

Investigating the Effect of Coated Nanosilicon Oxide with Humic Acid on Yield, Ion Composition and Salinity Tolerance of Black Cumin (*Nigella sativa* L.)

HAMID MOLAHOSEINI¹, MOHAMMAD FEIZIAN^{2*}, EBRAHIM MEHDI POUR³, SAEIDDAVAZDAH EMAMI⁴

1. Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
 2. Soil Science Department, Agriculture Faculty, Lorestan Univ, Iran,
 3. Chemistry Department, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
 4. Natural Resource Research Departments, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
- (Received: Apr. 9, 2020- Revised: Aug. 22, 2020- Accepted: Aug. 31, 2020)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of coated nanosilicon oxide with humic acid (coHA-nSi) on yield, ion composition and salt tolerance of black cumin (*Nigella sativa* L.) in 2017-2018. The experiment was performed in the form of split-plot based on Randomized Complete Block Design with four replicates under greenhouse condition. The main plot was salinity levels including 2 (control), 3.5 and 5 dS/m. The sub plots was SiO₂-nanoparticles including Control (without nanosilicon oxide), uncoated nanosilicon oxide (0.5 g/l) and coated nanosilicon oxide (0.5 g/l) which were applied in multi leave stage (15 days after planting) and flowering stages (50 days after planting). The results demonstrated that the salinity stress decreased yield and its components significantly. The application of coated nano silicon oxide increased significantly the seed weight (18.9%) and biomass dry weight (8.9%), dry root weight (23.7), number of capsules (24%) and number of seed (15.9%), harvest index (10.5%) and relative leaf moisture content (20.7%) and decreased significantly the ionic leakage (IL, 18.1%) compared to the uncoated nanoparticles. Also, it increased the uptake of leaf nutrients such as nitrogen, potassium and calcium. Therefore, it is concluded that the silicon nanooxide coated with humic acid could increase the effect of this nanoparticle on salinity tolerance indices, quantitative and qualitative traits of black seed under saline conditions.

Keywords: Coated Nanoparticles, Humic Acid, Medicinal Plants.

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

بررسی تأثیر نانو اکسید سیلیسیوم پوشش داده شده با اسید هیومیک بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

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

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

آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

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

۳. گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

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

آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۱۰)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر نانو اکسید سیلیسیوم پوشیده با اسید هیومیک (نانوذره پوشش‌دار) بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری گیاه سیاه‌دانه، این پژوهش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. آزمایش در قالب طرح اسپیلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار در شرایط گلخانه اجرا گردید. تیمار اصلی شوری در ۳ سطح شامل ۲، ۳/۵ و ۵ دسی زیمنس بر متر با آب آبیاری و تیمار فرعی نانو اکسید سیلیسیوم (نانوذره) شامل شاهد (بدون مصرف نانو ذره)، نانو ذره بدون پوشش (غلظت ۰/۵ گرم در لیتر) و نانو ذره پوشش‌دار (غلظت ۰/۵ 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 شد. نتایج نشان داد که عملکرد و اجزا آن با افزایش شوری کاهش معنی‌دار داشتند، ولی تأثیر شوری روی آنها متفاوت بود. کاربرد نانو ذره پوشش‌دار باعث افزایش معنی‌دار صفات وزن دانه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، تعداد کپسول بالغ، تعداد دانه در متر مربع، شاخص برداشت و رطوبت نسبی برگ و کاهش معنی‌دار نشت یونی نسبت به شاهد شد و تأثیر آن به ترتیب ۱۸/۹، ۲۴، ۲۳/۷، ۸/۹، ۱۸/۹، ۱۵/۹، ۱۰/۵، ۲۰/۷ و ۱۸/۱ درصد بیشتر از نانو ذره بدون پوشش بود. علاوه بر این باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، پتاسیم و کلسیم در برگ گردید. لذا با توجه به نتایج آزمایشات، پوشش نانو اکسید سیلیسیوم توسط اسید هیومیک، می‌تواند تأثیر نانو ذره فوق را بر شاخص‌های تحمل به شوری و صفات کمی و کیفی سیاه‌دانه تحت شرایط شوری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، گیاهان دارویی، نانو ذره پوشش‌دار.

مقدمه

ضروری نظیر کلسیم و پتاسیم، به هم خوردن توازن یونی و سمیت ناشی از انباشتگی یون‌های سدیم و کلر بر غشاهای سلولی و اندامک‌ها می‌شود (Kaya et al., 2006).

سیلیسیوم دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱ درصد) بعد از اکسیژن (۴۹ درصد) است. علی‌رغم فراوان بودن این ماده در سطح زمین به دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاه خارج بوده و گیاهان تنها قادر به استفاده از فرم سیلیسیلیک اسید آن می‌باشند و به دلیل این که در دسته عناصر ضروری برای رشد گیاهان قرار نگرفته، توجه زیادی به نقش بیولوژیکی آن در گیاه نشده است ولی در برخی گیاهان به‌عنوان یک عنصر ضروری می‌باشد (Epstein, 1999). نتایج تجزیه بافت گیاهی نشان داده است که غلظت

تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده رشد و عملکرد گیاهان را در بسیاری از مناطق دنیا محدود می‌کنند و در بین تنش‌های غیر زنده شوری بعد از خشکی دومین عامل محیطی محدود کننده تولیدات کشاورزی در جهان است. ایران با ۲۷ میلیون هکتار اراضی شور در مقام اول کشورهای آسیا قرار دارد و از نظر اقلیمی در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک با ویژگی‌هایی نظیر تبخیر زیاد و بارش‌های جوی اندک و پراکنده می‌باشد (Pirasteh, 2015). شوری علاوه بر تنش اسمزی، جذب و انتقال یون‌های سمی به بافت‌های گیاهی را افزایش می‌دهد و همچنین باعث اختلال در جذب و انتقال برخی عناصر غذایی

جمع‌آوری ذخایر دانه نیز تحت تأثیر قرار گرفتند (Sabaghnia, and Janmohammadi, 2015). کاربرد سیلیسیوم و نانو اکسید سیلیسیوم به‌طور معنی‌داری باعث افزایش جوانه‌زنی دانه‌های لوبیا تحت تنش شوری گردید. در میان تیمارها، تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیسیوم و نانو اکسید سیلیسیوم ویژگی‌های جوانه‌زنی را بهبود بخشید. محتوای نسبی آب، ارتفاع گیاه و وزن خشک و تازه نیز در تیمار با سیلیسیوم یا نانو سیلیسیوم افزایش یافت (Qados et al., 2015). در ریحان وزن خشک و تازه برگ، محتوای کلروفیل و محتوای پروتئین پس از درمان با نانو سیلیسیوم تحت تنش شوری افزایش یافت (Kälteh et al., 2014). اسید هیومیک در خاک شور از طریق تقویت رشد میکروبی، بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی و فعالیت آنزیم باعث بهبود تولید محصولات کشاورزی می‌شود (Shaaban et al., 2013; Khattak et al., 2013).

Nikbakht et al. (2007) با کاربرد اسید هیومیک (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) تجمع کلسیم را در برگ و ساقه گل افزایش داد که منجر به افزایش عمر پس از برداشت و کاهش ناهنجاری خمش گردن نسبت به شاهد شد به‌نحوی که عمر پس از برداشت در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۳/۷ روز افزایش یافت. همچنین کاربرد اسید هیومیک توانست پایداری غشای یاخته‌ای را افزایش دهد و به‌دنبال آن درصد نشت یونی و آنتوسیانین از گلبرگ‌ها به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت.

Jarosova et al. (2016) گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک به غلظت نیم و یک درصد موجب کاهش اثرات منفی شوری در ارتفاع گیاه جو گردید. چنین به‌نظر می‌رسد که کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش شوری باعث جذب آب بیشتر در داخل بافت‌های گیاهی شده و در نتیجه با رقیق شدن غلظت یون‌های کلر و سدیم در بافت گیاهی اثرات زیان‌بار تنش شوری کاهش می‌یابد. Aydin and Matin (2012) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت ۰/۱ درصد (جرمی/حجمی) باعث افزایش معنی‌دار برخی از ویژگی‌های رویشی گیاه لوبیا گردید. کاربرد اسید هیومیک باعث بهبود کمی میوه نظیر وزن یک میوه و عملکرد میوه کیوی گردید (Mahmoudi et al., 2013).

در یک تحقیق دیگر محلول‌پاشی گیاه دارویی ریحان با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک در شرایط تنش شوری ۵۰ میلی‌مولار، باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ و وزن کل گیاه گردید به‌طوری‌که صفات مذکور اختلاف معنی‌داری با گیاهان شاهد در شرایط بدون تنش شوری نداشتند (Gohari et al., 2017). همچنین Narimani et al. (2018) گزارش کردند که کاربرد غلظت ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم

سیلیسیوم بسته به گونه گیاهی بین ۱ تا ۱۰۰ گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه متغیر است (Khoshgofarmanesh, 2010). این عنصر می‌تواند باعث افزایش تولید، کیفیت محصول و کاهش تبخیر و تعرق شود. دیواره‌های سلول‌های اپیدرم به‌وسیله لایه‌های محکم سیلیسیوم آغشته می‌شوند و در برابر از دست رفتن آب به‌وسیله تعرق کوتیکولی و نیز در برابر آلودگی‌های قارچی محافظت می‌شوند. علاوه بر دیواره‌های سلولی اپیدرم برگ‌ها، سیلیسیوم در دیواره‌های سلول آوند چوبی نیز قرار گرفته و از فروریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند (Marschner, 1995). کمبود سیلیسیوم در گیاه برنج، باعث کاهش مقدار کلروفیل و فتوسنتز می‌شود که ناشی از نقش سیلیسیوم در زنجیره فتوسنتزی و ممانعت از تخریب کلروفیل در این گیاه می‌باشد (Agarie et al., 1993).

افزودن نانو ذرات به محلول‌های غذایی گیاهان به‌عنوان کود به دلیل داشتن اثرهای بی‌نظیر آنها مانند نفوذ سریع‌تر و راحت‌تر به درون غشای سلولی، توجه زیادی را در بین تولیدکنندگان به‌خود جلب کرده‌است. اگرچه مکانیسم نانو ذرات هنوز به‌خوبی شناخته نشده‌است ولی نانو ذرات دارای خصوصیات واحدی هستند به طوری‌که آنها می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را در گیاهان به مواد غیر نانو تغییر دهند. سطح ویژه زیاد نانو ذرات نسبت به ذرات غیر نانو باعث شده که حلالیت و سطح فعال آنها نسبت به ذرات غیر نانو بیشتر باشد. نانو ذرات مورد استفاده در گیاهان شامل نانو اکسید تیتانیوم، نانو اکسید سیلیسیوم و نانو لوله‌های کربنی می‌باشد (Castiglione and Cremonini, 2009).

نانوذرات سیلیکا که به‌وسیله ریشه جذب می‌شوند، یک‌لایه در دیواره سلولی ایجاد می‌کنند و باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها و بهبود عملکرد آنها می‌شوند (Derosa et al., 2010). سیلیسیوم و نانو اکسید سیلیسیوم تنش آبی را تعدیل و رشد گیاه را افزایش می‌دهد. اثر تعدیل‌کننده سیلیسیوم بر شوری در لوبیا، برنج، کهور، گندم، جو، خیار و گوجه‌فرنگی مورد آزمایش قرار گرفته است (Naseri et al., 2011). سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه و وزن تر و خشک گیاه گوجه‌فرنگی گیلاسی با مصرف مداوم نانو اکسید سیلیسیوم در محلول غذایی با غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار به ترتیب افزایش و کاهش معنی‌دار داشتند (Haghighia and Pessarakli, 2013).

استفاده از غلظت ۱ میلی‌مولار نانو اکسید سیلیسیوم موجب کاهش قابل‌ملاحظه اثرهای نامطلوب تنش شوری در درصد جوانه‌زنی دانه‌های عدس شد است. طول ریشه و شاخه، وزن گیاهچه، متوسط زمان جوانه‌زنی، شاخص رشد گیاهچه و

نانوذره پوشش دار*۴ تکرار) انجام شد. فاکتور اصلی شوری با نمک کلرید سدیم در ۳ سطح شامل شاهد (S_1)، $3/5$ (S_2) و ۵ دسی زیمنس بر متر (S_3) همراه با آب آبیاری از ۲۰ روز پس از کاشت نشاء، فاکتور فرعی نانو اکسید سیلیسیوم شامل شاهد (بدون مصرف نانو اکسید سیلیسیوم)، نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (غلظت ۰/۵ گرم در لیتر) و نانو اکسید سیلیسیوم پوشش دار (غلظت ۰/۵ 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.

بذرهای گیاه سیاه دانه با هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه ضد عفونی و ۳ تا ۵ مرتبه با آب مقطر شسته شدند بذرهای ضد عفونی شده درون سینی های نشاء حاوی پیت ماس در نیمه دوم بهمن ماه در گلخانه کشت گردید. تعداد ۵ نشاء در هر گلدان پلاستیکی استوانه ای (قطر دهانه ۲۰ سانتی متر و ارتفاع ۲۵ سانتی متر) حاوی مخلوط مساوی پرلیت پودری با پرلیت ۱ تا ۳ میلی متری در نیمه دوم اسفند ماه کشت و پس از استقرار نشاءها تعداد دو نشاء در هر گلدان حفظ و مابقی حذف شدند. به منظور جلوگیری از تجمع نمک در بستر گلدان ها، در پایان هر نوبت آبیاری شوری آب خارج شده از ته گلدان ها با شوری آب آبیاری مقایسه و در صورت افزایش، گلدان ها به منظور خروج نمک اضافی و رسیدن به تعادل شوری با آب آبیاری آبشویی می 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 های منتخب (چند گلدان حاوی بستر و دو بوته) انجام گردید. ۱۲۰ روز پس از تغذیه بوته ها 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 بوته ها، ریزش برگ ها، کرمی رنگ شدن کپسول و سیاه و سفت شدن بذور در کپسول، بوته ها برداشت و صفات اندازه گیری شدند. صفات وزن دانه، وزن هزار دانه، تعداد کپسول بالغ در متر مربع، تعداد دانه در گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه از طریق خشک کردن در آون (Valentovic et al., 2006)، شاخص برداشت از نسبت وزن دانه به وزن خشک اندام هوایی (با توجه به تعداد ۲ بوته در هر گلدان، قرار گرفتن ۲۵ گلدان در هر متر مربع، تراکم بوته در متر مربع ۵۰ بوته)، محتوای آب نسبی برگ (Mishra and Choudhuri, 1999) و نشت یونی (Kaya et al., 2002) اندازه گیری شدند. محتوای آب نسبی برگ از رابطه ۱ محاسبه شد.

وزن (وزن برگ خشک شده در آون_وزن برگ تر) / RWC =
(رابطه ۱) $100 \times \{ \text{وزن برگ خشک شده در آون} - \text{آماس برگ} \}$

در لیتر اسید هیومیک منجر به بهبود صفات رویشی گیاه دارویی بادرشبی از قبیل طول شاخه فرعی، طول سنبله و صفات مربوط به ریشه نسبت به شاهد گردید. در مطالعه ای تأثیر استفاده از اسید هیومیک بر تعداد گل، وزن تر گل و وزن تر و خشک کلاله زعفران مثبت بود (Koocheki et al., 2016).

یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش تنش شوری استفاده تلفیقی موادی است که توانایی تعدیل اثرات مخرب شوری را دارا باشند. از جمله موادمطرح در این زمینه اسید هیومیک و نانو اکسید سیلیسیوم می باشد. با پوشش نانوذرات اکسید سیلیسیوم به وسیله اسید هیومیک، بدون تغییر در اندازه نانوذره 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 پوشیده با اسید هیومیک بر عملکرد و افزایش تحمل به شوری گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) انجام شد.

مواد و روش ها

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر نانو اکسید سیلیسیوم پوشیده با اسید هیومیک (نانوذره پوشش دار) بر عملکرد، ترکیب یونی و تحمل به شوری گیاه سیاه دانه، در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در گلخانه واقع در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان انجام شد.

به منظور پوشش اسید هیومیک بر نانو اکسید سیلیسیوم، ابتدا ۱ لیتر سوسپانسیون حاوی یک گرم نانو اکسید سیلیسیوم و ۱۶۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک در آزمایشگاه تهیه و پس از تنظیم اسیدیته روی ۴ به مدت ۱۲۰ ساعت به هم زده شد. سرانجام سوسپانسیون مذکور به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و نانو مواد رسوب (نانوذره پوشش دار) کرده پس از شستشو با آب مقطر، خشک و آسیاب شد (Liang et al., 2011). مقدار پوشش اسید هیومیک روی نانو اکسید سیلیسیوم (نانوذره پوشش دار) با اندازه گیری مقدار کربن آن توسط دستگاه (CHNS) تعیین گردید همچنین اندازه نانو اکسید سیلیسیوم در قبل و بعد از پوشش با استفاده از تکنیک آزمایشگاهی میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) بررسی شد (Liang et al., 2011).

اثر بخشی نانو اکسید سیلیسیوم پوشش دار در قالب طرح اسپیلیت پلات بر پایه بلوک های کامل تصادفی در ۴ تکرار (تعداد ۹۶ گلدان شامل ۲ گلدان در هر کرت*۳ تیمار شوری*۴ تیمار

نشت یونی مطابق رابطه ۲ تعیین گردید.

$$EL = (EC1/EC2) * 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

EC1= هدایت الکتریکی اولیه محلول حاوی نمونه‌های برگ بعد از چهار ساعت

EC2= هدایت الکتریکی نهایی محلول حاوی نمونه‌های برگ بعد از انجماد

به منظور تعیین تأثیر تیمارها در تحمل به شوری، در مرحله رسیدن دانه نمونه‌های برگ تهیه و غلظت عناصر مختلف نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی، منگنز، سرب و کادمیوم در نمونه‌های گیاهی پس از هضم نمونه‌ها با کمک اسید سولفوسالیسیلیک اندازه‌گیری شد (Emami, 1996). برای اندازه‌گیری نیتروژن از دستگاه کج‌دال (Foss)، فسفر از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jenway) بر اساس روش رنگ سنجی با استفاده از معرف آمونیوم وانادات، پتاسیم و سدیم از دستگاه فلیم فتومتر (Corning405) بر اساس روش نشر شعله و عناصر غذایی میکرو از دستگاه جذب اتمی (PerkinElmer2380) بر اساس روش هضم‌تر استفاده شد (Emami, 1996). تجزیه و تحلیل کلیه داده‌ها و مقایسه‌ی میانگین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار ام‌اس‌ت‌اس‌سی^۱ و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین برای رسم نمودار از نرم‌افزار اکسل^۲ استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن دانه، تعداد دانه، تعداد کپسول بالغ و وزن هزار دانه
 بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمار شوری و نانوذره بر صفات وزن هر دانه، تعداد دانه در کپسول و تعداد کپسول بالغ در گیاه سیاه‌دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار، ولی اثرات تیمار شوری و نانوذره بر صفت وزن هزاردانه معنی‌دار نبود. همچنین اثرات متقابل تیمارهای فوق بر صفت وزن هر دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج جدول مقایسه میانگین نشان داد با افزایش شوری صفات وزن هر دانه، تعداد کپسول بالغ و تعداد دانه در شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۸/۵، ۱۸/۵ و ۱۷/۳ درصد و در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۲۶، ۲۵ و ۲۱/۱ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد (بدون تنش شوری) داشتند (جدول ۲). کاربرد تیمار نانوذره پوشش‌دار باعث افزایش معنی‌دار صفات مذکور

نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) شد و تأثیر آن به ترتیب ۱۸/۹، ۲۴ و ۱۵/۹ درصد بیشتر از نانوذره بدون پوشش بود. به طوری که بیشترین صفات مذکور در تیمار ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذره پوشش‌دار و کمترین مقدار آنها در تیمار شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین مقایسه اثر متقابل نانوذره و شوری روی صفت وزن هر دانه نشان داد که کاربرد نانوذره پوشش‌دار در کلیه سطوح شوری باعث افزایش معنی‌دار این صفت نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و کاربرد نانوذره بدون پوشش شد و بیشترین افزایش آن نسبت به دو تیمار فوق مربوط به شرایط غیر شور به ترتیب ۳۱ درصد و ۲۱/۸ درصد بود (شکل ۱). کاهش رشد و عملکرد گیاهان در اثر شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش‌های بی‌بهره برگ‌ها و یا به دلیل بسته شدن جزئی و یا کلی روزه‌ها به علت اثر مستقیم نمک بر سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر آن بر توازن یونی باشد (Heidari, 2001; Sharifabad). مشابه نتایج این آزمایش، سایر محققین اثرات مضر شوری بر کاهش عملکرد و اجزاء آن را در گیاهان سیاه‌دانه، رازیانه و زیره سبز گزارش کردند (Said-Al Ahl and Omer, 2011; Khalid, 2015). نانو ذرات سیلیکا با جذب به‌وسیله ریشه و ایجاد یک لایه در دیواره سلولی باعث افزایش تحمل گیاهان به تنش‌ها و بهبود عملکرد آن‌ها می‌شود (Derosa et al., 2010). همچنین به نظر می‌رسد که کاربرد اسید هیومیک در شرایط تنش شوری باعث جذب بیشتر آب در داخل بافت‌های گیاهی و در نتیجه رقیق شدن غلظت یون‌های کلر و سدیم و کاهش اثرات زیان‌بار تنش شوری می‌شود. نتایج مشابهی از کاربرد مجزا نانو اکسید سیلیسیوم و اسید هیومیک بر عملکرد گیاهان تحت تنش شوری به دست آمده است. مشابه نتایج این پژوهش تأثیر مثبت نانو اکسید سیلیسیوم در افزایش عملکرد و اجزاء آن در گیاهان خیار و فلفل تحت تنش شوری و کاربرد اسید هیومیک در افزایش عملکرد و اجزاء آن در گیاهان کیوی، توت‌فرنگی و نخوفرنگی تأیید شده است (Abdelazim et al., 2017; Forgac and Czimbalmos, 2011; Aghaeifard et al., 2015; Gad El-Hak et al., 2012).

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

مطابق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱)، تأثیر تیمار شوری و نانوذره بر صفات وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. صفات مذکور در سطح شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۶/۴ و ۲۱/۴ درصد و

معنی‌دار ۱۰ تا ۲۰ درصدی برخی صفات رویشی شامل طول میانگره، ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک ساقه و برگ گیاه دارویی بادرشبو در سطوح شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم گردیده است (Narimani et al., 2018). مقایسه نتایج سایر محققین با یافته‌های این پژوهش، هم‌خوانی دارد. بر این اساس، به نظر می‌رسد که تاثیر نانو ذره پوشش‌دار در افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی و ریشه نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانو ذره بدون پوشش، به علت تجمع اثرات نانو اکسید سیلیسیوم و اسید هیومیک بر صفات فوق در شرایط تنش شوری، بیشتر می‌باشد.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر شوری بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد و تاثیر نانو ذره در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). کاهش شاخص برداشت در شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۹/۸ درصد و در شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، ۱۲/۸ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۲). کاربرد تیمار نانو ذره پوشش‌دار باعث افزایش معنی‌دار صفت مذکور نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) شد و تاثیر آن به میزان ۱۰/۵ درصد بیشتر از نانو ذره بدون پوشش بود (جدول ۳). پاسخ صفت مذکور به اثر متقابل نانو ذره و شوری نشان داد که کاربرد نانو ذره پوشش‌دار در کلیه سطوح شوری باعث افزایش معنی‌دار صفت فوق نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانو ذره بدون پوشش شد و بیشترین افزایش آن نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) مربوط به شرایط غیر شور به میزان ۲۱/۳ درصد و نسبت به نانو ذره بدون پوشش مربوط به شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر و به میزان ۱۷/۴ درصد بود (شکل ۳). برخی محققان بیان نمودند که کاربرد سیلیسیوم سبب افزایش عملکرد و زیست توده گیاهان می‌شود (Savvas et al., 2015). مقایسه نتایج این آزمایش با یافته‌های سایر محققین در این زمینه نیز هم‌خوانی دارد. کاربرد سیلیسیم تاثیر مثبت بیشتری بر عملکرد دانه نسبت

همچنین کاربرد اسید هیومیک از طریق افزایش تهویه بستر، به عملکرد بیولوژیک و اجزای آن (وزن خشک برگ و ساقه) در گیاه دارویی خرفه داشته است (Rahimi et al., 2010). جذب عناصر غذایی افزایش تقسیم سلولی، افزایش رشد گیاه و فتوسنتز سبب افزایش وزن خشک گیاهان می‌شود (Samavat et al., 2006). اثر کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری بر صفات ذرت نشان داد که کاربرد این ماده، ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و بیولوژیک را به طور معنی‌داری افزایش داد (Ghorbani et al., 2010). در مطالعه دیگری کاربرد اسید هیومیک در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و

در سطح شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۱۹/۷ و ۳۳/۷ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد (بدون تنش شوری) داشتند (جدول ۲). کاربرد تیمار نانو ذره پوشش‌دار باعث افزایش صفات مذکور نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) شد و تاثیر آن به ترتیب ۸/۹ و ۲۳/۷ درصد بیشتر از نانو ذره بدون پوشش بود (جدول ۳). مقایسه اثر متقابل نانو ذره و شوری روی صفت وزن خشک اندام هوایی نشان داد که نانو ذره پوشش‌دار در کلیه سطوح شوری باعث افزایش معنی‌دار صفت مذکور نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانو ذره بدون پوشش شد و بیشترین افزایش آن نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) مربوط به شرایط غیر شور به میزان ۷/۴ درصد و نسبت به نانو ذره بدون پوشش مربوط به شوری ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر ۱۳/۸ درصد بود (شکل ۲). تاثیر شوری بر کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را می‌توان به علت کاهش تقسیم سلولی، عدم تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر، تاثیر یون‌های سمی به ویژه سدیم، اختلال در جذب، احیا و متابولیسم نیتروژن، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز نسبت داد (Parida and Das, 2005). نتایج سایر محققین مبنی بر تاثیر افزایش شوری بر کاهش صفات رویشی نظیر طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، طول میانگره و بیوماس گیاهان دارویی سیاه دانه، نعنای، مریم‌گلی و زنیان با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد (Hajar et al., 1996; Taarit et al., 2009; Khorasaninejad et al., 2004; Ashraf et al., 2010). از طرفی کاربرد سیلیسیوم باعث افزایش زیست‌توده، تحریک رشد گیاه، افزایش وزنی ساقه گیاه و افزایش ریشه‌زنی و حجم ریشه می‌شود (Heckman, 2013; Mohaghegh et al., 2010). کاربرد غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیوم تحت شوری ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش معنی‌دار ۲۵ تا ۳۵ درصدی پارامترهای رویشی گیاه فلفل شده است (Abdelazim et al., 2017). همچنین در تحقیقی دیگر محلول پاشی غلظت ۱ گرم در لیتر نانو اکسید سیلیسیوم در کلیه سطوح شوری (۱، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) باعث افزایش معنی‌دار ۳۰ تا ۶۰ درصدی وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه ریحان گردیده است (Kalteh et al., 2014). همچنین افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه با کاربرد هیومیک اسید در گیاهان مختلف (Daur and Bakhshwain, 2013; Cimrin et al., 2010) گزارش شده است. کاربرد اسید هیومیک در غلظت‌های مختلف باعث افزایش معنی‌دار ۲۰ تا ۴۰ درصدی برخی صفات رویشی نظیر تعداد برگ، ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه دارویی ریحان در سطوح شوری ۰، ۲۵ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (Gohari, et al., 2017) و افزایش

بود. همچنین تأثیر نانوذره روی میزان جذب نیتروژن و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد و بر میزان جذب منیزیم، سدیم و آهن در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. اثرات متقابل تیمارهای فوق بر جذب سدیم در سطح احتمال یک درصد و نسبت پتاسیم به سدیم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). کاربرد تیمار نانوذره پوشش دار باعث افزایش جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در برگ نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) شد و تأثیر آن به ترتیب ۲/۳، ۸/۳، ۱۱/۸، ۲۵/۴، ۹/۲، ۱۹/۶ و ۶/۶ درصد بیشتر از نانوذره بدون پوشش بود (جدول ۵). مقایسه اثر متقابل نانوذره و شوری روی میزان جذب سدیم و نسبت جذب پتاسیم به سدیم برگ نشان داد که کاربرد نانوذره پوشش دار بیشترین کاهش و افزایش صفات مذکور را به ترتیب به میزان ۲۴/۵ و ۶۰/۶ درصد نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) در شرایط غیر شور داشت (شکل های ۴ و ۵).

۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک موجب افزایش قطر ساقه، طول ساقه، وزن خشک و عملکرد گیاه فلفل شده است (Turkmen et al., 2005). کاربرد اسید هیومیک طور معنی داری وزن میوه و عملکرد بیولوژیک میوه های فلفل را نسبت به تیمار عدم مصرف اسید هیومیک افزایش داد (Karakurt et al., 2009). به طور کلی با توجه به نتایج سایر مطالعات و یافته های این پژوهش می توان بیان نمود که تأثیر بیشتر نانوذره پوشش دار بر شاخص برداشت نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانوذره بدون پوشش ناشی از تجمع اثر مثبت این دو ترکیب بر این صفت بوده و تأثیر این تیمار معنی دار و قابل تأمل است.

جذب عناصر معدنی

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس تأثیر شوری بر میزان جذب منیزیم، سدیم و آهن در سطح احتمال یک درصد و بر میزان جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و کلسیم به سدیم در برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی دار

جدول ۱- آنالیز واریانس شوری و نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی برخی از صفات سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییرات
تعداد دانه	تعداد کیسول بالغ	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن دانه		
۵۵۴۵/۲	۵۱۹۳۲/۶	۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۹۸	۴۶۳۸/۲	۴۱/۴	۳	تکرار
۱۸۶۷۲۰/۲**	۳۴۹۵۰/۱۲**	۲۳*	۰/۰۲۱ ^{ns}	۱۳۳/۳**	۴۲۹۳۹/۶**	۲۸۰۸**	۲	شوری
۵۰۲۴/۲	۱۷۹۳۸/۸	۴/۹	۰/۰۰۵	۴/۸	۱۳۲۰/۳	۶۷/۴	۶	خطا
۲۰۸۰۳۵/۷**	۴۳۱۴۸۵/۶**	۳۰/۶**	۰/۰۱۱ ^{ns}	۸۸/۶**	۱۷۱۷۶/۴**	۲۱۲۷**	۲	نانوذره
۷۷۱۱/۴ ^{ns}	۴۲۷۱/۱ ^{ns}	۳/۷**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۸۹ ^{ns}	۲۲۵۷/۳*	۸۰/۸*	۴	اثر متقابل
۳۲۷۷/۵	۱۵۰۷۹	۰/۷	۰/۰۰۶	۳/۷	۶۵۸/۹	۲۴/۴	۱۸	خطا
۶	۱۱	۴/۳	۳/۸	۱۲	۵/۲	۵/۱		تغییرات

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح پنج درصد، معنی دار در سطح یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح شوری روی برخی از صفات سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

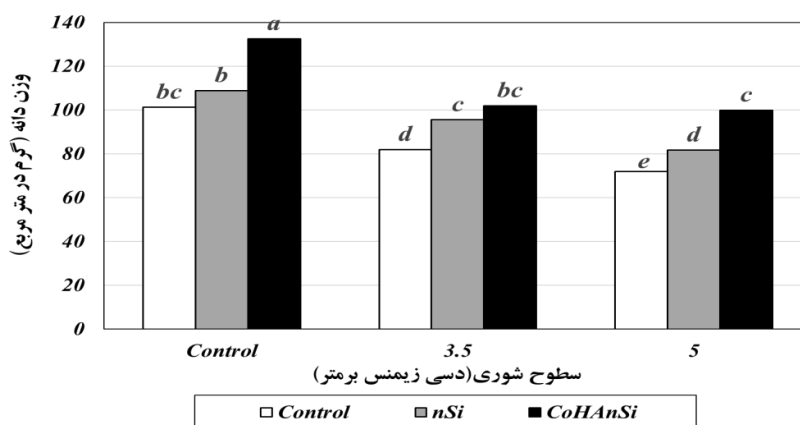
تعداد دانه (بوته)	تعداد کیسول بالغ (بر متر مربع)	وزن هزار دانه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم در متر مربع)	سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)
۱۱۰۶ ^a	۱۳۱۳ ^a	۱/۹۸ ^a	۱۹/۶ ^a	شاهد
۹۱۴/۳ ^b	۱۰۶۹ ^b	۲/۰۵ ^a	۱۵/۴ ^b	3/5
۸۷۲/۱ ^b	۹۸۳ ^b	۲/۰۱ ^a	۱۳ ^c	5

بر اساس آزمون دانکن ستون میانگین های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می باشند

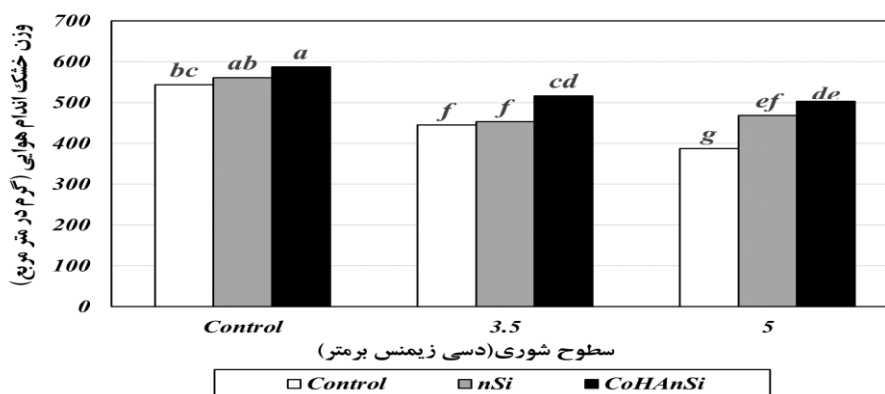
جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی برخی از صفات سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

تعداد دانه (بوته)	تعداد کیسول بالغ (متر مربع)	وزن هزار دانه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم در متر مربع)	نوع نانوذره
۸۳۲/۷ ^c	۹۴۵/۸ ^c	۱/۹۸ ^a	۱۳/۵ ^c	شاهد
۹۶۳/۹ ^b	۱۰۹۶ ^b	۲/۰۳ ^a	۱۵/۷ ^b	نانوذره بدون پوشش
۱۰۹۶ ^a	۱۳۲۳ ^a	۲/۰۴ ^a	۱۸/۹ ^a	نانوذره پوشش دار

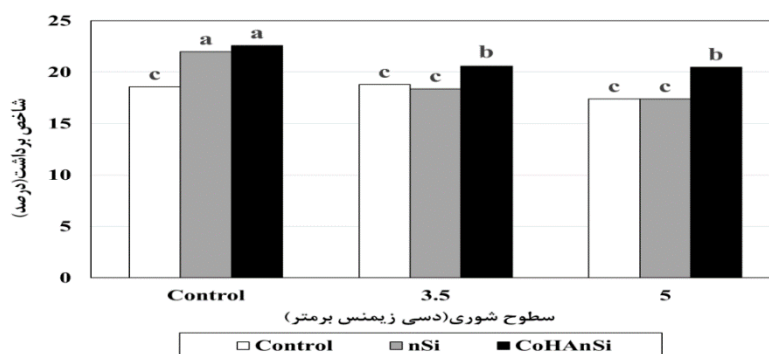
بر اساس آزمون دانکن ستون میانگین های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می باشند.



شکل ۱- وزن دانه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)



شکل ۲- وزن خشک اندام هوایی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)



شکل ۳- شاخص برداشت سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)

برای گیاه در نظر گرفته نمی شود و تجمع سدیم در گیاه در شرایط شور منجر به کاهش کلسیم و پتاسیم گیاه می گردد. اگرچه سدیم می تواند به افزایش فشار تورژسانس کمک کند، اما نمی تواند در فعالیت های فعال سازی آنزیمها و سنتز پروتئین جایگزین یون پتاسیم گردد. بنابراین ممکن است اثرات سمیت سدیم تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به علت کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتاسیم و کلسیم در گیاه باشد (Sato et al., 2006). جذب و محتوی عناصر و همچنین تعادل بین یونها در اثر تنش شوری به هم خورده و افزایش جذب یک عنصر مانع از جذب

در این تحقیق با افزایش سطوح شوری کاهش جذب نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم در برگ و افزایش اجباری جذب سدیم در قیاس با سایر عناصر مشاهده شد. همچنین کاهش مقدار پتاسیم با افزایش تنش شوری و سمیت یونی سدیم با اختلال در نسبت پتاسیم به سدیم محتوای بافت برگی نیز می تواند یکی از دلایل کاهش رشد باشد. کاهش رشد در شرایط کمبود پتاسیم احتمالاً می تواند به نقش مثبت پتاسیم در پایداری آنزیمها و پروتئینها و اثرات سمیت سدیم مربوط باشد. سدیم عنصر ضروری

سیلیسیوم و جذب کلسیم در گیاهان خیار و برنج (Ma and Takahashi 1993; Abdelazim et al., 2017) و اثر مثبت اسید هیومیک بر جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در گیاهان دارویی پروانش و اسفرزه (Gholami et Chamani et al., 2015; al., 2012)، گیاهان توت فرنگی و پیاز دارند (Aghaeifard et al., 2006). لذا تأثیر بسیار معنی دار نانوذره پوشش دار در جذب نیتروژن و پتاسیم نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) احتمالاً دلالت بر تجمیع اثرات مثبت هر دو ترکیب در جذب این عناصر و کنترل اثر منفی نانوذره بدون پوشش اکسید سیلیسیوم در جذب کلسیم و منیزیم دارد.

عنصر دیگر می شود (Baghalian et al., 2008). نتایج مشابه توسط محققین دیگر مبنی بر تأثیر شوری بر کاهش جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، نسبت پتاسیم به سدیم، در گیاهان دارویی سیاه دانه، بابونه و زنیان گزارش شده است (Rahimi et al., 2010; Khalid, 2015; Ashraf et al., 2004; سایر محققین مشابه نتایج مطالعه حاضر، دلالت بر رابطه مثبت نانو اکسید سیلیسیوم در جذب نیتروژن توسط گیاهان خیار و فلفل (Abdelazim et al., 2017) و همچنین تأثیر مثبت آن در جذب پتاسیم توسط گیاهان دارویی خرفه و شنبلیله دارد (Rahimi et al., 2010; Naseri et al., 2011). از طرفی نتایج مشابه توسط سایر محققین دلالت بر رابطه منفی کاربرد

جدول ۴ - آنالیز واریانس شوری و نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی جذب عناصر معدنی در برگ سیاه دانه (*Nigella sativa L.*)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نیتروژن	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سدیم	آهن
تکرار	۳	۲۹۳۵/۸	۲۵۲۵۴/۴	۲۲۸۵/۱	۱۷۶/۵	۹۸۹/۶	۰/۲۱
شوری	۲	۲۹۹۱۰/۸*	۲۲۴۰۳۳۸/۶*	۶۸۰۶*	۱۴۷۸/۷**	۷۴۶۸/۵**	۲/۲**
خطا	۶	۵۲۴۲/۹	۴۶۸۷۱/۳	۲۳۴۱/۴	۶۱/۳	۵۹۶/۲	۰/۰۶۷
نانوذره	۲	۱۱۵۴۶/۴**	۹۳۶۲۶/۶**	۵۱۵/۵ ^{ns}	۳۳۷/۹*	۶۷۰*	۰/۴*
اثر متقابل	۴	۱۲۷۴/۹ ^{ns}	۹۱۲۵/۷ ^{ns}	۸۳۷/۱ ^{ns}	۱۲۶/۴ ^{ns}	۱۱۰۶/۶**	۰/۱ ^{ns}
خطا	۱۸	۱۶۸۶/۸	۱۱۶۴۶/۹	۹۶۶/۵	۱۱۱/۱	۱۸۵/۲	۰/۱
تغییرات		۱۱/۴	۱۳/۱	۲۸	۲۵/۷	۱۵/۲	۲۰/۵

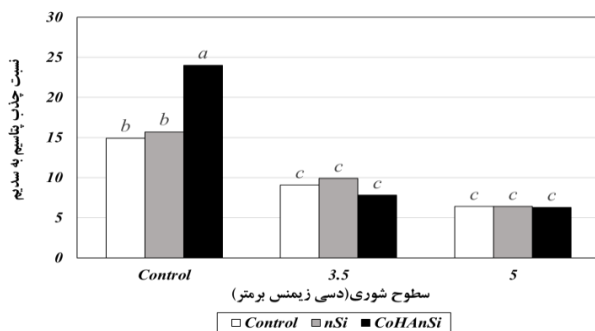
ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح پنج درصد، معنی دار در سطح یک درصد

جدول ۵ - مقایسه میانگین نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی جذب عناصر غذایی در برگ

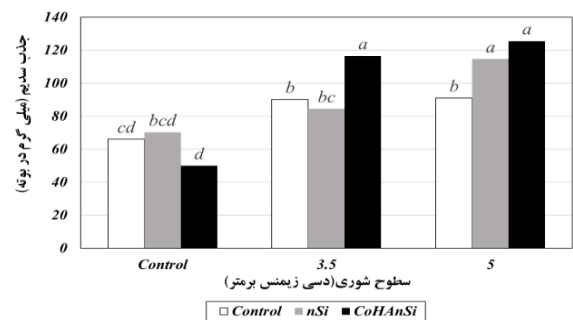
سیاه دانه (*Nigella sativa L.*)

نوع نانوذره	مقدار جذب عناصر (میلی گرم در بوته)					
	نیتروژن	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	گوگرد
شاهد	۳۲۵/۹b	۷۳۱/۲b	۱۱۰a	۴۱/۷ab	۱/۳a	۴۹/۷a
نانوذره بدون پوشش	۳۷۵/۵a	۸۴۴/۴a	۱۰۴/۸a	۳۵/۴b	۱/۶a	۵۹/۴a
نانوذره پوشش دار	۳۸۲/۹a	۹۰۵/۳a	۱۱۷/۸a	۴۶a	۱/۶a	۶۱/۴a

بر اساس آزمون دانکن ستون میانگین‌ها دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می باشند.



شکل ۵ - نسبت جذب پتاسیم به سدیم در برگ سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)



شکل ۴ - جذب سدیم در برگ سیاه دانه (*Nigella sativa L.*) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)

نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمار شوری روی صفات نشت یونی و رطوبت نسبی برگ سیاه دانه به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی دار و تاثیر تیمار نانوذره بر صفات فوق در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود همچنین اثر متقابل تیمارهای فوق بر صفت نشت یونی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۶). صفات نشت یونی و رطوبت نسبی برگ در سطح شوری ۳/۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۳۲/۴ درصد افزایش و ۱۴/۴ درصد کاهش و در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۷۶/۴ درصد افزایش و ۱۸/۶ درصد کاهش معنی دار نسبت به شاهد داشتند (جدول ۷). کاربرد تیمار نانوذره پوشش دار به ترتیب باعث کاهش و افزایش صفات نشت یونی و رطوبت نسبی برگ نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) شد و تاثیر آن به ترتیب ۱۸/۱ و ۱۱/۸ درصد بیشتر از نانوذره بدون پوشش بود (جدول ۸). مقایسه اثر متقابل نانوذره و شوری روی صفت نشت یونی نشان داد که نانوذره پوشش دار در کلیه سطوح شوری باعث کاهش معنی دار صفت مذکور نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانوذره بدون پوشش شد و بیشترین کاهش صفت نشت یونی نسبت به شاهد (بدون کاربرد نانو ذره) و نانو ذره بدون پوشش به ترتیب ۴۶/۹ و ۳۴/۹ مربوط به شرایط غیر شور بود (شکل ۶). گزارش‌های متعدد نشان می‌دهند که تنش شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ و افزایش نشت یونی می‌شود (Momeni et al., 2013; Jaleel et al., 2013). افزایش نشت الکترولیتی در گیاهان نشانه‌ای از آسیب غشاها و کاهش پایداری غشاها می‌باشد که احتمالاً نتیجه‌ی تنش اکسیداتیو منتج از

شوری است (Dkhill and Denden, 2012). همچنین کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ در شرایط شور مربوط به کاهش جذب آب گیاه است که سبب ایجاد پدیده ای به نام خشکی فیزیولوژیک می‌شود (Salimi et al., 2012). نتایج یافته‌های سایر محققین در خصوص تاثیر شوری بر افزایش نشت یونی در گیاهان سیاه‌دانه (Fazeli et al., 2018)، گلرنگ (Daneshmand et al., 2014)، آفتابگردان (Shi et al., 2004) و برنج (Lutts et al., 1996) و کاهش پتانسیل آب برگ در گیاهان سیاه‌دانه (Fazeli et al., 2018) و گلرنگ (Daneshmand et al., 2014) با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. سیلیسیوم به‌وسیله کاهش در نفوذپذیری غشاءسلولی، ممانعت از پراکسید شدن غشاءپلاسمایی و پایداری آن و همچنین با بهبود وضعیت آب گیاه و افزایش رطوبت نسبی برگ در شرایط تنش شوری باعث کاهش اثر سمیت شوری و بهبود رشد گیاه می‌شود (Zhu et al., 2004). کاربرد اسید هیومیک با غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تجمع کلسیم در برگ و ساقه گل ژبر را افزایش داد همچنین توانست پایداری غشای یاخته‌ای را افزایش و به‌دنبال آن درصد نشت یونی و آنتوسیانین از گلبرگ‌های گیاه مذکور را به‌صورت معنی‌داری کاهش دهد (Nikbakht et al., 2007). بررسی نتایج پژوهش حاضر و یافته‌های سایر محققین گواه این موضوع است که هر دو ترکیب سیلیسیوم و اسید هیومیک با مکانیسم‌های متفاوت پایداری غشا و محتوای نسبی آب برگ گیاهان را در شرایط تنش شوری افزایش می‌هند لذا کاربرد تلفیقی آنها باعث تجمع اثر آنها در افزایش تحمل به شوری گیاهان می‌شود.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر سطوح شوری روی رطوبت نسبی برگ سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

رطوبت نسبی (درصد)	سطوح شوری (دسی زیمنس بر متر)
۴۶/۷a	شاهد
۴۰b	۳/۵
۳۸b	۵

جدول ۸- مقایسه میانگین تاثیر نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی رطوبت نسبی برگ سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

رطوبت نسبی (درصد)	نوع نانوذره
۳۷/۵c	شاهد
۴۱/۴b	نانوذره بدون پوشش
۴۵/۸a	نانوذره پوشش دار

جدول ۶- آنالیز واریانس شوری و نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش و پوشش دار روی نشت یونی و رطوبت نسبی در برگ سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات نشت یونی	میانگین مربعات رطوبت نسبی
تکرار	۳	۲۶/۸	۳۶/۰۴
شوری	۲	۴۴۲۲/۲۵*	۲۴۸/۶**
خطا	۶	۱۲/۱	۲۰/۱
نانوذره	۲	۲۱۹۳/۲۵**	۲۰۴/۹۵**
اثر متقابل	۴	۱۰۷/۷۵*	۳/۰ ^{ns}
خطا	۱۸	۲۷/۳۹	۱۱/۳
تغییرات		۷/۶۷	۸/۱

بر اساس آزمون دانکن ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

تحقیق، نشانگر اثرات سودمند نانو اکسید سیلیسیوم پوشیده با اسید هیومیک (نانوذره پوشش دار) تحت شرایط تنش شوری بر گیاه سیاه دانه بود. به طوری که کاربرد نانوذره پوشش دار نسبت به کاربرد نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (نانوذره بدون پوشش) در کلیه سطوح شوری، تاثیر بیشتری روی افزایش شاخص های تحمل به شوری و جذب عناصر غذایی، صفات رویشی، عملکرد و اجزا آن داشت. این امر ناشی از تاثیر مشابه دو ترکیب نانو اکسید سیلیسیوم و اسید هیومیک بر توسعه ریشه، بهبود وضعیت آماس سلولی با افزایش جذب آب و ممانعت از دست رفت آب، تحریک رشد رویشی گیاه و بهبود جذب عناصر ضروری بخصوص نیتروژن و پتاسیم بود. علاوه بر این کاربرد نانوذره پوشش دار با کنترل اثر منفی نانوذره بدون پوشش در جذب کلسیم و منیزیم، باعث افزایش جذب آنها در برگ گیاه سیاه دانه شد. لذا بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، پوشش نانو اکسید سیلیسیوم توسط اسید هیومیک، می تواند شاخص های تحمل به شوری و صفات کمی و کیفی سیاه دانه تحت شرایط شور را افزایش دهد.

REFERENCES

Abdelazim, Y., Abdallah, E., Gaballah, M and Zaghloul, S. (2017). Role of Silicon Dioxide Nano Fertilizer in Mitigating Salt Stress on Growth, Yield and Chemical Composition of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Inte. J. Agric. Res.* 12 (3): 130-135.

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.

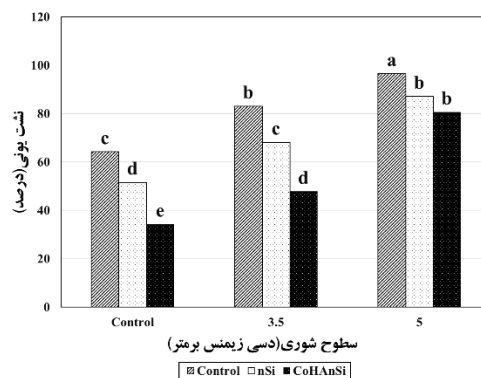
Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., Kubota, F. and Kaufman, P.B. (1993). "Effect of silicon on growth, dry matter production and photosynthesis in rice plant (*Oryza stiva*). " *Crop Prod. Improve, Technol*, 34: 225-234.

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.

Aydin A and Metin T, 2012. Humic acid application alleviates salinity stress of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants decreasing membrane leakage. *African Journal of Agricultural Research*, 7(7): 1073-1086.

Baghalian, K. Haghiry, A. Naghavi, M.R. and Mohammadi, A. (2008). Effect of saline irrigation on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Scientia Horticulturae*, 116. 437-441.

Castiglione Monica, R. and Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62:



شکل ۶. نشت یونی سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) در سطوح مختلف شوری تحت تیمار نانو اکسید سیلیسیوم بدون پوشش (nSi) و پوشش دار (CoHAnSi)

نتیجه گیری

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، شوری باعث کاهش معنی دار صفات وزن خشک اندام هوایی و ریشه، عملکرد دانه و اجزاء آن و تغییر برخی صفات فیزیولوژیکی نظیر افزایش نشت یونی و کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ شد. از طرفی نتایج حاصل از این

161-165, 2009.

Chamani, A., Bonyadi, M. And Ghanbari, A. (2015). Effect of salicylic acid and humic acid on growth indicators of ornamental medicinal plant Parvanesh (*Catharanthus roseus* L.). *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*, Volume 29, Number 4: 641-631 (In Farsi).

Cimrin, K. M., Türkmen, O., Turan, M. and Tuncer, B. 2010. Phosphorus and humic acid application alleviate salinity stress of pepper seedlings. *African Journal of Biotechnology*, 9, 5845-5851.

Daneshmand, F., Arvin, M. J. and Keramat, B. 2014. Salicylic acid induced changes in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 27 (2): 204-215 (in Farsi).

Daur, I. and Bakhshwain, A. A. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany*, 45:21-25.

Derosa, M. R., Monreal, C., Schmitzer, M., Walsh, R. and Sultan, Y. 2010. Nanotechnology in fertilizers. *National Nanotechnology* 1: 193-225.

Dkhil BB and Denden M. 2012. Effect of salt stress on growth, anthocyanins, membrane permeability and chlorophyll fluorescence of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seedlings. *Amer. J. Plant Physiol*, 7: 174 - 83.

Epstein, E. 1999. Silicon. *Plant Physiol*. 50: 641-664.

Emami, A. 1996. Method of leaf analyses. *Journal of Soil and Water Institute*, 982(2): 65-73 (in Farsi).

Forgac, L. and Czibalmos, R. 2011. The applied

- soilprotective cultivation system-a method to reduce and prevent the soil degradation processes. *Novenytermeles*, 60: 279-282.
- Fazeli, A., Zarei, B. and Tahmasebi, Z. 2018. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cummin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 9(4):69-83(In Farsi).
- 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.
- Gholami, H., Samawat, S. And paper Ardabili, Z. 2012. Effects of humic acid and folic acid on the resistance of saffron to salinity stress. Master Thesis, Islamic Azad University, Garmsar Unit (In Farsi).
- Ghorbani, S., H. R. Khazaei., M. Kafi and Banayan aval, M. 2010. Effect of application of humic acid on irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) yield. *Journal of Agricultural Ecology*, 2(1):111-118(In Farsi).
- 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.
- Heckman, J. 2013. Silicon: a beneficial substance. *Better crops*, 97(4): 14-16.
- Heidari Sharifabad, H. 2001. *Plant & Salinity*. Institute of Forests and Rangelands Research, P 199 (in Farsi).
- Haghighi, M. and Pessaraki, 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.
- 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 cummin (*Nigella sativa* L.)", *The Arab Gulf Journal of Science Reseach*, 14(2): 445-454.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. 1950. *The waterculturefor growing plants without soil*. CaliforniaAgriculture Experimental Statistics Circular.
- Jaleel, C. A., Sankar, B., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. (2013) Soil salinity alters growth, chlorophyll content and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology* 32: 79-83.
- Jarošová M, Klejduš B, Kovacik J, Babula P and Hedbavny J. 2016. Humic acid protects barley against salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(6): 1-9.
- 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.
- Karakurt, Y., Huvnlu, H., Unla, H. and Padem, P. 2009. The influence of foliar and soil fertilization of humic acid on yield and quality of pepper. *Acta Agric. Scand*, 59: 233-237.
- Kaya C., Kirnak H., Higgs D. and Saltali K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth at fruit yield instrawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *J. Scientia Horticulturae*, 93:65-74.
- Kaya, M. D., Okci, G., Atak, M., Cikili, Y. and Kolsarici, O. 2006. Seed treatment to overcome salt anddrought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291- 295.
- 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.
- Khattak, R. A., Haroon, K. and Muhammad, D. 2013. Mechanism(s) of humic acid induced beneficial effects in saltaffected soils. *Scientific Research and Essays - AcademicJournal*, 8: 932-939.
- Khorasaninejad, S., Mousavi, A., Soltanloo, H., Hemmati, Kh. and Khalighim, A. 2010."The Effect of Salinity Stress on Growth Parameters, Essential oil Yield and Constituent of eppermint (*Mentha piperita* L.)",*World Applied Sciences Journal*, 11(11): 1403-1407.
- Khoshgoftarmansh.H, 2010. *Advanced topics in plant nutrition*. Isfahan University of Technology Publishing Center, 369 p. (In Farsi).
- 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.
- 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.
- Lutts, S., J. M. Kient and J. Bauharmont. 1996. NaCl induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa*) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78: 389-398.
- Ma, J.F. and Takahashi, E. 1993. Interaction between calcium and silicon in water-culyured rice plants. *Plant soil*, 148: 107-113.
- Mahmoudi, M., Samavat, S., Mostafavi, M., Khalighi, A.and Cherati, A. 2013. The effects of proline and humic acid on quantitative properties of kiwi fruit. *International ResearchJournal Appliedand Basic Science*, 6 (8): 1117-1119.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plant*, Academic Liang press, London.
- Mishra, A. and Choudhuri, M. A.1999. Effects ofsalicylic acid on heavy metal induced membranedeterioration mediated by lipoxygenase in rice.*Biologia Plantarum*, 42: 409-415.

- Mohaghegh, P., Shirvani, M., and Ghasemi, S. 2010. Silicon application effects on yield and growth of two cucumber genotypes in hydroponics system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture-Isfahan University of Technology*, 1(1), 35-40.
- Momeni, N., Arvin, M., Khagoei negad, Gh. Keramat, B. and Daneshmand, F. 2013. Effects of sodium chloride and salicylic acid on some photosynthetic parameters and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant Biology* 5(15): 15-30 (in Farsi).
- Narimani, R; Moghadam, M; Nemati, H; Ghasemi Pir Bolouti, AS, 2018, Evaluation of salinity stress modification using humic acid and ascorbic acid in Badrshabi medicinal plant ", *Iranian Journal of Biology*, Volume 31, Number 2, (In Farsi).
- Naseri, M., Arvii, H., Nemati, S. H. And Kafi, M. 2011. The effect of different levels of salinity and silicon on biomass production, amount of sodium and potassium in the aerial parts of fenugreek. *Journal of Water and Soil*, Volume 26, Number 2, 514-508 (In Farsi).
- Nikbakht, AS; Kafi, M., Bablar, M., Etemadi, N. Ebrahimzadeh, H. Piang Shia, M. 2007. Effect of iomimetic Acid on Calcium and Physiological Behavior after Harvesting Gerbera Flowers. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(4), 248-237.
- Parida, A. K. and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.
- Pirasteh Anousheh, H., Roustaa, M. J. And Imam Y. 2015. Different methods of treating crops with salicylic acid in saline research. *National Research Center of Salinity, Yazd*, pages 1 to 20. (In Farsi)
- Qados. A., Moftah, A. E. 2015. "Influence of silicon and nano-silicon on germination growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions", *Am J Soc Hortic Sci*, 5(6): 509-524.
- Rahimi, A., Shamsodin Saeed, M. and Etemadi, F. 2010. "Effects of salt stress on germination, growth and ion contents of Cumin (*Nigella sativa* L.)", *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 1(2): 20-31.
- Rahimi, Z., Kafi, M., Nezami, A. And Khazaei, H. R. 2010. Effect of salinity and silicon levels on yield and yield of portulaca oleracea L. *Iranian Journal of Agricultural Research*, Volume 8, Number 3: 488-481 (In Farsi).
- Taarit, M.B., Msaada, K., Hosni, K., Hammami, M., Kchouk, M.E. and Marzouk, B. 2009. "Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions, *Industrial Crops and Products*", 30: 333-337.
- Turkmen, O., S. Demir, S. Sensoy and A. Dursun. 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *J. Biol. Sci*, 5(5): 565-574.
- Sabaghnia, N. and Janmohammadi, M. 2015. "Effect of nano-silicon particles application on salinity tolerance in early growth of some lentil genotypes / Wpływ nanocząstek krzemionki na tolerancję zasolenia we wczesnym rozwoju niektórych genotypów soczewicy", *Annal UMCS Biol*, 69(2): 39-55.
- 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.
- Salimi, F., Shekari, F., Azimi, M. R. and Zangani, E. 2012. Role of methyl jasmonate on improving salt resistance through some physiological characters in German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Plant Biology*, 27: 700-711 (in Farsi).
- Samavat, S. and Malakoti, M., 2006. Necessitates the use of organic acids (Humic and Fulvic) to increase the quantity and quality of agricultural products. *Technical Bulletin*, No. 463. Tehran.
- Sangeetha, M., Singaram, P. and Uma Devi, R. 2006. Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability. *International Union of Soil Science*.
- Sato. S., Sakaguchi. S., Furukawa. H. and Ikeda. H. 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* mill.). *Science Horticulture*, 109, 248-253
- Savvas, D., and Ntatsi, G. 2015. Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66-81.
- 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.
- Shi, D. and Sheng, Y. 2004. Effect of various Salt-alkaline mixed stress conditions on sunflower seedling and analysis of their stress factors. *Environmental and Experimental Botany*, 49: 107-120.
- Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant Soil and Environment*, 52(4): 186-191.
- Zhu, Z, Wei, G., Li, J., Qian, Q., and Yu, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167: 527-533.