Tehran University Press, Tehran, 300p.
- Derosa, M.R., Monreal, C., Schmitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y., 2010. Nanotechnology in fertilizers. *Nature Nanotechnology*, 5(2): 91.
- Eskandari Zanjani, K., Shirinarad, A.H., Moradi Aqdam, A. and Taherkhani, T., 2012. Effect of salicylic acid application in salinity stress conditions on physiological characteristics (*Artemisia annua* L.), Morphology of *Artemisia* Medicinal Plant. *Scientific Journal of Ecophysiology of Crop Plants*, 6(24): 415-428.
- Fazeli, A., Zarei, B. and Tahmasebi, Z., 2018. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(4): 69-83.

- Pirasteh-Anosheh, H., Rosta, M.J. and Emam, Y., 2015. Different methods of crop treatment with salicylic acid in salinity research. National Center of Salinity Research, Yazd, 1-20.
- Poustini, K. and Ciocemardeh, A., 2001. Na/K ratio and ion selectivity in response to salt stress in wheat. Iranian Journal of Aric Science, 32(3): 525-532.
- Qinghua, S., Zhiyi, V., Zhujun, Z., Quansheng, Y. and Qiong, Q., 2006. Effect of different treatments of Salicylic acid acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme activity in seedling of *Cucumis sativa* L. Plant Growth Regulators, 48: 127-135.
- Rahimi, A., Shamsodin Saeed, M. and Etemadi, F., 2011a. Effects of salt stress on germination, growth and ion contents of Cumin (*Nigella sativa* L.). Arid Biome Scientific and Research Journal, 1(2): 20-31.
- Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A. and Khazaei, H.R., 2011b. Effect of salinity and silicon on some morphophysiological characters of purslane (*Portulaca oleracea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(3): 359-374.
- Rai, V.K., Sharm, S.S. and Sharma, S., 1986. Reversal of ABA-induced stomatal induced by phenolic compounds. Journal of Experimental Botany, 37: 129-134.
- Said-Alahl, H.A.H. and Omer, E.A., 2011. Medicinal and aromatic plants production under salt stress, a review. Herba Polonica, 57(1): 72-87.
- Sangeetha, M., Singaram, P. and Uma Devi, R., 2006. Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability. 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 9-15 July: 163.
- 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 and Environment, 59: 227-233.
- Wang, J. and Naser, N., 1994. Improved performance of carbon paste ampermetric biosensors through the incorporation of fumed silica. Electroanalysis, 6: 571-575.
- of salinity stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of peppermint (*Mentha piperita* L.). World Applied Sciences Journal, 11(11): 1403-1407.
- 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: Physicochemical and Engineering Aspects, 384: 126-130.
- Mandhanis, S., Madan, S. and Sawhney, V., 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. Biologia Plantarum, 50(2): 227-231.
- 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.
- Mohammadkhani, N. and Heidari, R., 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Science, 10(21): 3835-3840.
- Naseri, M., Aroei, H., Nemati, S.H. and Kafi, M., 2012. 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.
- 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 of Plant Physiology, 168(8): 807-815.
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H. and Emam, Y., 2005. Effect of different concentrations of salicylic acid on quantitative and qualitative characteristics of barley under salinity stress. Production and Processing of Crops and Gardens, 4(14): 191-202.
- 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, 4(11): 501-520.

Effects of silicone nano oxide coated with humic acid and salicylic acid on some morphological parameters and ionic composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress

H. Molahoseini¹, M. Feizian^{2*}, S. Davazdah Emami³ and E. Mehdi Pour⁴

1- Ph.D. student, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

2*- Corresponding author, Soil Department, Lorestan University, Khoramabad, Iran, E-mail: m_Feizian@yahoo.com

3- Natural Resource Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

4- Faculty of Chemistry, Lorestan University, Khoramabad, Iran

Received: April 2017

Revised: May 2018

Accepted: June 2018

Abstract

In order to evaluate the effects of silicone nano oxide coated with humic acid and salicylic acid on some morphological parameters and ionic composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) under salinity stress, two set of experiments were conducted (in lab. and greenhouse) during 2016-2017. First, silicone nano oxide was coated by different concentrations of humic acid (40-1600 mg l⁻¹) in the presence of salicylic acid (pH=4) and at different times (0.5 to 120 hours) to maximize the coverage and energy absorption. Then, the effects of coated silicone nano oxide were evaluated in salinity stress in a split plot experiment based on randomized complete blocks with four replications. The salinity treatment was applied in three levels including 2 ds m⁻¹ as control, 3.5 and 5 ds m⁻¹ with irrigation. The coated silicone nano oxide treatments included 0, 0.25, 0.5 and 0.75 g l⁻¹, applied via irrigation at two growth stages of black cumin (vegetative and reproductive). The results of laboratory experiment showed that by increasing humic acid concentration and exposure time (in presence of salicylic acid), the carbon adsorption rate increased from 6.6 to 11.9 mg g⁻¹. However, the size of silicone nano oxide was not significantly different (20 to 30 nanometers). Results of analysis of variance showed that changes in dry weight of shoot, root, plant height, shoot/root ratio, number of branches, relative water content, and potassium in the salinity treatments and coated nanoparticles were independently significant. It is concluded that the silicone nano oxide coated with humic acid and salicylic acid can result in increased salinity tolerance of the black cumin through reducing the amount and frequency of these materials.

Keywords: black cumin (*Nigella sativa* L.), nanosilica, salicylic acid, humic acid.