



## اثر نانو ذرات اکسید روی در بهبود خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max L.*) رقم ویلیامز تحت تنش شوری

سید فاضل فاضلی کاخکی<sup>۱\*</sup> و مرتضی گلدانی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۷

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۴/۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۴

### چکیده

ارزیابی اثر نانو اکسید روی بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و اجزای عملکرد سویا در شرایط شور طی آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶ بررسی شد. فاکتور اول چهار سطح شوری آب آبیاری (صفر، ۴، ۶/۵ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور دوم سه سطح نانو اکسید روی (ZnO) (صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm) بودند. نتایج نشان داد ارتفاع بوته، تعداد برگ، وزن خشک بوته، در شوری ۶/۵ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر و اعمال غلظت ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی نسبت به سطح صفر و ۴۰۰ ppm آن مقدار بیشتری داشت. بیشترین هدایت روزنه‌ای ( $11/2 \mu\text{M H}_2\text{O m}^{-2} \text{S}^{-1}$ )، محتوای نسبی آب برگ (۸۳/۶ درصد) و بیشترین شاخص پایداری غشاء (۸۰/۷ درصد) از اعمال تیمار ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی در سطح تنش ۴ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. استفاده از اسپری برگی ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی در تمام سطوح تنش شاخص اسپد بیشتر از سایر سطوح صفر و ۴۰۰ ppm نانو اکسید روی داشت. حداکثر تعداد دانه در بوته (۱۱/۴) و وزن دانه در بوته (۲/۲۴ گرم) نیز از محلول پاشی غلظت ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی و در شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. در تمامی سطوح تنش مقادیر صفات مورد بررسی از سطح صفر نانو اکسید روی به سطح ۲۰۰ ppm افزایش یافت و با افزایش غلظت نانو اکسید روی به ۴۰۰ ppm به علت ایجاد اثر سمی صفات مورد آزمایش کاهش یافت. به طور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از غلظت ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی به صورت محلول پاشی سبب بهبود رشد سویا در شوری ۹ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر گردید.

**واژگان کلیدی:** شاخص پایداری غشاء، غلاف در بوته، وزن دانه در بوته، هدایت روزنه‌ای.

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. \* نگارنده‌ی مسئول  
sf\_fazeli@yahoo.com

۲- دانشیار گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

## مقدمه

دمای هوا در اثر فعالیت‌های انسانی از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۱ حداقل ۰/۳ و ۰/۲ سلسیوس به ترتیب برای درجه حرارت حداقل و حداکثر در هر دهه افزایش داشته است (Lobell and Gourджи, 2012). که این موضوع سبب افزایش تبخیر و تعرق و کاهش نزولات جوی در برخی مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران شده است. لذا افزایش دور آبیاری به منظور رهایی از تنش حاصله سبب تجمع املاح ناشی از تبخیر در پای بوته ایجاد تنش اسمزی و در نهایت تنش یونی در گیاه شده است (Kafi et al., 2009). تنش شوری باعث تغییرات زیادی در گیاهان از جمله پسابیدگی بافتی، سمیت یونی، عدم توازن مواد غذایی که در نهایت سبب کاهش رشد و عملکرد محصول شده است (Okcu et al., 2005). شوری از طریق کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی، هدایت روزنه و نیز افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) (Jafarian and Zarea, 2016) سبب کاهش فتوسنتز شده که در نهایت کاهش رشد و نمو گیاه را به دنبال دارد (Attarzadeh et al., 2016). به منظور بهبود تحمل به تنش شوری در گیاهان، تلاش‌های زیادی با استفاده از مهندسی ژنتیک و مدیریت به‌زراعی صورت گرفته که موفقیت محدودی داشته است ضمن اینکه برخی از راهکارها پر هزینه و مدت‌دار است (Kafi et al., 2009). استفاده از مواد تخفیف دهنده و یا افزایش دهنده مقاومت گیاه به‌عنوان یک گزینه جهت کاهش اثرات منفی شوری در رشد و تولید گیاهان مدنظر بوده و استفاده از ترکیبات مختلف مانند نانو ذرات روی، آهن و سیلیس می‌تواند در تخفیف تنش شوری مورد توجه قرار گیرد. نانوذرات بسته‌های مولکولی و اتمی با ابعاد بین

یک تا ۱۰۰ نانومتر هستند (Roco, 2003) که می‌توانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بسیار چشم‌گیری را در مقایسه با مواد توده‌ای خود داشته باشند (Nel et al., 2006). در نانوذرات دو عامل ممکن سبب ایجاد اختلاف شود، یکی تنوع در ترکیب سطح ذره، تراکم و موقعیت مکانی قرارگیری ذره و دوم واکنش‌های متفاوت آن از جنبه‌های فرآیندی مانند جذب و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا (Redox) می‌باشد (Waychunas et al., 2005). اندازه کمی ساختار الکترونی جفت شده با تغییرات در سطح ذره و تراکم آن، ممکن است منجر به تنوع در میزان انتقال الکترونی در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا (ریداکس) شود (Madden and Hochella, 2005). روی از جمله عناصری است که به‌صورت نانو ترکیبات مختلفی از آن ساخته شده است. نانو ذرات روی می‌تواند به آسانی به داخل سلول‌های گیاهی نفوذ نموده و سبب تغییر در فعالیت‌های متابولیکی گیاه شود (Jayarambabu and Kumari, 2015). کاهش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط تنش شوری سبب کاهش مقاومت گیاه شده و روی به‌عنوان یک کوفاکتور نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت مانند سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز دارد که افزایش بقای و عملکرد گیاه را به دنبال دارد (Di Baccio et al., 2004). مطالعه گیاه مسکوایت (*Prosopis juliflora*: velvet mesquite) در شرایط تنش نشان داده است که نانوذرات اکسید روی به سبب ایجاد تغییراتی در آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت گیاه، سبب افزایش آنزیم کاتالاز (CAT) در ریشه‌ها، ساقه‌ها و برگ‌های گیاه شد. همچنین، نشان داده شد که آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APOX) تنها در ساقه و

آبی کشور سبب استفاده از آب‌های نامتعارف در این بخش به‌عنوان یک راه کار آرایه شده است (Ghadami Phyrozabadi *et al.*, 2017). بنابراین، توجه به استفاده از آب‌های نامتعارف در تولید محصولات کشاورزی و افزایش تبخیر و تعرق، بروز تنش یونی و شوری در گیاه و کاهش رشد و عملکرد آن دور از انتظار نیست. لذا این مطالعه با هدف ارزیابی اثر نانو ذرات اکسید روی بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی سویا در شرایط آبیاری با آب شور طراحی و اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری آب آبیاری در چهار سطح شامل: S1: صفر، S2: ۴، S3: ۶/۵ و S4: ۹ دسی زیمنس بر متر و فاکتور دوم سه سطح نانو اکسید روی (Nano-ZnO) شامل N1: صفر، N2: ۲۰۰ و N3: ۴۰۰ ppm بود.

نانو اکسید روی مورد استفاده از کشور چین با مشخصات جدول (۱) تهیه گردید. از گلدان‌هایی به قطر ۳۵ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر استفاده شد و با مخلوط به نسبت ۱:۱:۱:۱ به ترتیب از خاک زراعی، ماسه، کود حیوانی و خاک‌برگ پر شدند. قبل از کاشت آنالیز خاک انجام شد (جدول ۲) و میزان کود اضافه شده بر اساس تحقیقات انجام شده (Hatami *et al.*, 2009) (اوره ۱۵۰، پتاس ۸۰ و سوپر فسفات تریپل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک گلدانه اضافه شد. به این ترتیب به هر گلدان ۱/۵ گرم کود اوره، یک گرم پتاس و ۲ گرم سوپر فسفات تریپل اضافه شد.

برگ‌ها افزایش داشت (Hernandez-Viezcas *et al.*, 2011). همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهد که روی در میزان فتوسنتز خالص، محتوای کلروفیل، وزن تازه و خشک گیاه که با غلظت مناسب در محلول هوگلدن تیمار شده بود تاثیر معنی‌داری داشت (Misra and Srivastava, 2010). در این زمینه نتایج مطالعه تورابیان و همکاران (Torabian *et al.*, 2015) نشان داد که استفاده از نانوذرات اکسید روی در شرایط تنش شوری سبب بهبود شاخصه‌های مورفولوژیکی (سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی) و خصوصیات فیزیولوژیکی شامل مقدار کلروفیل، غلظت CO<sub>2</sub> در اتاقک زیرروزنه، افزایش عملکرد کوانتومی و کاهش سدیم در برگ‌ها در پنج وارپته آفتابگردان شد. در مطالعه‌ای اثر سه غلظت از نانوذرات روی (ZnO) (صفر، ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) در تیمارهای مختلف خشکی (صفر، -۰/۵ و -۱ مگاپاسکال) نشان داد که نانو ذرات اکسید روی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی نسبت به تیمار شاهد شد (Sedghi *et al.*, 2013). جین و همکاران (Jain *et al.*, 2010) گزارش کردند که غلظت کم روی تاثیری در تخفیف تنش ندارد و غلظت زیاد آن به خاطر خسارت سمی ایجاد شده سبب کاهش رشد گیاه می‌شود. وجود اثرات مثبت و منفی نانوذرات روی در رشد گیاهان توسط محققین مختلف گزارش شده است (Prapatsorn *et al.*, 2011; De la Rosa *et al.*, 2013; Lin and Xing, 2008).

سویا (*Glycine max* L.) یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است (Khajehpour, 2005). کشت سویا در استان‌های شمالی کشور به‌صورت آبی و دیم به‌عنوان کشت اول و دوم از جایگاه مناسبی برخوردار است. عملکرد بیشتر در کشت آبی و محدودیت منابع

به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. سپس نمونه‌ها سرد شده و به مدت یک ساعت بر روی شیکر قرار گرفتند، سپس میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها به‌عنوان نشت ثانویه (EC2) اندازه‌گیری شد. شاخص پایداری غشاء (MSI: Membrane Stability Index) از معادله (۱) محاسبه شد (Sofy, 2015).

$$\text{معادله (۱): } \text{MSI}\% = \{1 - (C1/C2)\} \times 100$$

در پایان فصل رشد بوته‌ها از محل طوقه قطع و به آزمایشگاه منتقل و در آنجا ارتفاع، تعداد برگ، وزن خشک اندام هوایی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک، بوته‌ها به آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت منتقل و در انتها وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Minitab, MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تاثیر شوری و برهمکنش شوری با نانو اکسید روی معنی‌دار شد، اما سطوح نانو اکسید روی تاثیر معنی‌داری در ارتفاع بوته نداشت (جدول ۳). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۴۱/۵ سانتی‌متر) از تیمار ۴۰۰ ppm نانو اکسید روی (N3) در شوری صفر (S1) و کمترین مقدار آن (۳۳/۸ سانتی‌متر) از شوری ۹ دسی‌زیمنس برمتر (S4) و سطح صفر نانو اکسید روی (N1) به دست آمد. دامنه ارتفاع بوته در برهمکنش تیمارها بین ۳۳ تا ۴۱/۵

رقم مورد استفاده سویا ویلیامز بود که در بیست اردیبهشت ماه کشت گردید. به‌منظور اطمینان از سبز شدن، ابتدا بذر بیشتری در هر گلدان کاشت شد و پس سبز شدن به فاصله نسبتاً مساوی سه بوته در هر گلدان نگهداری شد. پس از کاشت ابتدا محلول ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر کود اوره تهیه و به‌عنوان استارتر و به‌صورت آبیاری به تمامی واحدهای آزمایشی داده شد. آبیاری بر اساس نیاز گیاه و شرایط اقلیمی انجام شد. محلول پاشی نانو اکسید روی در سه مرحله از دوره رشد در ۴-۶ برگی، قبل از گلدهی و در حین دانه‌بندی که به ترتیب برای هر بوته در هر گلدان ۲۰، ۵۰ و ۸۰ سانتی‌مترمکعب محلول نانو اسپری گردید. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) (Mintola Reading SPAD-502, Japan SC-1 Leaf POROMETER, Decagon Devices, Pullman, Washington, USA) بر روی جوان‌ترین برگ‌های بالغ در زمان ۵۰ درصد گلدهی (بر اساس وقوع گلدهی در ۵۰ درصد از گیاهانی که وارد این مرحله شده بودند)، ثبت شد (Fazeli kakhki et al., 2012). به‌منظور اندازه‌گیری میزان شاخص پایداری غشاء، از هر تیمار پنج دیسک برگی به قطر ۷ میلی‌متر از برگ جوان کاملاً توسعه یافته جدا شده و به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌ها به مدت ۱۲ ساعت روی دستگاه شیکر قرار داده شد. سپس میزان هدایت الکتریکی محلول فوق به‌عنوان نشت اولیه اندازه‌گیری شد (EC1: Electrical Conductivity). سپس لوله‌های آزمایش جهت پاره شدن غشای سلول‌های برگ به اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۲ اتمسفر

تاثیر معنی‌داری در تعداد برگ نداشت. به نظر می‌رسد تامین مقدار کافی روی مستقیماً در بسیاری از اعمال فیزیولوژیکی و ژنتیکی گیاه تاثیر دارد به طوری که کمبود آن سبب بروز ضایعه به لپیدهای غشاء و کاهش رشد می‌شود (Cakmak, 2008).

#### وزن خشک بوته

وزن خشک بوته تحت تاثیر شوری، نانو اکسید روی و برهمکنش آنها معنی‌دار شد (جدول ۳). هم در سطح S3 (شوری ۶/۵ dS/m) و هم در سطح S4 (شوری ۸ dS/m) اعمال ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی سبب افزایش وزن خشک بوته نسبت به سطح N1 و N3 در همین سطوح شوری شد. بیشترین وزن خشک بوته از تیمار S1×N3 با مقدار ۳/۶۶ گرم در بوته به دست آمد و کمترین آن از تیمار S4×N1 و با مقدار ۲/۳۵ گرم در بوته به دست آمد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داد که تیمار کردن بذرها با دام زمینی با تیمارهای مختلف نانوذرات روی (با قطر ۲۵ نانومتر و غلظت ۱۰۰۰ ppm) سبب افزایش رشد طول ساقه گیاه شد (Chen and Yada, 2011). به نظر می‌رسد نانوذرات به واسطه داشتن سطح ویژه زیاد در توزیع موثر ریزمغذی‌ها در گیاه کاربرد دارند.

#### صفات فیزیولوژیکی

##### شاخص اسپد (Spad)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شوری، نانو اکسید روی و برهمکنش آنها تاثیر معنی‌داری بر مقدار اسپد داشت (جدول ۳). شاخص اسپد در دو سطح نانو اکسید روی (N2 و N3) و شاهد (بدون شوری) حداکثر بود و کمترین مقدار آن در تیمار S4×N1 به دست آمد (شکل ۱ A). مطالعه غفاری و رزمجو (Ghafari and Razmjoo, 2013) نشان داد که محلول پاشی نانو

سانتی‌متر متفاوت بود (جدول ۴). نتایج مطالعه صدیقی و همکاران (Sedghi et al., 2013) نشان داد که در شرایط تنش خشکی حاصل از PEG و استفاده از غلظت ۰/۵ گرم در لیتر نانو اکسید روی سبب افزایش ۷۱ درصدی طول ریشه چه نسبت به شاهد شد. افزایش غلظت از ۰/۵ به ۱ گرم در لیتر سبب کاهش طول ریشه چه در گیاه سویا شد. تورنی و همکاران (Torney et al., 2007) اظهار کردند که نانوذرات قادرند به داخل سلول‌های گیاه نفوذ نموده و همچنین در انتقال مواد شیمیایی و DNA سلول نقش ایفا کنند. به نظر می‌رسد در شرایط تنش نانو اکسید روی با تحریک قدرت دفاعی از طریق فعال‌سازی برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت شرایط را برای رشد گیاه فراهم آورده و سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود.

#### تعداد برگ در بوته

با افزایش شوری از تعداد برگ در بوته کاسته شد و اختلاف بین سطوح شوری و برهمکنش تیمارها معنی‌دار بود اما سطوح نانو اکسید روی تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۳). اعمال سطح N3 نانو اکسید روی در تیمار شوری S1 با تعداد ۱۱ عدد برگ بیشترین تعداد را نشان داد و کمترین مقدار صفت مذکور از تیمار S4×N1 و به مقدار ۵/۶۷ عدد برگ به دست آمد. اعمال سطح ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی (N2) در تمامی سطوح شوری سبب افزایش حداقل یک برگ در بوته نسبت به سطح ۴۰۰ ppm آن در تمامی سطوح شوری غیر از شاهد شد (جدول ۴). نتیجه مطالعه دهقانی‌پوده و همکاران (Dehghani Poodeh et al., 2016) نشان داد که استفاده از ترکیبات نانوذرات سیلیس باعث افزایش تعداد برگ در گیاه توت فرنگی شد. در این آزمایش نحوه کاربرد (محلول پاشی و ترکیب در آب آبیاری)

هدایت روزنه‌ای مربوط به نانوذرات آهن ( $27\mu\text{M}$ )، مس ( $0/5\mu\text{M}$ ) و روی ( $2\mu\text{M}$ ) بود و با افزایش غلظت نانوذرات از میزان هدایت روزنه‌ای کاسته شد. در مطالعه حاضر نیز در زمان تنش تاثیر نانوذرات روی بر میزان هدایت روزنه‌ای مثبت بود. به نظر می‌رسد استفاده از نانواکسید روی در شرایط تنش از طریق فعال کردن سنتز آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز سبب افزایش تحمل به تنش می‌شود ( Helaly et al., 2014).

### محتوای نسبی آب برگ

کاهش میزان رشد برگ در شرایط شور به واسطه اثر اسمزی شوری در اطراف ریشه است. افزایش ناگهانی شوری خاک سبب کاهش آب برگ می‌شود. نتایج حاصل از جدول ۳ نشان می‌دهد که برهمکنش شوری در نانواکسید روی تاثیر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) داشت. بیشترین مقدار RWC از تیمار  $S2 \times N2$   $83/6$  درصد و کمترین مقدار آن در تیمار  $S4 \times N1$  با مقدار  $44$  درصد حاصل شد. در هر سطح شوری اعمال  $200$  ppm نانواکسید روی سبب بهبود مقدار RWC آن نسبت به سطح صفر آن در همان سطح شوری شد و افزایش غلظت نانواکسید روی از  $200$  ppm به  $400$  ppm سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. با این حال از سطح صفر در همان تیمار شوری مقدار RWC بیشتری داشت (شکل C۱). نتایج مطالعه جواد و همکاران (Javad et al., 2014) در ذرت ( Zea mays L. ) نشان داد که در غلظت‌های مختلف نانوذرات سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) (صفر،  $400$ ،  $2000$  و  $4000$  میلی گرم در لیتر) سبب افزایش معنی‌دار مقدار RWC نسبت به شاهد شد. در مطالعه Upadhyaya et al., 2017)

ذرات آهن با غلظت دو گرم در لیتر سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ در گندم شد. به نظر می‌رسد استفاده از نانواکسید روی از طریق سنتز پروتئین و کلروفیل سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود. رالی یا و ترفدار ( Raliya and Tarafdar, 2013 ) گزارش کردند که استفاده از نانو ذرات روی سبب بهبود محتول کلروفیل و رشد در گیاه *Cyamopsis tetragonoloba* شده است.

### هدایت روزنه‌ای

روزنه‌ها به تغییرات محیطی از طریق تنظیم آب از دست داده شده و دی‌اکسید کربن وارد شده واکنش نشان می‌دهند. نتایج جدول ۳ نشان داد که شوری، نانواکسید روی و برهمکنش آنها تاثیر معنی‌داری ( $p < 0/01$ ) بر هدایت روزنه‌ای برگ داشت (جدول ۳). هرچند با افزایش شوری از میزان هدایت روزنه‌ای کاسته شد اما در شوری  $6/5$  و  $9$  دسی زیمنس بر متر ( $S3$  و  $S4$ ) اعمال تیمارهای نانواکسید روی سبب بهبود میزان هدایت روزنه‌ای نسبت به شاهد شد. به طوری که، مقدار این هدایت در سطح  $400$  ppm و  $200$  نانو اکسید روی ( $N2$  و  $N3$ ) و در شوری  $9$  دسی‌زیمنس بر متر ( $S4$ ) مقدار افزایش هدایت روزنه‌ای نسبت به شاهد در همین سطح شوری به ترتیب حدود  $32$  و  $31$  درصد بود. در سطح شوری  $6/5$  دسی زیمنس بر متر ( $S3$ ) نیز همین روند دیده شد. بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای در شاهد ( $S1 \times N1$ ) و کمترین آن در تیمار  $S4 \times N1$  با مقدار  $6/66 \mu\text{MH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{S}^{-1}$  بود (شکل B۱). نتایج تحقیق رام‌ساهو و همکاران ( Ram Sahu, 2016 ) نشان داد که نانوذرات در غلظت کم، تاثیر افزایشی بر میزان هدایت روزنه‌ای دارد، به طوری که در سویا در  $70$  روز پس از کاشت بیشترین مقدار

۷۵ ppm در سه تیمار (۷، ۱۴ و ۲۸ روز آبیاری) سبب بهبود شاخص پایداری غشاء (MSI) گردید. در آزمایش حاضر، سطح ۲۰۰ ppm آن سبب بهبود شاخص MSI شد که با یافته‌های بالا مطابقت دارد. به نظر می‌رسد در آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Cu/Zn SOD، روی نقش مهمی در سمیت زدایی رادیکال اکسیژن ( $O_2^-$ ) و تبدیل آن به  $H_2O_2$  داشته که در نهایت تحت تاثیر آنزیم کاتالاز به آب و اکسیژن تجزیه می‌شود و به این ترتیب از پراکسید کردن لیپیدهای غشا جلوگیری و پایداری غشاء حفظ می‌گردد (Apel and Hirt, 2004).

#### تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته

تعداد غلاف در بوته تحت تاثیر شوری و برهمکنش شوری در نانوآکسید روی معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد غلاف در بوته از تیمار  $S1 \times N1$  و با مقدار ۵/۴۴ غلاف در بوته حاصل شد و کمترین مقدار آن از تیمار  $S4 \times N1$  به دست آمد. در کلیه سطوح شوری محلول‌پاشی با نانوآکسید روی در غلظت ۲۰۰ ppm سبب افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد در همان سطح شوری شد و با افزایش غلظت نانوآکسید روی به ۴۰۰ ppm از تعداد غلاف در بوته کاسته شد. برای مثال در شوری ۹ دسی زیمنس بر متر ( $S4$ ) در تیمار  $N2$  (۲۰۰ ppm نانو آکسید روی) تعداد غلاف ۴/۶۷ بود که نسبت به سطح صفر آن ( $N1$ ) در همین سطح شوری حدود ۴۵ درصد افزایش داشت و با افزایش غلظت نانوآکسید روی به ۴۰۰ ppm ( $N3$ ) تعداد غلاف در بوته به ۴/۱۲ رسید (جدول ۴). از لحاظ تعداد دانه در بوته نیز شوری و برهمکنش شوری در نانو آکسید روی تاثیر معنی‌داری (۰/۰۱ p) بر آن داشت (جدول ۳). در تیمار عدم شوری محلول‌پاشی با غلظت

بیشترین مقدار RWC از اعمال ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرآت اکسید روی در گیاهچه‌های برنج به دست آمد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش کاهش فشار تورگر سلول سبب کاهش حجم آن شده در نتیجه برگ‌ها کوچک‌تر و در برخی از گونه‌ها ضخیم‌تر می‌گردد و وجود نانوآکسید روی ضمن افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانتی سلول در ایجاد تعادل یونی واکوئل و در سنتز برخی پروتئین‌ها به‌منظور کاهش پتانسیل اسمزی سلول نقش دارد.

#### شاخص پایداری غشاء (MSI)

یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد که در شرایط کمبود روی تولید رادیکال اکسیژن ( $O_2^-$ ) از طریق افزایش فعالیت  $NADP^+$  اکسیداز وابسته افزایش می‌یابد که این رادیکال می‌تواند لیپیدهای غشا را پراکسید کرده و باعث ناپایداری تمامیت غشای سلول شود (Ghanepour et al., 2015). شوری (S)، نانوآکسید روی (N) و برهمکنش آنها تاثیر معنی‌داری بر شاخص پایداری غشاء (MSI) داشت (جدول ۳). حداکثر مقدار MSI در تیمار  $S1 \times N2$  با مقدار ۹۳/۷ درصد حاصل شد که نسبت به سطح صفر و ۴۰۰ ppm نانو آکسید روی در همین سطح تنش به ترتیب حدود ۹/۸ و ۱۸/۷ درصد افزایش داشت. کمترین مقدار MSI از تیمار  $S4 \times N1$  و به مقدار ۵۵/۸ درصد به دست آمد (شکل D۱). در هر سطح شوری زمانی که محلول‌پاشی با ۲۰۰ ppm نانو آکسید روی انجام می‌شد مقدار MSI نسبت به دو سطح دیگر آن بهبود می‌یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود روی در شرایط تنش در مقدار مناسب سبب افزایش پایداری و حفاظت از یکپارچگی ساختار غشای سلول می‌شود (Upadhyaya et al., 2017). مطالعه صوفی (Sofy, 2015) نشان داد در شرایط کم آبیاری محلول‌پاشی با روی با غلظت

و استفاده از غلظت ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی در سطوح شوری ۴، ۵/۶ و ۹ دسی زیمنس به ترتیب ۲/۲۴، ۲/۰۶ و ۲/۱۹ گرم دانه در بوته حاصل شد اما در تیمار N3 نانو اکسید روی وزن دانه در بوته کاهش یافت اما از مقدار آن در تیمار شاهد در همان سطح شوری اندکی افزایش نشان داد. نتایج مطالعه پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) نشان داد که استفاده از غلظت ۲ گرم در ۱۵ لیتر نانو اکسید روی سبب افزایش عملکرد در بادام زمینی شد. به نظر می‌رسد تولید رادیکال اکسیژن ( $O_2^-$ ) در شرایط تنش از طریق افزایش فعالیت  $NADP^-$  اکسیداز سبب ایجاد تنش ثانویه در گیاه می‌شود و روی از طریق کاهش نسبت  $NADP^-$  به  $NADPH$  که سبب کاهش تثبیت  $CO_2$  در جریان فرآیند فتوسنتز می‌شود (Ghanepour *et al.*, 2015). لذا، حضور روی از طریق پاکسازی رادیکال اکسیژن تولیدی در جریان فعال‌سازی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت سبب بهبود فتوسنتز و عملکرد می‌شود. در همین راستا یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد زمانی که نانو اکسید روی جهت تقویت رشد و نمو گیاه در غلظت مناسب به کار می‌رود سبب افزایش رشد و عملکرد در پیاز (Raskar and Laware, 2014) شده است. از طرفی دیگر، روی جزو عناصر سنگین طبقه‌بندی می‌شود کاربرد آن در غلظت‌های زیاد سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه شده است. به طوری که در گیاه برنج سبب کاهش طول و تعداد ریشه و در برخی از نمونه‌ها سبب از بین رفتن ریشه‌ها در مرحله اولیه رشد گیاهچه شده است (Prapatsorn *et al.*, 2011). در مطالعه حاضر استفاده از غلظت ۴۰۰ ppm نانو اکسید روی سبب کاهش بسیاری از پارامترهای مورفولوژیکی و عملکردی گیاه شد که

۲۰۰ ppm نانو اکسید روی ( $N_2$ ) سبب بهبود تعداد دانه در بوته شد، هر چند با سایر تیمارهای نانو اکسید روی در همین سطح شوری از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. با این حال بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۲/۴) از تیمار  $S_2 \times N_2$  به دست آمد. در تمامی تیمارها، تعداد دانه در بوته بیشتری از اعمال ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی در شوری‌های مختلف به دست آمد (جدول ۴). پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) گزارش کردند که محلول‌پاشی دو گرم در ۱۵ لیتر نانو اکسید روی سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد بادام زمینی در مقایسه با شاهد شد. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که محلول‌پاشی با مقدار ۲۰۰ ppm نانو اکسید روی سبب افزایش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته شد که با نتایج نامبردگان مطابقت دارد.

#### وزن دانه در بوته

وزن دانه در بوته تحت تاثیر شوری (S)، نانو اکسید روی (N) و برهمکنش آنها معنی‌دار شد (جدول ۳). دامنه وزن دانه در بوته بین ۱/۰۶ تا ۲/۲۵ گرم در تاثیر متقابل تیمارها متفاوت بود. بیشترین وزن دانه در بوته از تیمار  $S_2 \times N_2$  و به مقدار ۲/۲۴ گرم در بوته حاصل شد و کمترین مقدار صفت مذکور از تیمار  $S_4 \times N_1$  و به مقدار ۱/۰۶ گرم در بوته به دست آمد. در تیمار شاهد (عدم اعمال شوری) و سطوح مختلف نانو اکسید روی، وزن دانه در بوته به دست آمده بیش از ۲ گرم بود که با هم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند، با این حال افزایشی در وزن دانه در بوته در اعمال تیمار  $N_2$  نسبت به سایر سطوح نانو اکسید روی مشاهده شد. جالب است که این روند نیز در تمامی سطوح شوری دیده شد



روزنه‌ای و شاخص پایداری غشا (MSI) با کاربرد نانو اکسید روی (۲۰۰ ppm) در سطوح مختلف شوری افزایش نشان داد. همین روند در اجزای عملکرد دانه نیز مشاهده شد. بیشترین وزن دانه در بوته (۲/۲۴ گرم) از محلول پاشی ۲۰۰ ppm و در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر حاصل شد. از دیگر نتایج اینکه افزایش غلظت نانو اکسید روی به ۴۰۰ ppm باعث کاهش صفات مورد مطالعه گردید.

می‌توان به همین خاصیت سمی بودن غلظت بالای آن نسبت داد.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که در شرایط تنش شوری استفاده از نانو اکسید روی به مقدار ۲۰۰ ppm سبب بهبود صفات فیزیولوژیکی بررسی شده گردید. به طوری که بیشترین مقدار RWC (۸۳/۶ درصد) از محلول پاشی ۲۰۰ ppm و در شوری ۴ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. مقدار هدایت

### جدول ۱- مشخصات نانو ذرات اکسید روی

**Table 1-** Nano particles ZnO properties

Weight: 100 g
Purity: 99%
APS: <30 nm
SSA: > 30 m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>

APS: Average Particle Size,  
SSA: Specific Surface Area

### جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

**Table 2-** Results of soil physical and chemical properties of experimental soil

EC (ds/m)	pH	نیترژن N (%)	ماده آلی OM (%)	کلسیم Ca (ppm)	پتاسیم K (ppm)	سدیم Na (ppm)	روی Zn (mg/kg soil)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
1.26	7.3	0.055	4.01	3.2	0.59	1.2	0.23	28.6	29.6	40.8

**جدول ۳-** تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گیاه سویا تحت تنش شوری و کاربرد نانوذرات اکسید روی  
**Table 3-** Analysis of variation measure of traits in soybean plant was affected ZnO nanoparticles under salinity stress.

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Leaf per plant	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد دانه در بوته Seed per pod
شوری Salinity	3	35.4**	14.4**	0.251*	2.36*	9.26**
نانو اکسید روی Nano-Zno	2	12.1 <sup>ns</sup>	0.164 <sup>ns</sup>	0.770**	0.195 <sup>ns</sup>	3.10 <sup>ns</sup>
شوری × نانو اکسید روی Salinity×nano	6	11.4*	0.824*	0.417**	2.12*	22.6**
خطا Error	40	6.17	1.25	0.108	0.733	5.86
CV (%)	ضریب تغییرات	6.3	17.5	16	21.3	18.6

<sup>ns</sup>, \* and \*\* are non- significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

**ادامه جدول ۳**  
**Table 3-** Continued

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	هدایت روزنه‌ای Stomata conductivity	اسپد Spad	محتوای نسبی آب برگ RWC	شاخص پایداری غشاء MSI	وزن دانه در بوته Seed weight per plant
شوری Salinity	3	21.3**	114**	610**	38.1**	0.741**
نانو اکسید روی Nano-Zno	2	15.9**	25.1**	232**	183.4**	0.359*
شوری × نانو اکسید روی Salinity×nano	6	24.2**	3.83 <sup>ns</sup>	474**	108.1**	0.402**
خطا Error	40	2.41	3.79	20.2	7.95	0.130
CV (%)	ضریب تغییرات	17.1	20.8	16.8	13.2	21.2

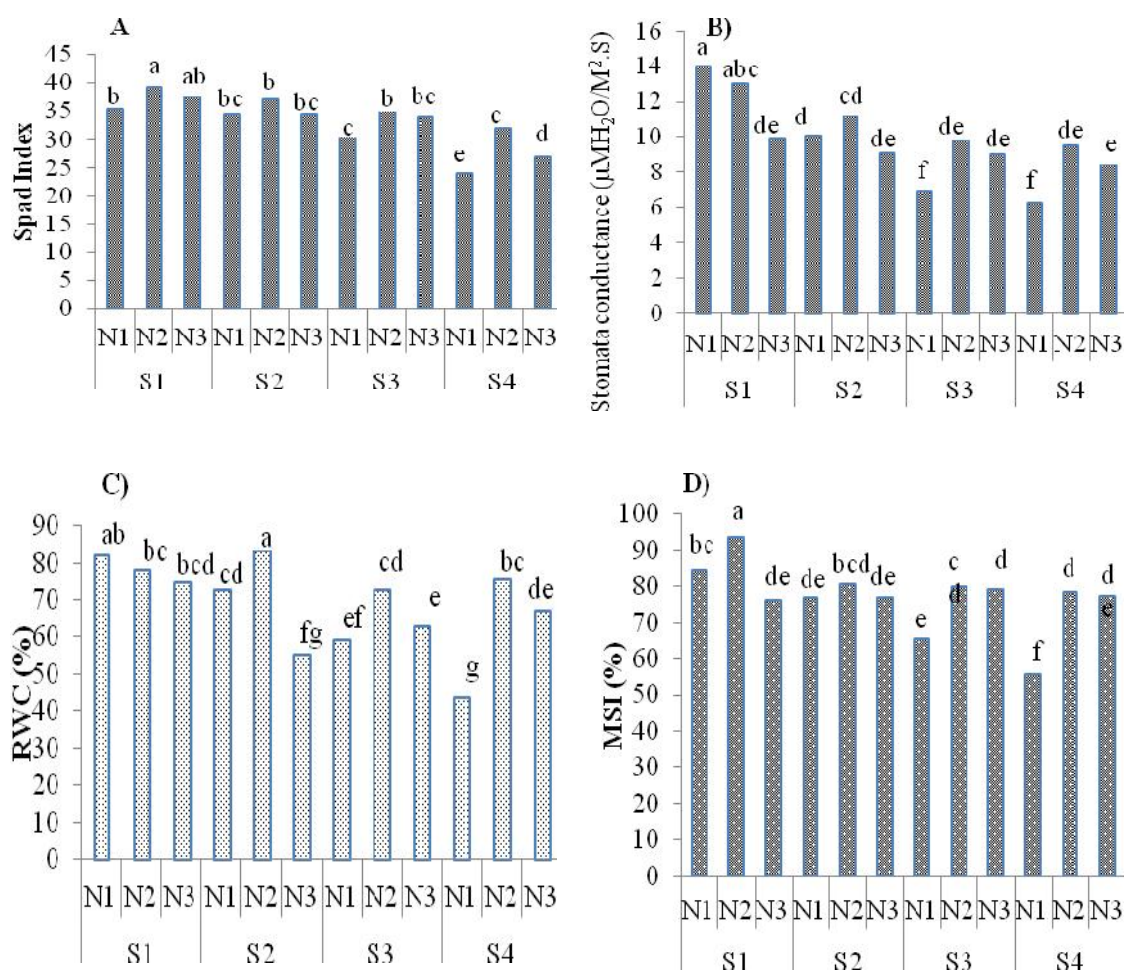
<sup>ns</sup>, \* and \*\* are non- significant and significant at the 5 and 1% probability level respectively

جدول ۴- میانگین‌های صفات مورد بررسی گیاه سویا تحت تنش شوری و کاربرد نانوذرات اکسید روی

**Table 4-** Means comparison measure traits in soybean plant under salinity stress and application nona particles of ZnO

تیمار Tretment	ارتفاع بوته Plant height (Cm)	تعداد برگ در بوته Leaf per plant	وزن خشک بوته Dry weight of plant (g)	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد دانه در بوته Seed per pod	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)
S1×N1	36.8bc	10.6a	2.85cde	5.44a	11.7a	2.01a
S1×N2	38.5abc	10.0ab	2.82cde	4.67ab	11.9a	2.25a
S1×N3	41.5ab	11.0a	3.66a	4.44ab	11.3a	2.05ab
S2×N1	38.0abc	9.00abc	2.54de	4.78a	9.7ab	1.76b
S2×N2	38.0ab	8.33bc	2.62de	4.84abc	12.4a	2.24a
S2×N3	40.5ab	9.33abc	3.00bcd	4.11a	11.0ab	1.99b
S3×N1	35.8bc	8.00bc	2.89bcde	3.11bc	6.01b	1.09d
S3×N2	39.7ab	9.00bc	3.51ab	4.56ab	11.4a	2.06ab
S3×N3	37.0abc	8.00c	2.94bcde	4.11abc	10.5a	1.90b
S4×N1	33.8c	5.67d	2.35e	2.55c	5.86b	1.06d
S4×N2	35.0c	7.33c	3.28abc	4.67ab	12.1a	2.19a
S4×N3	34.0c	6.13d	2.91bcde	4.12abc	9.88ab	1.79c

\*: S1, S2, S3 و S4 به ترتیب تیمار شوری صفر، ۴، ۶/۵ و ۹ دسی زمینس بر متر؛ N1، N2 و N3 به ترتیب صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm  
\*: S1, S2, S3 and S4 are zero, 4, 6.5 and 9 dS.m<sup>-1</sup> salinity stress; N1, N2 and N3 are zero, 200 and 400 ZnO nano particles.



شکل ۱- اثر برهمکنش شوری و نانو اکسید روی بر: (A) شاخص اسپد، (B) هدایت روزنه ای، (C) شاخص پایداری غشا و (D) محتوای نسبی آب برگ.\*: S1، S2، S3 و S4 به ترتیب تیمار شوری صفر، ۴، ۶/۵ و ۹ دسی زیمنس بر متر؛ N1، N2 و N3 به ترتیب صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm

**Figure 1-** Interaction effects of salinity and Nano ZnO on: A) Spad Index, B) Stomata Conductivity, C) Membrane Stability Index (MSI) and D) Relative Water Content (RWC).\*: S1, S2, S3 and S4 are zero, 4, 6.5 and 9  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  salinity stress; N1, N2 and N3 are zero, 200 and 400 ZnO nano particles

## References

## منابع مورد استفاده

- Apel, K., and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55: 373- 379.
- Attarzadeh, M., A. Rahimi, and B. Torabi. 2016. Response of chlorophyll, relative water content and protein percentage of safflower leaves to salinity and foliar calcium, potassium and magnesium applications. *Journal of Crop Ecophysiology*. 10(1): 269-282. (In Persian).
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*. 1-2: 1-17.
- Chen, H., and R. Yada. 2011. Nanotechnologies in agriculture: new tools for sustainable development. *Trends in Food Science and Technology*. 22(11): 585–594.
- De la Rosa, G., M.L. Lopez-Moreno, D. de Haro, C.E. Botez, J.R. Peralta-Videa, and J.L. Gardea Torresdey. 2013. Effects of ZnO nanoparticles in alfalfa, tomato, and cucumber at the germination stage: root development and X-ray absorption spectroscopy studies. *Pure Applied Chemistry*. 85(12): 2161–2174.
- Dehghani Poodeh, S., C. Ghobadi, B. Baninasab, M. Gheysari, and S. ShiraniBidabadi. 2016. Effects of potassium silicate and nanosilica on quantitative and qualitative characteristics of a commercial strawberry (*Fragaria ananassa* cv. 'Camarosa'). *Journal of Plant Nutrition*. 39(4): 1-18.
- Di Baccio, D., F. Navari-Izzo, and R. Izzo. 2004. Seawater irrigation: Antioxidant defense responses in leaves and roots of a sunflower (*Helianthus annuus* L.) Ecotype. *Journal Plant Physiology*. 161: 1359-1366.
- Fazeli Kakhki, S.F., A. Nezami, M. Parsa, and M. Kafi. 2012. Selection of salinity tolerance in sesame plant (*Sesamum indicum* L.) under field conditions: Phenological and morphological characteristics. *Journal of Agroecology*. 4(1): 20-32. (In Persian).
- Ghadami Phyrozabadi, A., M. Khoshravesht, P. Shirazi, and H. Zareh Abianeh. 2017. Effect of magnetic field on seed yield and biomass of soybean var DPX in low irrigation and salinity water. *Journal of Water Research in Agriculture*. 30(1): 131-143. (In Persian).
- Ghafari, H., and J. Razmjoo. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulphate rates on yield and quality of wheat. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(11): 2997-3003.
- Ghanepour, S., M.R. Shakiba, M. Toorchi, and S. Oustan. 2015. Role of Zn nutrition in membrane stability, leaf hydration status, and growth of common bean grown under soil moisture stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 6(4): 9-20.
- Hatami, H., A. Aeinehband, A. Soltani, and Gh.R. Dadkhah. 2009. Response of soybean varieties to fertilizer nitrogen and potassium application in North Khorasan. *Agroecology Journal (Agricultural New Science)*. 5(15): 13-23. (In Persian).
- Helaly, M.N., M.A. El-Metwally, H. El-Hoseiny, S.A. Omar, and N.I. El-Sheery. 2014. Effect of nanoparticles on biological contamination of in vitro cultures and organogenic regeneration of banana. *Australia Journal of Crop Science*. 8: 612–624.

- Hernandez-Viezcas, J.A., H. Castillo-Michel, A.D. Servin, J.R. Peralta-Videa, and J.L. Gardea-Torresdey. 2011. Spectroscopic verification of zinc absorption and distribution in the desert plant prosopis *juliflora-velutina* (velvet mesquite) treated with nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*. 170(2-3): 346-352.
- Jafarian, T., and M.J. Zarea. 2016. The effects of hydrogen peroxide pretreatment of seeds on morpho-physiological and biochemical characteristics of wheat under salt stress. *Journal of Crop Echophysiology*. 10(3): 717-730. (In Persian).
- Jain, R., S. Srivastava, S. Solomon, A.K. Shrivastava, and A. Chandra. 2010. Impact of excess zinc on growth parameters, cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Saccharum* spp.). *Acta Physiol Plant*. 32: 979-986.
- Javad, S.R., K. Javad, S. Mohsenzadeh, M. Sharifi Rad, and M. Javad. 2014. Evaluating SiO<sub>2</sub> nanoparticles effects on developmental characteristic and photosynthetic pigment contents of *Zea mays* L. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 3(6): 194-201.
- Jayarambabu, N., and B. Kumari. 2015. Beneficial role of zinc oxide nanoparticles on green crop production. *International Journal of Multidiciplinary Advanced Research Trends*. 2(1): 273-182.
- Kafi, M., A. Borzoei, M. Salehi, A. Kamandi, A. Masomi, and J. Nabati. 2009. Environmental stress on plant physiology. Jihad Daneshgahi Publication, Iran. 504 pages. (In Persian).
- Khajehpour, M.R. 2005. Industrial Plant. University Jahad publication in Esfahan.564 pages. (In Persian).
- Lin, D., and B. Xing. 2008. Root uptake and Phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environment Science Technology*. 42: 5580-5585.
- Lobell, D.B., and S.M. Gourdjji. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*. 160: 1686-1697.
- Madden, A.S., and M.F. Hochella. 2005. A test of geochemical reactivity as a function of mineral size: Manganese oxidation promoted by hematite nanoparticles. *Geochimicaet Cosmochimica Acta*. 69(2): 389-398.
- Misra, A., and N.K. Srivastava. 2010. Value addition of essential monoterpene oil(s) in Geranium (*Pelargonium graveolens*) on leaf positions for commercial exploitation. *African Journal of Agricultural Research*. 15: 2077-2079.
- Nel, A., T. Xia, A. Madlerl, and N. Li. 2006. Toxic potential of materials at the nano level. *Science*. 311: 622-627.
- Okcu, G., M. Demir kaya, and M. Atak. 2005. Effect of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and forestry*. 29: 237- 242.
- Prapatsorn, B., K. Prabhat, K. Boonthhida, B. Sunandan, and D. Joydeep. 2011. Effects of zinc oxide nanoparticles on roots of rice *Oryza Sativa* L. International Conference on Environment and BioScience IPCBEE. 21. IACSIT Press, Singapore.
- Prasad, T.N.V.K.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. Raja Reddy, T.S. Sreepasad, P.R. Sajanlal, and T. Pradeep. 2012. Effect of nano scale

- zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*. 35: 905-927.
- Raliya, R., and J.C. Tarafdar. 2013. ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agriculture Research*. 2: 48-57.
  - Ram Sahu, M.R. 2016. Physiological responses of soybean and wheat towards nanoparticle based micronutrients fertilizers. MS.c. Thesis. Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya.
  - Raskar, S.V., and S.L. Laware. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. *International Journal of Current Microbiology and Applied*. 3: 467-473.
  - Roco, M.C. 2003. A Broader societal issue of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*. 5: 181-189.
  - Sedghi, M., M. Hadi, and S. Gholi. 2013. Effect of nano zinc oxide on the germination parameters of soybean seeds under drought stress. *Annals of West University of Timi oara, ser. Biology*. 16(2): 73-78.
  - Sofy, M.R. 2015. Application of salicylic acid and zinc improves wheat yield through physiological processes under different Levels of irrigation intervals. *International Journal of Plant Research*. 5(5): 136-156.
  - Torabian, S., M. Zahedi, and A.H. Khoshdoftar. 2015. Effects of foliar spray of two kinds of zinc oxide on the growth and ion concentration of sunflower cultivars under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. 39(2): 172-180.
  - Torney, F., B.G. Trewyn, VS-Y. Lin, and K. Wang. 2007. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nat Nanotechnology*. 2: 295-300.
  - Upadhyaya, H., H. Roy, S. Shome, S. Tewari, M.K. Bhattacharya, and S.K. Panda. 2017. Physiological impact of zinc nanoparticle germination of rice (*Oryza sativa* L.) seed. *Journal of Plant Science and Phytopathology*. 1: 62-70.
  - Waychunas, G.A., C.S. Kim, and J.F. Banfield. 2005. Nanoparticulate iron oxide minerals in soils and sediments: unique properties and contaminant scavenging mechanisms. *Journal of Nanoparticle Research*. 7(4-5): 409-433.

## Effects of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO) on Improving Morpho-physiological, Yield and Its Components of Soybean (*Glycine max* L.) var. Williams under Salinity Stress

Seyed Fazel Fazeli Kakhki<sup>1\*</sup>, and Morteza Goldani<sup>2</sup>

Received: December 2017, Revised: 30 June 2018, Accepted: 29 August 2018

### Abstract

To evaluate the effect of zinc oxide nanoparticles (ZnO) on morphological, physiological and seed yield of soybean and its components under saline conditions, an experiment a factorial experiment base on completely randomized design with three replications was conducted at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2017. The first factor consisted of four levels of salinity (0, 4, 6.5 and 9 dS.m<sup>-1</sup>), and the second factor of three concentration of zinc oxide nanoparticles (ZnO) (0, 200 and 400 ppm). The results showed that foliar spraying 200 ppm nano-ZnO resulted in higher plant height, number of leaves and dry shoot weight than other nano-ZnO levels (zero and 400 ppm) in 6.5 and 9 dS.m<sup>-1</sup> salinity. The highest stomatal conductance (11.2 μMH<sub>2</sub>O.m<sup>-2</sup>.S<sup>-1</sup>), relative water content (83.6%) and membrane stability index (80.7%) were obtained from application 200 ppm nano-ZnO at salinity level of 4 dS.m<sup>-1</sup>. Maximum number of seeds per plant (11.4) and seed weight per plant (2.24 g) were also recorded from 200 ppm nano-ZnO under salinity of 4 dS.m<sup>-1</sup>. At all levels of salinity stress, when enhancing concentration from zero to 200 ppm the amount of all studied traits were increased and with increased concentration of nano-ZnO from 200 to 400 ppm, all experimental traits were decreased due to toxicity effect induction of nano-ZnO on plant. In general, the results showed that spraying plant with 200 ppm zinc oxide nanoparticles improved soybean growth at 6.5 and 9 dS.m<sup>-1</sup> salinity stresses.

**Key words:** Membrane stability index, Pod per plant, Seed weight per plant, Stomata conduction.

1- Scientific Board Members, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center , Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* Corresponding Author: sf\_fazeli@yahoo.com