

مطالعه تاثیر نانو اکسید روی بر بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کلزا تحت تنش شوری

هادی قمری^۱، سعید خماری^۲، محمد صدقی^۳، هدیه مصنوعی^{۴*}

^۱کارشناسی‌ارشد زراعت، گروه زراعت، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

^۲استادیار، گروه زراعت، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

^۳دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

^۴دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، عضو باشگاه پژوهشگران جوان

و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف نانو اکسید روی بر بهبود جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی کلزا مطالعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۲ در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل ۵ سطح نانو اکسید روی (۰، ۰/۳، ۰/۶، ۱/۲ و ۱/۸ میلی‌مولار) و چهار سطح تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و چهار تکرار بود. صفات اندازه‌گیری شده شامل درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزن قدرت و میزان عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم بود. نتایج نشان داد که شوری اثر بازدارنده بر قابلیت جوانه‌زنی، رشد و شاخص‌های قدرت گیاهچه‌ها داشت و نانو اکسید روی با افزایش میانگین این شاخص‌ها تاثیر تنش شوری را کاهش داد. همچنین با افزایش سطوح شوری مقادیر پتاسیم، کلسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم گیاهچه‌ها کاهش، اما مقدار سدیم گیاهچه‌ها افزایش یافت. استفاده نانو اکسید روی موجب افزایش مقادیر پتاسیم، کلسیم، نسبت پتاسیم به سدیم و نسبت کلسیم به سدیم گیاهچه‌ها و کاهش مقدار سدیم گیاهچه‌ها را سبب شد. به طور کلی سطح ۰/۶ میلی‌مولار نانو اکسید روی بهترین کارایی در مقابله با تنش داشت و موجب افزایش تحمل گیاه به تنش شوری گردید.

واژگان کلیدی: تنش، شوری، قدرت بذر، کلزا نانو اکسید روی.

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی نیمه حساس تا نیمه متحمل به شوری بوده و به‌عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی مورد توجه قرار گرفته است (Enferad et al., 2004). تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی در گیاهان می‌شود. این تنش رشد، فتوسنتز، سنتز پروتئین، متابولیسم لیپیدها، تنفس و تولید انرژی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Parida and Das, 2005). تنش شوری اثرات منفی بر استقرار گیاه، رقابت علف‌های هرز و عملکرد نهایی دانه خواهد داشت و سبب تغییرات زیادی در گیاهان از جمله هیدراتاسیون بافتی، سمیت یونی، عدم توازن مواد غذایی و غیره می‌شود (Al-Thabet et al., 2004). شوری با ایجاد اختلال در فعالیت ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه مانند کانال‌های انتخابی K^+ (رقابت سدیم با پتاسیم)، مهار رشد ریشه توسط اثرات اسمزی Na^+ و یا از طریق تاثیر Na^+ بر ساختار خاک موجب کاهش جذب آب و مواد معدنی می‌شود (Parida and Das, 2005).

کمبود روی یکی از مهم‌ترین مشکل گیاهان سراسر دنیا از نظر مواد غذایی ریزمغذی به خصوص در کشورهایی که خاک‌های آن‌ها دارای روی قابل دسترس کمی هستند، می‌باشد (Alloway, 2008). کمبود این عنصر تشکیل دانه و قدرت حیات آن را کاهش می‌دهد (Pandey et al., 2006). استفاده از نانو ذرات می‌توان کودهایی با رهایش کنترل شده تولید نمود. جذب کودهایی با این ابعاد راحت تر شده و نسبت به کودهای رایج تاثیر بیشتری دارند و از آلودگی محیط زیست و شوری بیش از حد خاک جلوگیری می‌کنند (Ranjbar and Shams, 2009).

(Lin and Xing, 2008) گزارش کردند کاربرد نانو اکسید روی تا میزان ۲ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش و مقادیر بیشتر سبب کاهش طول ریشه‌چه کلزا گردید، درحالی‌که مصرف نانو روی سبب کاهش طول ریشه‌چه شد. در مطالعه‌ای که توسط (Prasad et al., 2012) انجام شد، مشاهده شد که تیمار بذرهای بادام زمینی با نانو ذرات روی با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش معنی‌داری در جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و شاخص قدرت نسبت به سایر غلظت‌های همان ماده و غلظت‌های متغیر از مواد دیگر دارای روی مانند کلات سولفات روی ایجاد کرد. (Ali and Mowafy, 2003) گزارش کردند که محلول پاشی عنصر روی بر عملکرد و صفات کیفی گیاه بادام زمینی اثر مثبت داشتند همچنین (Baybordi and Mowafy, 2010) در مطالعه‌ای بر روی کلزا گزارش کردند استفاده از تیمار آهن با روی به‌صورت محلول پاشی و یا مصرف به خاک موجب افزایش وزن هزار دانه، افزایش نسبت وزن دانه به وزن خورجین، عملکرد دانه، عملکرد روغن، مقدار روغن و مقدار پروتئین دانه شد. (Yang et al., 2009) گزارش کردند کودهای بور، مولیبدن و روی سبب افزایش عملکرد، تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در گیاه، مقدار روغن و کاهش وزن هزار دانه، اسید اورسیک و گلوکز اینولات در گیاه کلزا می‌شوند. همچنین افزایش مصرف روی موجب افزایش عملکرد ارقام عدس شد به‌طوری‌که حداکثر عملکرد دانه با مصرف حداکثر مقدار روی و حداقل عملکرد دانه نیز با عدم مصرف روی به‌دست آمد (Gulser et al., 2004). با توجه به مطالب بیان شده هدف از این مطالعه بررسی نقش غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی در افزایش تحمل جوانه‌زنی کلزا به تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه فیزیولوژی و تکنولوژی بذر دانشکده‌ی علوم کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۲ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح

نانو اکسید روی (شاهد (۰)، ۰/۳، ۰/۶، ۱/۲ و ۱/۸ میلی مولار) و چهار سطح تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) با استفاده از کلرید سدیم بود. سطوح نانو اکسید روی با استفاده از آزمایش‌های مقدماتی بر پایه میزان روی در محلول غذایی هوگلند-آرنون تعیین شد. بذره‌های کلزای پاییزه مورد استفاده در این مطالعه رقم اوکاپی از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه گردید.

آزمون جوانه‌زنی به روش حوله کاغذی صورت گرفت، برای انجام این آزمون ۵۰ عدد بذر در هر حوله کاغذی قرار داده شد و سپس به صورت همزمان در معرض شوری و غلظت‌های مختلف نانو اکسید قرار داده شد (اسپری کردن محلول‌های مورد نظر (غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و نمک) و سپس به ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه منقل شدند. شمارش جوانه‌زنی به صورت روزانه و براساس خروج ریشه‌چه ۲ میلی متری تا ۱۴ روز ادامه پیدا کرد و بعد از این مرحله طول گیاهچه‌ها اندازه‌گیری و سپس گیاهچه‌ها به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه نگهداری تا وزن خشک آن‌ها محاسبه شد (ISTA, 2003). سرعت جوانه‌زنی از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Scott et al., 1984):

$$CVG = G_1 + G_2 + \dots + G_n / (1 \times G_1) + (2 \times G_2) + \dots + (n \times G_n)$$

شاخص وزنی و طولی قدرت بذر نیز طبق رابطه‌های زیر محاسبه شد (Abdul-Baki and Anderson, 1973).

قابلیت جوانه‌زنی × طول گیاهچه = شاخص طولی قدرت

قابلیت جوانه‌زنی × وزن خشک گیاهچه = شاخص وزنی قدرت

اندازه‌گیری میزان پتاسیم و سدیم و کلسیم به روش (Borgan, 2006) انجام شد. در این روش مقدار یک گرم از اندام هوایی خشک در داخل بوتله‌چینی ریخته شد و در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا به طور کامل خاکستر شود. بعد از این مدت بر روی هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر از اسید کلریدریک ۱ نرمال افزوده شد و تا نقطه جوش حرارت داده شد. سپس نمونه داخل بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد. از استانداردهای ۰/۵، ۱/۲۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ ppm برای ترسیم منحنی استاندارد استفاده شد. از دستگاه طیف‌سنج شعاع‌ای برای اندازه‌گیری غلظت عناصر استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند LSD در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار MSTATC صورت گرفت. رسم نمودارها با نرم افزار EXCEL ۲۰۰۷ انجام شد.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی استاندارد: نتایج تجزیه واریانس نشان داد، غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، درصد جوانه‌زنی با افزایش سطوح شوری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و کاربرد نانو اکسید روی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی و موجب کاهش اثرات تنش شوری شد. افزایش غلظت نانو اکسید روی تا سطح ۰/۶ میلی‌مولار سبب افزایش درصد جوانه‌زنی در تمام سطوح شوری گردید، اما بعد از این غلظت درصد جوانه‌زنی کاهش یافت (جدول ۲). کاهش درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های بالای نانو اکسید ناشی از اثر سمیت این عنصر در غلظت‌های بالا باشد که با افزایش سطوح شوری این سمیت تشدید پیدا می‌کند (جدول ۲). درصد و سرعت جوانه‌زنی از مهمترین عوامل تأثیرپذیر از

تنش شوری می‌باشند (Rajabi and Postini, 2005). سطوح پایین تنش شوری سبب تأخیر در جوانه‌زنی و سطوح بالاتر سبب کاهش درصد جوانه‌زنی و افزایش گیاهچه‌های غیر نرمال می‌شود، کاهش جوانه‌زنی را می‌توان به کاهش جذب اولیه آب و همچنین تاثیر منفی پتانسیل اسمزی و فرایندهای شیمیایی نسبت داد (Ghoulam and Fares, 2001). طبق نظر (Ayaz et al., 2000) کاهش جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری، در اثر اختلال در فرآیندهای متابولیکی است که بوسیله‌ی شوری القا شده به افزایش ترکیبات فنولیک می‌گردد. چنین نتایجی توسط مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Prasad et al., 2012).

سرعت جوانه‌زنی: اثر تیمارهای مختلف نانو اکسید روی و سطوح متفاوت شوری بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با توجه به نتایج جدول ۲، استفاده از نانو اکسید روی تا سطح ۰/۶ میلی‌مولار موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی شده و پس از این غلظت کاهش یافت. افزایش سطح شوری نیز موجب کاهش در سرعت جوانه‌زنی شد (جدول ۲). به تأخیر افتادن زمان جوانه‌زنی در اثر شوری، دو عارضه‌ی غیرقابل جبران را در به دنبال خواهد داشت؛ اولاً دیر سبز شدن باعث خواهد شد تا گیاه از شرایط مساعد اوایل فصل بهره‌مند نشده و به هنگام سبز شدن با سرمای بیش از حد در کشت پاییزه و یا گرمای زیاد در کشت بهاره مواجه گردد. ثانیاً گیاه زراعی را نسبت به پاتوژن‌های خاک‌زی که بذور متورم را مورد حمله قرار می‌دهند آسیب‌پذیرتر خواهد ساخت (Eslami et al., 2009). علت تسریع در جوانه‌زنی در بدها تیمار شده می‌تواند ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل آلفا-آمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها باشد (Afzal et al., 2002). تحقیقات بیانگر افزایش میانگین زمان جوانه‌زنی (کاهش سرعت جوانه‌زنی) بذر گیاهان و تأخیر در ظهور گیاهچه تحت تاثیر تنش شوری است (Farhodi, 2013). Valdiani و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که شوری سبب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور کلزا گردید.

طول گیاهچه: اثر متقابل نانو اکسید روی و شوری بر طول گیاهچه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). شوری سبب کاهش و نانو اکسید روی سبب افزایش طول گیاهچه گردید، به طوری که تیمار ۱/۸ میلی‌مولار نانو اکسید روی در شرایط عدم تنش بیشترین و بدون نانو اکسید روی در تنش ۱۵۰ میلی‌مولار کمترین طول گیاهچه را داشت؛ اما با افزایش سطوح نانو اکسید روی در تنش شدید کاهش محسوس جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد (بدون نمک) مشاهده گردید. بیشترین توزیع پراکنش طول گیاهچه‌ها در سطوح شوری مربوط به تیمار ۱/۸ میلی‌مولار نانو اکسید روی بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که تنش شوری از طریق محدودیت در جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده گیاه و سمیت عناصر غذایی، باعث کاهش کربوهیدرات تولیدی و در نتیجه کاهش قدرت رشد سلولی و کاهش طول و وزن گیاهچه شده است. (Rengel and Graham, 1995) گزارش افزایش مقدار روی بذرها گندم سبب افزایش رشد ریشه و ساقه شد. همچنین (Lin and Xing, 2008) گزارش کردند که کاربرد نانو اکسید روی تا حدود ۲ میلی‌مولار سبب افزایش و مقادیر بیشتر از آن سبب کاهش طول ریشه‌چه گیاهچه‌های کلزا گردید. افزایش معنی‌دار طول گیاهچه ممکن است به دلیل جوانه‌زنی زودتر و ایجاد گیاهچه‌های با قدرت عمومی بیشتر در مقایسه با تیمار بدون نانو اکسید روی باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر نانو اکسید روی و شوری بر برخی شاخص های جوانه زنی بذر کلزا.

منبع تغییر	میانگین مریعات											
	کلسیم	پتاسیم	سدیم	شاخص وزنی قدرت	شاخص طولی قدرت	شاخص وزن خشک	وزن تر	گیاهچه	طول	سرعت جوانه زنی	درصد جوانه زنی استاندارد	درجه آزادی
نانو اکسید روی (N)	۳۷۸/۵۰۱**	۳۵۹/۸۷۲**	۴۵۹/۸۷۲**	۳۵۸/۲۲**	۴/۵۱**	۳۸/۶۴۵**	۰/۰۲۷**	۴۹/۸۰۰**	۴			
شوری (S)	۱۷۶/۶۰۳**	۱۳۰/۸۷۱/۱۷۱**	۱۶۸/۷۱**	۱۸۵/۰۹۴**	۵۷/۹۱۱**	۱۶۶/۰۷۱**	۰/۰۶۶**	۳۰۳/۲۵۰**	۳			
N×S	۶۸/۱۱**	۳۹/۳۹۵**	۰/۰۲۷**	۱۰/۵۲۷**	۰/۰۳۵ n.s.	۱۰/۹۷۹**	۰/۰۰۳ n.s.	۷/۱۶۷**	۱۲			
خطا	۸۳/۱	۲/۴۴	۱۷۳/۸	۲/۱۰۱	۰/۰۲۲	۷۵/۴۷	۰/۰۰۶	۲/۱۰۶	۶۰			
ضریب تغییرات (درصد)	۱/۱	۷۲/۱	۳/۵۷	۷۶/۱۱	۱/۸	۳/۵۷	۲/۲	۱/۵۲	-			

** معنی دار در سطح ۵ درصد، * معنی دار در سطح ۱ درصد و n.s.: غیر معنی دار

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر سطوح اتر سطوح اتر شوری و شوری بر برخی شاخص های جوانه زنی بذر کلزا

تیماز	سطوح (میلی مولار)	سرعت جوانه زنی (تعداد در روز)	وزن خشک گیاهچه (میلی گرم)	شاخص وزنی قدرت	نانو اکسید روی	شوری (کلرید سدیم)
	۰	۰/۳۱۲ ^b	۲/۹۷۷ ^c	۲/۴۰۳ ^a	۲/۴۰۳ ^a	۲/۴۰۳ ^a
	۰/۳	۰/۳۵ ^{ab}	۳/۰۴۹ ^{bc}	۳/۱۷۴ ^b	۱/۹۹۸/۱ ^b	۲/۱۳۱ ^b
	۰/۶	۰/۴۰۷ ^a	۳/۱۸۱ ^a	۲/۲۶۶ ^b	۲/۲۶۶ ^b	۱/۷۷/۱ ^c
	۱/۲	۰/۳۶۶ ^{ab}	۳/۰۵۸ ^{bc}	۲/۹۹۵ ^b	۲/۹۹۵ ^b	۱/۷۷/۱ ^c
	۱/۸	۰/۳۰۸ ^b	۳/۱۱۷ ^{ab}	۲/۰۴۸ ^b	۲/۰۴۸ ^b	۲/۸۳ ^d
	۰	۰/۴۲۶ ^a	۳/۳۵۱ ^a	۲/۴۰۳ ^a	۲/۴۰۳ ^a	۲/۴۰۳ ^a
	۵۰	۰/۳۵۶ ^b	۳/۱۷۴ ^b	۲/۱۳۱ ^b	۲/۱۳۱ ^b	۲/۱۳۱ ^b
	۱۰۰	۰/۳۲ ^{bc}	۲/۹۵۰ ^c	۱/۷۷/۱ ^c	۱/۷۷/۱ ^c	۱/۷۷/۱ ^c
	۱۵۰	۰/۲۹۳ ^c	۲/۸۳ ^d	۲/۸۳ ^d	۲/۸۳ ^d	۲/۸۳ ^d

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند.

وزن تر گیاهچه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر نانو اکسید روی و شوری بر وزن تر گیاهچه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شوری وزن تر گیاهچه‌ها کاهش یافت که این کاهش در سطح $1/8$ میلی‌مولار نانو اکسید روی ملموس‌تر بود. افزایش غلظت‌های نانو اکسید روی سبب افزایش وزن تر گیاهچه گردید، به طوری که تیمار $1/8$ میلی‌مولار نانو اکسید روی بیشترین و تیمار شاهد و $0/3$ میلی‌مولار نانو اکسید روی کمترین وزن تر گیاهچه را داشتند (جدول ۳). (Farhodi, 2013) اعلام داشت تنش شوری منجر به کاهش وزن تر گیاهچه‌های کلزا گردید.

وزن خشک گیاهچه: اثر تیمارهای نانو اکسید روی و سطوح متفاوت شوری بر وزن خشک گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با افزایش شوری از وزن خشک گیاهچه‌ها کاسته شد ولیکن نانو اکسید روی سبب افزایش وزن خشک گیاهچه‌های نسبت به شاهد گردید، تیمار $0/6$ میلی‌مولار نانو اکسید روی بیشترین وزن خشک گیاهچه را با میانگین $3/18$ میلی‌گرم و تیمار شاهد با میانگین $2/97$ میلی‌گرم کمترین وزن خشک گیاهچه را دارا بودند. افزایش سطح شوری نیز موجب کاهش وزن خشک گیاهچه کلزا از $3/35$ به $2/83$ میلی‌گرم در سطح شوری 150 میلی‌مولار شد (جدول ۲). یکی از اثرهای تنش شوری، افزایش شدت تنفس و در نتیجه مصرف انرژی در گیاه می‌باشد، زیرا جذب و انتقال املاح به درون اندامک‌های سلول، نیازمند مصرف انرژی است، بنابراین یکی از اثرات بارز تجمع املاح کاهش رشد می‌باشد (Kafi and Mahdavi-Damghani, 2001). (Ali et al., 2003) گزارش نمودند که افزایش نانو اکسید روی وزن خشک گیاهچه‌های کلزا کاهش یافت.

شاخص طولی و وزنی قدرت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد، تیمارهای نانو اکسید روی و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص طولی قدرت در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش غلظت نانو اکسید روی موجب افزایش شاخص طولی قدرت شد، اما با افزایش شوری توأم با افزایش املاح کاهش شدیدی در شاخص طولی قدرت مشاهده می‌شود. بیشترین شاخص طولی قدرت مربوط به سطح $1/8$ میلی‌مولار در شرایط بدون تنش شوری بود (جدول ۳). اثر اصلی نانو اکسید روی در سطح پنج درصد و شوری در سطح یک درصد بر شاخص وزنی قدرت معنی‌دار بود (جدول ۱). نانو اکسید روی سبب افزایش شاخص وزنی قدرت گیاهچه‌های کلزا گردید. بیشترین شاخص وزنی قدرت مربوط به سطح $0/6$ میلی‌مولار با میانگین $2/246$ بود و شاهد ($1/882$) کمترین شاخص وزنی قدرت را داشتند (جدول ۲). شوری سبب کاهش شاخص وزنی قدرت گردید به طوری که بیشترین شاخص وزنی قدرت مربوط به سطح شاهد (بدون شوری) و کمترین آن مربوط به سطح شوری 150 بوده است (جدول ۲). از آنجا که درصد جوانه‌زنی بالا بوده شاخص طولی و وزنی قدرت روندی مشابه با صفت طول و وزن خشک گیاهچه دارد؛ یعنی با افزایش غلظت نانو اکسید روی بر قدرت بذر افزوده می‌شود اما وقتی با افزایش املاح نمک همراه می‌شود اثر سمیت بروز می‌یابد که توجه به مقدار مناسب مصرف نانو اکسید روی را در مواجهه با تنش شوری نمایان می‌سازد. (Prasad et al., 2012) گزارش دادند ذرات نانو اکسید روی موجب افزایش قدرت رشد گیاهچه گردید؛ که با نتایج این پژوهش منطبق بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل نانو اکسید روی و تنش شوری بر صفات اندازه گیری شده

کسپیم (mg)	پتاسیم (mg)	سدیم (mg)	شاخص طولی قدرت	وزن تر گیاهچه (mg)	طول گیاهچه (cm)	درصد جوانه زنی استاندارد	فاکتور های آزمایشی
۳۲/۴۴f	۱۵۹/۸۴ef	۱۳۲/۸۱j	۱۳/۸۸d	۵/۵bcd	۱۳/۵۲ef	۹۶/abcd	نانو اکسید روی صفر
۴۲/۳۷b	۱۶۷/۹۷bc	۱۲۵/۴۶j	۱۳/۶۷cd	۵/۴۷bcd	۱۳/۹۶def	۹۷/abcd	نانو اکسید روی ۰/۳
۴۴/۴۷a	۱۳۲/۸۷a	۱۲۱/۸۱k	۱۶/۱۴b	۶/۰۹ab	۱۶/۲۶bc	۹۹/۵a	نانو اکسید روی ۰/۶
۳۷/۹۲c	۱۶۷/۸۵bc	۱۲۶/۹۲j	۱۶/۱۲b	۵/۹۴abc	۱۶/۳۷bc	۹۸/۵ab	نانو اکسید روی ۱/۲
۳۷/۱۲cd	۱۶۹/۸۶b	۱۲۶/۳۷j	۱۹/۴۷a	۶/۲a	۲۰/۰۸a	۹۷bc	نانو اکسید روی ۱/۸
۲۶/۰۵h	۱۵۷/۵۵f	۱۴۵/۰۴f	۱۱/۶def	۴/۷۵e	۱۱/۹fghi	۹۴ef	نانو اکسید روی صفر
۳۳/۱۴e	۱۶۱/۰۶de	۱۳۸/۰۴gh	۱۲/۹۹d	۵/۳۸cd	۱۳/۳۹ef	۹۷bc	نانو اکسید روی ۰/۳
۳۶/۰۳d	۱۶۶/۲۶c	۱۳۵/۸۷h	۱۵/۶۷bc	۶/۰۴ab	۱۵/۸۸abcd	۹۸/۵ab	نانو اکسید روی ۰/۶
۲۹/۵g	۱۵۲/۹۱ef	۱۳۹/۸۲g	۱۲/۵۴de	۴/۷e	۱۳/۰۷efg	۹۵/۵cde	نانو اکسید روی ۱/۲
۳۰/۶۲fg	۱۶۳/۲۲d	۱۳۸/۰۱gh	۱۷/۵۱ab	۵/۸۵abc	۱۷/۹۶b	۹۷bc	نانو اکسید روی ۱/۸
۱۵/۰۱j	۱۴۳/۳۱j	۱۷۰/۱۷c	۸/۹۱gh	۴/۰۲f	۹/۳۷jk	۹۰/۵hij	نانو اکسید روی صفر
۱۶/۱۵j	۱۵۰/۵۷h	۱۶۲/۰۷d	۱۲/۲de	۴/۶۷e	۱۲/۸۷efgh	۹۴/۵deh	نانو اکسید روی ۰/۳
۲۲/۶۸i	۱۵۳/۶۲g	۱۵۶/۵۲e	۱۳/۴۸cd	۴/۹de	۱۴/۳۵cde	۹۳/۵efg	نانو اکسید روی ۰/۶
۱۵/۹j	۱۴۸/۰۹i	۱۶۴/۰۵d	۹/۸۶gh	۳/۳۸fg	۱۰/۳۳ijk	۹۲/۵fgh	نانو اکسید روی ۱/۲
۱۴/۳۹j	۱۴۷/۶۶i	۱۶۳/۸۵d	۹/۹۴fgh	۳/۹۲f	۱۰/۶۹hijk	۹۱/۵ghi	نانو اکسید روی ۱/۸
۶/۳۶m	۱۱۲/۱۲n	۲۰۰/۸۱a	۷/۸۷h	۲/۷۶h	۸/۴۶k	۸۴k	نانو اکسید روی صفر
۹/۳۴l	۱۲۹/۵۵i	۱۸۰/۲۶b	۹/۳۷fgh	۳/۴fg	۱۰/۰۷vijk	۸۹/۵ij	نانو اکسید روی ۰/۳
۱۱/۴۹k	۱۳۲/۹۶k	۱۷۷/۶b	۱۰/۴۷efg	۳/۷۶f	۱۱/۰۸ghij	۹۲/۵fgh	نانو اکسید روی ۰/۶
۷/۴۸m	۱۲۵/۲۷m	۱۸۰/۰۴b	۸/۲۷gh	۲/۸۴h	۹/۳۴jk	۹۱/۵ghi	نانو اکسید روی ۱/۲
۷/۸۸lm	۱۲۴/۸۲m	۱۸۰/۲۴b	۸/۴۷gh	۳/۰۷gh	۹/۱۹jk	۸۸/۵j	نانو اکسید روی ۱/۸

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند.

مقدار سدیم گیاهچه‌ها: اثرات اصلی نانو اکسید روی و شوری و اثر متقابل آنها بر مقدار سدیم گیاهچه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار سدیم گیاهچه‌ها با افزایش سطوح شوری به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. همچنین کاربرد نانو اکسید روی سبب کاهش مقدار سدیم گیاهچه‌ها گردید. بالاترین مقدار سدیم در تنش ۱۵۰ میلی مولار و عدم استفاده از نانو اکسید و کمترین مقدار این صفت نیز از شرایط بدون تنش و استفاده از غلظت ۰/۶ میلی مولار حاصل شد (جدول ۳). تا کنون مکانیسم‌های بیولوژیک و مولکولی در گیاهان مقاوم به شوری به خوبی شناخته نشده‌اند، اما معلوم شده است که تحمل به شوری تا حد زیادی مربوط به تجمع کم سدیم در بافت گیاه است. افزایش توانایی در جذب انتخابی پتاسیم از محیطی که دارای مقادیر بالای سدیم است، ممکن است اهمیت زیادی در تحمل به شوری داشته باشد (Ashraf and McNeilly, 2004). افزایش انتقال سدیم به اندام هوایی در محیط شور ممکن است به دلیل ضعیف عمل کردن سیستم محدود کننده انتقال سدیم موجود در مرز ریشه به اندام هوایی به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی باشد (Ashraf, 1994). از آن‌جا که افزایش غلظت سدیم در محیط ریشه موجب کاهش فعالیت و قابلیت دسترسی کلسیم در محیط و کمبود آن در غشای سلولی ریشه می‌شود، افزایش انتقال سدیم به اندام هوایی را به دنبال خواهد داشت (Zeng and Shannon, 2000). (Delavari Parizi et al., 2013) اعلام کردند که تنش شوری سبب افزایش مقدار سدیم در برگ و ریشه ریحان سبز گردید. علت آن رقابت سدیم با عناصر ضروری نظیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم است. علاوه بر این مقادیر بالای سدیم سبب آسیب به سلول‌ها و اختلالات متابولیسمی می‌شود (Sairam et al., 2002).

مقدار پتاسیم گیاهچه‌ها: اثرات اصلی نانو اکسید روی و شوری و اثر متقابل نانو اکسید روی در شوری بر مقدار پتاسیم گیاهچه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقدار پتاسیم گیاهچه‌ها با افزایش سطوح شوری به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. همچنین کاربرد نانو اکسید روی سبب افزایش مقدار پتاسیم گیاهچه‌ها گردید (برعکس تغییرات سدیم). افزایش غلظت نانو اکسید روی تا سطح ۰/۶ میلی مولار سبب افزایش مقدار سدیم گیاهچه‌ها در تمام سطوح شوری گردید، اما با افزایش غلظت نانو اکسید روی از این سطح، مقدار سدیم ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. بالاترین و پایین‌ترین مقدار پتاسیم به ترتیب از ۰/۶ میلی مولار نانو اکسید در شرایط عدم تنش و عدم کاربرد نانو اکسید در تنش ۱۵۰ میلی مولار مشاهده شد (جدول ۳). Delavari Parizi و همکاران (۲۰۱۳) اعلام کردند که افزایش املاح کلرید سدیم تا غلظت ۲۰۰ میلی مولار سبب کاهش مقدار پتاسیم در برگ و افزایش مقدار آن در ریشه ریحان سبز گردید. در تنش شوری کاهش مقدار پتاسیم به علت شباهت سدیم و پتاسیم در اندازه شعاع هیدراته و رقابت برای ورود به داخل سلول است. در نتیجه پروتئین‌های انتقال دهنده آن‌ها را در تشخیص دچار اشتباه می‌شوند؛ بنابراین، سدیم از طریق ناقل‌های با تراکم کم نسبت به پتاسیم وارد سلول شده، جذب پتاسیم کاهش می‌یابد (Aqueel Ahmad et al., 2007). علت دیگر می‌تواند مسدود شدن کانال‌های وارد کننده پتاسیم توسط سدیم باشد. همچنین، سدیم نشت پتاسیم را از طریق کانال‌های خارج کننده پتاسیم افزایش می‌دهد (Shabala, 2000).

مقدار کلسیم گیاهچه‌ها: اثرات اصلی نانو اکسید روی و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار کلسیم گیاهچه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). با توجه به نتایج جدول ۳، در سطوح پایین نانو اکسید روی (تا ۰/۶ میلی مولار) با افزایش تنش شوری مقدار کلسیم گیاهچه‌ها افزایش و پس از آن کاهش یافته که می‌تواند ناشی از اثر سمیت یونی این عنصر باشد که در غلظت بالاتر از حد بهینه سبب ایجاد تنش برای گیاه شود. بالاترین مقدار کلسیم (۴۷/۴۴ میلی گرم) در غلظت ۰/۶ میلی مولار نانو اکسید و شرایط بدون تانن و کمترین (۹/۳۴ میلی گرم) مقدار کلسیم هم از غلظت ۰/۳

نانو کسید در تنش ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳).

در تنش شوری سدیم با ورود به فضای آپوپلاستی و جایگزینی با کلسیم غشای سلولی را دپلاریزه کرده، به ایجاد اختلال در جذب انتخابی برخی یون‌ها منجر می‌شود (Aqueel Ahmad et al., 2007). با افزایش شوری غلظت کلسیم در اندام هوایی گیاه کاهش می‌یابد که می‌تواند به دلیل اختلال در خاصیت انتخابی غشاء ریشه باشد که تفاوتی بین کلسیم و سدیم قائل نمی‌شود و سدیم را که دارای غلظت بیشتری در محیط است بیشتر جذب می‌کند (Carter et al., 2005). گزارش دادند که در واریته‌های کلزا، به هنگام مواجهه با شوری غلظت کلسیم افزایش پیدا می‌کند. غلظت این یون در واریته‌هایی از کلزا که به شوری متحمل هستند، در اندام‌های گیاه، به‌ویژه اندام‌های هوایی بیشتر از ارقام حساس افزایش می‌یابد. گزارش‌های متعدد نشان می‌دهد که کلسیم آثار سوء ناشی از یون‌های زیان بار را خنثی می‌کند (Ashraf and McNeilly, 1990). کلسیم ممکن است از طریق رقابت با سدیم و کاهش جذب آن و یا از طریق افزایش جذب پتاسیم باعث کاهش صدمات ناشی از تنش شوری گردد (Cramer et al., 1985).

نتیجه‌گیری نهایی

تنش‌ها به‌ویژه تنش شوری سبب کاهش رشد و عملکرد می‌شوند. پاسخ گیاه برحسب شدت تنش، زمان تنش و میزان آسیب وارده، تغییر می‌کند. در این پژوهش نانو اکسید روی سبب افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها شده و از اثرات تنش شوری کاسته است، به‌طوری که سطح ۰/۶ میلی‌مولار نانو اکسید روی در بین صفات ارزیابی شده بهترین کارایی را دارا بوده است. افزایش نانو اکسید روی منجر به افزایش طول گیاهچه‌های شد. تیمار ۱/۸ میلی‌مولار نانو اکسید روی بیشترین طول گیاهچه و شاخص طولی قدرت را به خود اختصاص داد. تنش شوری موجب اختلال در جذب مواد معدنی می‌شود و با اختلال در فعالیت ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه منجر به کاهش جذب آب و مواد معدنی می‌گردد. در این پژوهش کاربرد نانو اکسید روی توانست با تاثیر بر عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم از اثرات مضر تنش شوری بکاهد و منجر به افزایش عناصر پتاسیم و کلسیم و کاهش میزان سدیم در گیاهچه‌ها شود. سطح ۰/۶ میلی‌مولار نانو اکسید روی بهترین کارایی در مقابله با تنش را در بین تیمارها داشت و کمترین مقدار عنصر سدیم و بیشترین مقدار پتاسیم، کلسیم را دارا بود.

Reference

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean by multiple criteria. *Crop Science* 13: 630-633.
- Afzal, I., Basra, S.M.A., Ahmad, R. and Iqbal A. 2002. Effect of different seed vigour enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Agric. Sci.* 39: 109-112.
- Ali, A.A.G. and Mowafy, S.A.E. 2003. Effect of different levels of potassium and phosphorus fertilizers with foliar application of zinc and boron on peanut in sandy soils. *Zagazig J. Agric. Res.* 30: 335-358.
- Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition (2th ed.). Brussels: International zinc association (IZA), 136p.
- Al-Thabet, S.S., A.A. and Al-Hawass, I. 2004. Effect of NaCl and incubation temprature on seed germination of three canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Scient. J. King Faisal Univ.*, 5 (1): 81-92.
- Aqueel Ahmad, M.S., Javed, F. and Ashraf, M. 2007. Role of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ. Exp. Bot.*, 59(2): 206-216.
- Ashraf, M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plant. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 13: 17-42.
- Ashraf, M. and McNeilly, T. 1990. Responses of four Brassica species to sodium chloride. *Exp. Bot.*, 30: 475-487.
- Ashraf, M. and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Plant Sci.*, 23:157-174.
- Ayaz, F.A., Kadioglu, A. and Turgut, R. 2000. Water stress effects on the content of low molecular

- weight carbohydrates and phenolic acids in *Ciananthe setosa*. Canadian J. Plant Sci., 80: 373-378.
- Baybordi, A. and Mamedov, G. 2010.** Evaluation of application methodesfor efficiency of zinc and iron for Canola (*Brssica napus* L.). Not. Sci. Biol., 2(1): 94-103.
- Borgan, J.C. 2006.** Flame photometric determination of calcium in plants. J. Sci. Food Agric. 11, 446 - 449.
- Carter, C.T., Catherine, M., Grieve, J.A., Poss, J.A., Suarez, D.L. 2005. Production and ion uptake of *Celosia argenta* irrigated with saline waste water. Sci. Hort. 72: 811-813.
- Cramer, G.R., Lauchli, A. and Polito, V.S. 1985.** Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalema of root cell. Plant Physiol., 79: 207-211.
- Delavari Parizi, M., Baghi zadeh, A., Enteshari, SH. and Manocheri Kalantari, KH. 2013.** Study effect of salicylic acid on resistance and induction of oxidative stress in green basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. J. Plant Biology. 12: 25-36.
- Enferad, A., Poustini, K., Majnoun-Hosseini, N. and Khajeh-Ahmad-Attari, A.A. 2004.** Physiological responses of rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties to salinity stress in vegetative growth phase. J. Sci. Technol. Agri. Natur. Resour., 7(4): 103-113.
- Eslami, S., behdani, M.A, Ali, S. 2009.** The effect of salinity on germination characteristics and seedling growth of canola cultivars (*Brassica napus* L.). J. Environmental stress In Agricultural Sciences, 1: 39-46
- Farhodi, R. 2013.** Effect salt stress on alpha-amylase enzyme activity, cell membrane permeability and seedling growth of rapeseed. J. Process and Plant Operation. 1: 15-24.
- Ghoulam, C. and Fares, K. 2001.** Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Seed Sci. Technol., 29: 357-364.
- Gulser, F., Togay, Y. and Togay, N. 2004.** The effects of zinc application on zinc efficiency and nutrient composition of lentil (*Lens culinaris*) cultivars. Pak. J. Biol. Sci. 7: 751-759.
- ISTA. 2003.** Handbook for seedling evaluation (3rd.ed). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland 223pp.
- Jafari, L. and Abdolahim F. 2011.** effect Before starting with the salt (Halvpraymyng) on germination and seedling growth of rapeseed (*Brassica napus* L.) under Salt Stress. J. Eco Plant Physiology. 2: 16-23.
- Kafi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 2001.** Mechanisems of Environmental Stresses In Plants. Mashad:Ferdowsi University Press. 468. (In Perisan).
- Lin, D. and Xing, B. 2008.** Root uptake and Phytotoxicity of ZnO nanoparticles. Environ. Sci. Technol. 42: 5580-5585.
- Pandey, N., Pathak, G.C. and Sharma, C.P. 2006.** Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. J. Tra. Elm. Med. Bio., 20: 89-96.
- Parida, A.K., and Das, A.B. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on Plants. Ecotox. Environ. Safety, 60: 324-349.
- Paryad, S. 2013.** The effect of seed size and native plant nutrition on seed quality of squash drug. Seed Science and Technology Master's thesis, City University researcher, Ardebil.
- Prasad, T., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddya, K., Sreeprasadb, T.S., Sajanlalb, P.R. and Pradeep, T. 2012.** Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. J. Plant Nutr., 35 (6): 905-927.
- Rajabi, R. and Postini, K. 2005.** Effect of NaCl on thirty cultivars of bread whaet seed germination. Agric. Sci. J., 27(1): 29-45 (In Persian).
- Ranjbar, M. and Shams, Gh.A. 2009.** Using of nano technology. Ecolog. Green J., 3: 29.
- Rengel, Z., Graham, R.D. 1995.** Importance of seed zinc content for wheat growth on zinc-deficient. soil. I. Vegetative growth. Plant Soil, 173: 259-266.
- Sairam, R.K., Rao, K.V. and Srivastava, G.C. 2002.** Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci., 163: 1037-1046.
- Scott, S.J., Jones, R.A., and Williams, W.A. 1984.** Review of data analysis methods for seed germination. Crop Sci. 24: 1192-1199.
- Shabala, S. 2000.** Ionic and osmotic components of stress specifically modulate net in fluxes from bean leaf mesophyll. Plant Cell Environ., 23: 825-837.
- Valdiani, A.R., Hasan zadeh Ghort tapeh, A. and Taj bakhsh, M. 2006.** Effects of salinity on seed germination and plant growth or new, high-yielding varieties of winter rapeseed. J. Research and

construction in Agriculture and Horticulture. 66: 23-32.

Yang, M., Shi, L., Xu, F.S., Lu, J.W. and Wang, Y.H. 2009. Effects of B, Mo, Zn, and their interactions on seed yield of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Pedosphere*. 19(1): 53-59.

Zeng, L. and Shannon, M.C. 2000. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Sci.*, 40:996-1003.