اثر نانوذرات اکسید روی و شوری روی صفات آناتومیک گیاه *Datura stramonium*

آمنه وفایی‌مقدم[۱]، علیرضا ایرانبخش (نویسنده مسئول)[۲*]، سارا سعادتمند[۳]، مصطفی عبادی[٤] و زهرا اوراقی‌اردبیلی[٥]

۱- دانشجوی دکتری، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، amenehvafayi@yahoo.com

۲*- استاد تمام، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، Iranbakhsh@iau.ac.ir

۳- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، sadatmandsara@gmail.com

٤- استادیار، گروه زیست شناسی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران، mtf.ebadi@gmail.com

٥- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، Zahraoraghi@yahoo.com

تاریخ دریافت: آذر ۱٤۰۰ تاریخ پذیرش: بهمن ۱٤۰۰

Effect of zinc oxide nanoparticles and salinity on anatomical traits of *Datura stramonium*

Ameneh Vafaie Moghadam[1], Alireza Iranbakhsh(Corresponding author) [2*], Sara Saadatmand[3], Mostafa Ebadi[4] and Zahra Oraghi Ardebili[5]

1- Ph.D student, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, amenehvafayi@yahoo.com

2*- Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Iranbakhsh@iau.ac.ir

3- Associate professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, sadatmandsara@gmail.com

4- Assistant Professor, Department of Biology, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, mtf.ebadi@gmail.com

5- Associate professor, Department of Biology, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran, Zahraoraghi@yahoo.com

Received: December 2021 Accepted: February 2022

چکیده

هدف این مطالعه، بررسی تغییرات آناتومیک گیاه داتوره *Datura stramonium* در پاسخ به نانوذرات اکسید روی (صفر، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و شوری (صفر و ۳۰۰ میلی‌مولار) است. تیمار شوری موجب کاهش معنی‌دار میزان طول و عرض برگ نسبت به شاهد شد. تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب افزایش میزان طول و عرض برگ نسبت به شاهد شد. همچنین این تیمار موجب کاهش اثرات منفی شوری بر طول برگ و عرض برگ گیاه داتوره شد. در حالیکه تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو مانند شوری موجب کاهش این خصوصیات رشدی در برگ شد. شوری موجب کاهش ضخامت برگ و تضعیف توسعه آوندها شد. در حالیکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب افزایش ضخامت برگ و تقویت توسعه سیستم آوندی شد. تیمار نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب تخفیف علائم سمیت شوری در گیاه شد. در مقطع عرضی ساقه، تیمار شوری موجب کاهش تمایز آوندی شد، در حالیکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب توسعه بافت استحکامی کلانشیم شد. همچنین دستجات آوندی ساقه توسعه بیشتری در این گروه داشتند. در تیمار همزمان شوری و نانو روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر توسعه سیستم آوندی نسبت به گروه کنترل شوری بیشتر بود که همین امر توانست موجب کاهش علائم سمیت شوری در گیاه شود. نتایج نشان داد که تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید اثرات بازدارنده بر تمایز سیستم آوندی داشت. بنابراین به نظر می‌رسد تیمار نانو در غلظت‌های کم می‌تواند علائم سمیت شوری را از طریق تاثیر بر تمایز سیستم آوندی، بافت‌های استحکامی و رشد را تخفیف دهد.

کلمات کلیدی: تنش شوری، صفات آناتومیک، نانو اکسید روی، *Datura stramoniu*

Abstract

This study aimed to evaluate the anatomical response of Datura stramonium to long-term exposure to zinc oxide nanoparticles (0, 100, and 500 mgl-1) and salinity (0 and 300 mM). Salinity treatment reduced leaf length and width compared to the control, while treatment of 100 mgl-1 nano-zinc oxide increased the leaf length and width relative to the control. Furthermore, 100 mgl-1 nano-zinc oxide treatment alleviated adverse effects of salinity. However, the treatment of 500 mgl-1 nano zinc oxide had a negative effect on those characteristics. Salinity decreased leaf thickness and vascular development, whereas 100 mgl-1 treatment increased leaf thickness and vascular system development compared to the control. 100 mgl-1 Zinc nano oxide treatment also reduced the signs of salinity stress in the plant. In the cross-section of the stem, salinity treatment reduced vascular differentiation, while 100 mgl-1 zinc nanoparticle treatment reinforced development of conducting tissues and the development of collenchyma. In the simultaneous treatment of salinity and 100 mgl-1 nanozinc oxide, the development of the vascular system was higher than the salinity control, thereby reducing the symptoms of salinity toxicity in the plant. The results showed that the treatment of 500 mgl-1 limited the differentiation of xylem tissue. Therefore, it seems that nano-zinc at low dose can mitigate the risk of salinity through the modification in differentiation of xylem tissue and collenchyma.

Keywords: Anatomical traits, *Datura stramonium*, Nano zinc oxide, Salt stress.

مقدمه و کلیات

اکسید روی (ZnO) و فرم نانو آن (nZnO) از جمله ترکیبات اکسید فلزی است که به طور گسترده در بسیاری از زمینه های صنعتی مورد بهره‌برداری قرارگرفته و احتمال آلودگی خاک و آب را افزایش می‌دهد (Faizan *et al*.,, 2020). عکس‌العمل گیاه به nZnOمی‌تواند با عوامل مختلفی مانند، غلظت، صفات فیزیکوشیمیایی نانوذرات، روش کاربرد، زمان قرارگرفتن در معرض نانو ذره، نوع گونه گیاهی و مرحله رشد، متغیر باشد. مزایای بالقوه nZnO در رشد گیاه (Faizan *et al*., 2018)، اندام‌زایی (Babajani *et al*., 2019)، تجمع زیستی روی (Babajani *et al*., 2019)، فتوسنتز (Faizan *et al*., 2018)، تغذیه (Babajani *et al*., 2019) و گلدهی (Bandyopadhyay *et al*., 2015) در گونه‌های مختلف گیاهی گزارش شده است علاوه بر این، این مسئله مطرح شده است که کاربرد nZnO می تواند متابولیسم ثانویه را تحریک کرده و باعث محافظت از گیاه در برابر تنش شود (Babajani *et al*., 2019; Faizan *et al*., 2020). آلودگی خاک با nZnO ممکن است با میکروبیوم برهمکنش داشته باشد که از فاکتورهای تعیین کننده حیاتی برای رشد و تغذیه گیاه است (Iranbakhsh *et al*., 2020). برخی از محققان همچنین در مورد سمیت سلولی / ژنی nZnO در گیاهان هشدار داده اند (Iranbakhsh *et al*., 2020). با این وجود، سازوکاری که nZnO می‌تواند این واکنش‌ها را ایجاد کند، به ویژه در سطوح مولکولی و آناتومیک باید توضیح داده شود تا خلاهای تحقیقاتی تکمیل شود. جنس Datura متعلق به خانواده Solanaceae است گیاهان این جنس به ویژه به دلیل تولید آلکالوئیدهای تروپان که با حلقه بی نظیر دو حلقه ای تروپان، گیاهان دارویی با ارزشی هستند. گیاه *D. stramonium* L. منبع غنی از آلکالوئیدهای تروپان است که در میان آنها هیوسیامین و اسکوپولامین مواد اصلی تشکیل دهنده هستند. ترکیبات/ محصولات مشتق از گیاه Datura فعالیت های مختلفی مانند ضدآسم، ضدکولینرژیک، ضدسرطان، ضد التهاب و ضدقارچ را نشان می‌دهند (Soni *et al*., 2012). با در نظر گرفتن عملکردهای مختلف دارویی قابل توجه آلکالوئیدهای تروپان، تلاش‌های زیادی برای معرفی استراتژی‌هایی جهت تسریع رشد و متابولیسم این گیاهان انجام شده است. تروپینون ردوکتاز و هیوسیامین ٦ بتا–هیدروکسیلاز (H6H) به تولید آلکالوئیدهای تروپان کمک می کنند. ژن های TR-I و H6H ژن‌های اصلی در مهندسی ژنتیک مسیر متابولیک آلکالوئیدهای تروپان هستند (Qiang *et al*., 2015). گیاهان برای مقابله با شرایط تنش تکامل یافته‌اند و رشد، مورفولوژی، اندام‌زایی و متابولیسم را از طریق ایجاد مسیرهای سیگنالینگ پیچیده و برنامه‌ریزی رونویسی هسته‌ای تنظیم می‌کنند. در این راستا، فاکتورهای رونویسی از اهمیت حیاتی در طول رویدادهای بیولوژیکی انتقال سیگنال برخوردار هستند. شواهد علمی بر نقش فاکتورهای نسخه‌برداری در تنظیم رشد، متابولیسم و تمایز بافتی تاکید دارد (Vafaee *et al*., 2021). شوری یکی از فاکتورهای تنش‌زای اصلی محدودکننده‌ی رشد و باروری گیاهان است (Saleem *et al*., 2011). در حدود ۷ در صد از کل

مساحت کره زمین متأثر از شوری است. به‌علاوه، شور شدن زمین‌های کشاورزی به یک مشکل عمده برای تولید مواد غذایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل‌شده است (Munns and Tester, 2008). شوری یکی از عوامل محیطی مضر و محدودکننده‌ی رشد محصولات و عملکرد آن‌هاست. تنش شوری اصلی‌ترین عامل کمبود آب و سمیت یونی مشخص در گیاهان است که از طریق اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی به‌ویژه فتوسنتز مانع از رشد گیاه می‌شود (Shu *et al*., 2010). تنش شوری راندمان فتوسنتزی گیاه را از طریق محدود کردن روزنه‌ها (Chaves *et al*., 2008) و محدودیت غیر روزنه‌ای مانند از دست دادن کلروفیل، مهار فعالیت آنزیم روبیسکو و تخریب پروتئین‌های غشایی دستگاه فتوسنتزی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mittal *et al*., 2012). علاوه بر این تنش شوری به‌طور مستقیم به دستگاه فتوسنتزی خسارت وارد کرده و درنتیجه هم سرعت فتوسنتز و هم مدت‌زمان جذب کاهش می‌یابد (Prasad *et al*., 2013). کلروپلاست که محل فتوسنتز است اندامکی بسیار حساس به محیط است ضمن اینکه منبع اصلی تولیدکننده‌ی گونه‌های اصلی اکسیژن فعال (ROS) است. شوری بالا می‌تواند موجب تجمع گونه‌های اکسیژن فعال در درون کلروپلاست شود (Yang *et al*., 2018). شوری زیاد پتانسیل اسمزی ماتریکس خاک را افزایش داده و درنتیجه محدودکننده‌ی جذب آب در گیاهان است. علاوه بر این یون سدیم در غلظت‌های سمی با جذب یون پتاسیم تداخل ایجاد کرده و درنتیجه باعث اختلال در هومئوستازی یونی می‌شود. به این ترتیب تجمع سدیم و کاهش جذب پتاسیم و کلسیم و انتقال نمک در گیاهان منجر به اختلالات متابولیکی شدید در گیاهان می‌شود. در این آزمایش اثرات غلظت‌های مختلف نانو اکسید روی و شوری بر ویژگی‌های آناتومیک گیاه داتوره بررسی می‌شود.

فرآیند پژوهش

نحوه تیمار: در این آزمایش، ماده نانوزینک اکسید از شرکت معتبر تهیه شد (US research nanomaterials, Inc; 3302 Twig Leaf Lane (Houston, TX 77084, USA. این نانوذرات اندازه ۱۰ تا ۳۰ نانومتر داشتند. بذرهای *D. stramonium* در گلدان های حاوی کوکوپیت و پرلیت (۳: ۱) رشد داده شدند. گیاهان دو بار در هفته با ۸۰ میلی لیتر از محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند. دانه رست های یک ماهه در معرض nZnO قرارگرفتند. دانه رست ها با ۱۰۰ میلی لیتر محلول غذایی در سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۵۰۰ mgl^{-1} نانو و شوری در دو سطح صفر و ۳۰۰ میلی مولار به مدت دو و نیم ماه تحت تیمار قرارگرفتند. شایان ذکر است که سطح تیمار براساس تجزیه و تحلیل پیش آزمون انتخاب شد. دانه رست ها در شرایط کنترل شده نگهداری شدند (۱۶ ساعت / ۸ ساعت روشن / تاریک ؛ میزان روشنایی: ۴۰ میکرومول در متر مکعب در ثانیه؛ دمای ۲۸). دانه رست‌های سه ماهه مورد آنالیز قرار گرفتند.

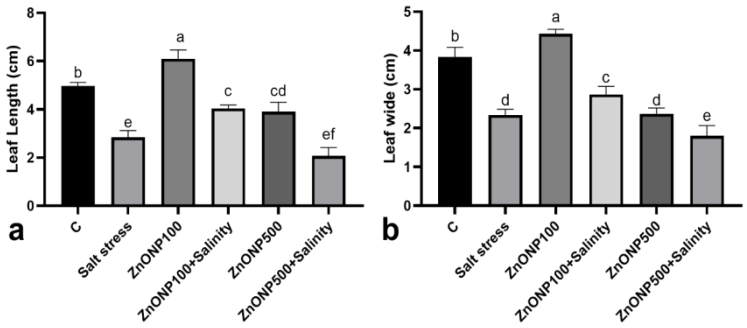
مطالعات آناتومیک: نمونه های برداشت شده در فیکساتور الکل و گلیسیرین تثبیت شدند. از ساقه و برگ گیاهان تیمار شده مقاطع عرضی تهیه شد. مقاطع اماده شده طی چند مرحله متوالی تحت تاثیر هیپوکلیریت سدیم (۲۰ دقیقه)، اسید استیک ۵٪

(۳ دقیقه)، کارمن زاجی (۲۰ دقیقه) و متیلن بلو (۳۰ ثانیه) رنگ آمیزی شدند. مقاطع تهیه شده با میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرارگرفتند. با استفاده از نرم افزار دیجی مایزر صفات اناتومیک مورد ارزیابی قرار گرفتند.

آنالیز آماری: نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار گرف‌پد تحلیل و ارزیابی شدند. از آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

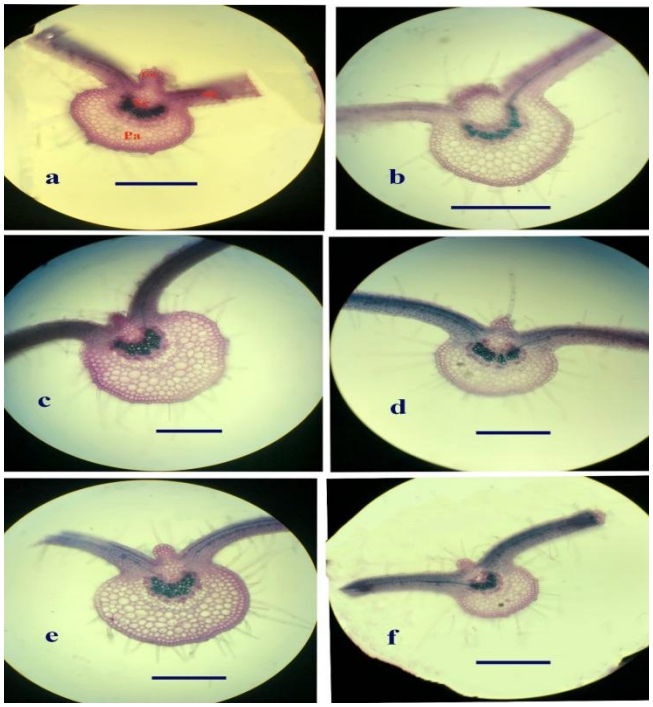
نتایج و بحث

تیمار شوری موجب کاهش میزان طول برگ نسبت به شاهد شد. تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب افزایش میزان طول برگ نسبت به شاهد شد در ضمن تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو روی موجب کاهش اثرات منفی شوری روی طول برگ گیاه داتوره شد. در حالیکه تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو مانند شوری موجب کاهش طول برگ شد. تیمار شوری موجب کاهش میزان عرض برگ نسبت به شاهد شد. تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو روی سبب افزایش میزان عرض برگ نسبت به شاهد شد در ضمن تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو روی موجب کاهش اثرات منفی شوری روی عرض برگ گیاه داتوره شد. در حالیکه تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو مانند شوری موجب کاهش عرض برگ شد. شوری موجب کاهش ضخامت برگ و توسعه آوندها شد در حالیکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب افزایش ضخامت برگ و توسعه سیستم آوندی شد. تیمار نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش علائم شوری در گیاه شد. در حالیکه تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب ایجاد سمیت شد و موجب کاهش ضخامت برگ شد. به علاوه تیمار همزمان شوری و نانو اکسید روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمترین میزان ضخامت برگ را داشت. در مقطع عرضی ساقه، تیمار شوری سبب کاهش تمایز آوندی شد، در حالیکه تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب توسعه بافت استحکامی کلانشیم شد همچنین این تیمار موجب توسعه سیستم آوندی شد به طوری که دستجات آوندی توسعه بیشتری در این گروه داشتند. در تیمار همزمان شوری و نانو روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر توسعه سیستم آوندی نسبت به شوری بیشتر بود که همین امر می تواند موجب کاهش علائم سمیت شوری در گیاه شود. نتایج نشان داد که تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب کاهش سیستم آوندی شد. بنابراین به نظر می‌رسد نیمار نانو روی بسته به غلظت می‌تواند سیستم آوندی را تحت تاثیر قراردهد.



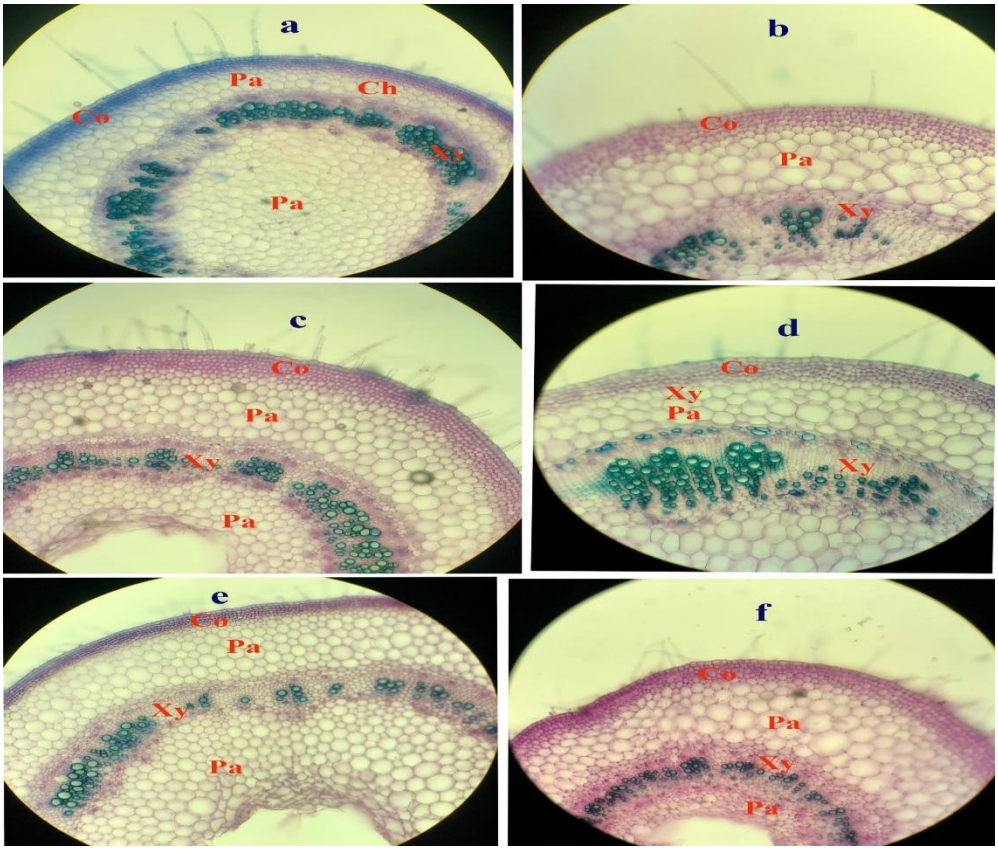
شکل۱- تغییرات در صفات مربوط به رشد و مورفولوژی برگ در گیاه داتوره تحت تیمار نانواکسید روی در سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم درلیتر و شوری در دو سطح ۰ و ۳۰۰ میلی مولار. **C** (کنترل)، **salt stress** (شوری ۳۰۰ میلی مولار)، **ZnONP100** (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، **ZnONP100+salinity** (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار)، **ZnONP500** (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و **ZnONP500+salinity** (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار).

Fig 1- Changes in growth and morphology of leaf in Datura plant treated with zinc nano oxide at three levels of 0, 100 and 500 mg l^{-1} and salinity at two levels of 0 and 300 mM. C (control), salt stress (salinity 300 mM), ZnONP100 (zinc nano oxide 100 mg l^{-1}), ZnONP100 + salinity (zinc nano oxide 100 mg l^{-1} and salinity 300 mM), ZnONP500 (zinc nano oxide 500 mg l^{-1}) and ZnONP500 + salinity (zinc nano oxide 500 mg l-1 and salinity 300 mM).



شکل۲- مقطع عرضی برگ گیاه داتوره تحت تیمار نانو اکسید روی در سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری در دو سطح ۰ و ۳۰۰ میلی مولار.**a**) کنترل، **b**) شوری ۳۰۰ میلی مولار، **c**) **ZnONP100** (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، **d**) **ZnONP100+salinity** (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار)، **e**) **ZnONP500** (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، **f**) **ZnONP500+salinity** (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار). علایم اختصاری: **Co** کلانشیم، **Pa** پارانشیم، **Xy** اوند چوبی **Me** مزوفیل.

Fig 2- Leaf cross section in Datura plant treated with zinc nano oxide at three levels of 0, 100 and 500 mg l^{-1} and salinity at two levels of 0 and 300 mM. treatments are as follows: C (control), salt stress (salinity 300 mM), ZnONP100 (zinc nano oxide 100 mg l^{-1}), ZnONP100 + salinity (zinc nano oxide 100 mg l^{-1} and salinity 300 mM), ZnONP500 (zinc nano oxide 500 mg l^{-1}) and ZnONP500 + salinity (zinc nano oxide 500 mg l^{-1} and salinity 300 mM).



شکل۳- مقطع عرضی ساقه گیاه داتوره تحت تیمار نانواکسید روی در سه سطح ۰ ، ۱۰۰ و ۵۰۰ mgl-1 و شوری در دو سطح ۰ و ۳۰۰ میلی مولار.a) C (کنترل)، b) salt stress (شوری ۳۰۰ میلی مولار)، c) ZnONP100 (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر)، d) ZnONP100+salinity (نانو روی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار)، e) ZnONP500 (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر)، f) ZnONP500+salinity (نانو روی ۵۰۰ میلی گرم در لیتر و شوری ۳۰۰ میلی مولار). علایم اختصاری: Co کلانشیم، Pa پارانشیم، Xy اوند چوبی.

Fig 3- Shoot cross section in Datura plant treated with zinc nano oxide at three levels of 0, 100 and 500 mg l^{-1} and salinity at two levels of 0 and 300 mM. treatments are as follows: C (control), salt stress (salinity 300 mM), ZnONP100 (zinc nano oxide 100 mg l^{-1}), ZnONP100 + salinity (zinc nano oxide 100 mg l^{-1} and salinity 300 mM), ZnONP500 (zinc nano oxide 500 mg l^{-1}) and ZnONP500 + salinity (zinc nano oxide 500 mg l^{-1} and salinity 300 mM).

کاهش جذب آب در ریشه و نبود تعادل بین جذب آب و تعرق از عوامل کاهش رشد در اثر تنش شوری به شمار می‌آیند که سبب کاهش پتانسل آب در آوند چوبی و کاهش شیب پتانسیل آب بین سلول‌های درحال توسعه و منبع آب (آوند چوبی که گسترش سلول‌ها را هدایت می‌کند) می‌شود (کارگر خرمی و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعه‌های پیشین نشان می‌دهند برهم‌خوردن توازن یونی در گیاهان در اثر تنش شوری به اختلالات ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف مانند کاهش سطح برگ، تسریع پیری برگ‌ها، افزایش درجه‌حرارت برگ، کاهش کارایی زنجیرهٔ انتقال الکترون و کمپکس جمع‌کنندهٔ نور، کاهش کارایی دکربوکسیلازی آنزیم روبیسکو یا افزایش فعالیت اکسیژنازی این آنزیم، کاهش ظرفیت بازسازیRUBP ، مهار سنتز ATP به علت مهار فعالیت کمپلکس سنتتاز، غیرفعال‌شدن PSI و PSII، اختلال در جذب و انتقال یون‌های ضروری و نبود تعادل و کمبود عناصر ضروری، تنش اکسیداتیو و

اکسیداسیون ترکیبات مهم زیستی ازجمله پروتئین‌ها منجر می‌شود(کارگر خرمی و همکاران،۲۰۱۹). کارگر خرمی و همکاران بیان کردند تنش شوری از رشد، تقسیم و گسترش سلولی جلوگیری می‌کند و کاهش ضخامت برگ نتیجهٔ تنش اسمزی و کاهش میزان آب در سلول‌های مزوفیلی است. کاهش میزان هورمون‌های اکسین و جیبرلین و افزایش فعالیت اکسین‌اکسیداز را می‌توان ازجمله عوامل کاهش گسترش سلول‌ها در بافت‌های مختلف دانست. مطالعه‌های انجام‌شده روی دو رقم ذرت نشان دادند محتوای اکسین تحت‌تأثیر تنش شوری کاهش می‌یابد (کارگرخرمی و همکاران، ۲۰۱۹)، علاوه بر این، Mendoza و همکاران (۲۰۱٦) نشان دادند میزان اکسین و انتقال قطبی در اثر تنش شوری کاهش می‌یابد. ازآنجاکه هورمون اکسین تنظیم‌کنندهٔ رشد و توسعهٔ سلول‌ها شناخته می‌شود، می‌توان کاهش میزان اکسین را از علل کاهش رشد و تغییر در توسعه و رشد ساختارهای آناتومی دانست که ممکن است به‌علت کاهش بیوسنتز آن یا افزایش فعالیت آنزیم اکسین‌اکسیداز باشد. نتایج مشابهی از کاهش میزان اکسین در شرایط تنش شوری در گوجه (Dunlap and Binzel, 1996) و برنج (Nilsen and Orcutt, 1996) مشاهده شده‌اند. شاخص تراکم روزنه‌ای، طول سلول‌های پارانشیم نردبانی و ضخامت لایهٔ پارانشیم حفره‌ای نیز کاهش می‌یابد. علت اصلی کاهش ضخامت ساقه، کاهش بافت آوندی به‌ویژه مرتبط با کاهش قطر گزیلم‌هاست و به میزان کمتری با کاهش پارانشیم پوستی و مغزی ارتباط دارد (کارگرخرمی و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعهٔ حاضر، کاهش درخور توجهی در شاخص تراکم روزنه‌ای مشاهده شد که احتمالاً عاملی برای کاهش جریان آب در اثر کاهش تعرق و جلوگیری از هدررفت آب و مانعی برای جریان‌یافتن یون‌های سمی است. نتایج مطالعه‌های Younis و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند میزان ضخامت پوست ریشه و ساقه در اثر تنش شوری کاهش می‌یابد. آنها بیان کردند این کاهش به کاهش رشد ریشه و ساقه منجر می‌شود . بررسی تشریحی ساقه و برگ گیاه تاتوره تحت تیمار نانو اکسید روی و شوری نشان داد که تیمار شوری و ۵۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی مانع توسعه آوندی در گیاه تاتوره نسبت به شاهد شد. نانوذرات ZnOاثر سمیت برروی طول ریشه برنج داشت (Zheng *et al*., 2005). همچنین کاهش رشد گندم و لوبیا در تیمار با نانوذرات مس مشاهده‌شد (Lee *et al*., 2008). بی‌نظمی در مسیر انتقال آب و مواد معدنی یکی از راه‌های پیشنهادی برای این‌که نانوذرات چگونه موجب آسیب زدن به گیاه می‌شود (Ahmadi *et al*., 2020). تیمار۱۰۰ میلی گرم در لیتر نانو اکسید روی موجب توسعه آوندی در گیاه تاتوره نسبت به شاهد شد. تیمار نانوذرات اکسید روی از طریق افزایش سطح ایندول استیک اسید در ریشه نخود موجب افزایش رشد این گیاه شد (Ahmadi *et al*., 2020). نانوذرات با عبور از دیواره سلولی و لایه اپیدرم ریشه به‌درون گیاه نفوذ کرده و به‌ساقه و برگ راه پیدا می‌کنند. مطالعات نشان داده که تغییرات محیطی می‌تواند منجر به‌تغییرات تشریحی در سلول و بافت‌های گیاهی شود. در پژوهشی، در غلظت بالای نانوذرات اکسید روی آشفتگی در بافت‌های

ریشه لوبیا مشاهده شد، هم‌چنین منجر به‌گسترش سیستم واکوئلی در سلول‌های پارانشیم پوست و فشرده شدن استوانه آوندی شد (Ahmadi *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری کلی

تیمار شوری و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو موجب کاهش میزان طول، عرض و ضخامت برگ و تضعیف توسعه آوندها شد. در حالی که تیمار نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر موجب تخفیف علائم سمیت شوری در گیاه شد. تیمار نانو در غلظت‌های کم می‌تواند علائم سمیت شوری را از طریق تاثیر بر تمایز سیستم آوندی، بافت‌های استحکامی و رشد تخفیف دهد.

منابع

1) Ahmadi, L., Kolahi, M., Mohajjel Shoja, H. and E, Mohajel Kazemi. 2020. Effect of TiO2 nanoparticles on physiological and anatomical characteristics of Baby sun rose (Aptenia cordifolia). Journal of Cell and Tissue, 11(3): 188-203.
2) Babajani, A., Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O. and B, Eslami. 2019. Differential growth, nutrition, physiology, and gene expression in Melissa officinalis mediated by zinc oxide and elemental selenium nanoparticles. Environment Science and Pollution Research, 26(24): 24430-44.
3) Bandyopadhyay, S., Plascencia-Villa, G., Mukherjee, A., Rico, C.M., José-Yacamán, M., Peralta-Videa, J.R. and J.L, Gardea-Torresdey. 2015. Comparative phytotoxicity of ZnO NPs, bulk ZnO, and ionic zinc onto the alfalfa plants symbiotically associated with Sinorhizobium meliloti in soil. Science Total Environment, 15(515): 60-9.
4) Chaves M., Flexas J. and C, Pinheiro. 2008. Photosynthesis Under Drought and Salt Stress: Regulation Mechanisms From Whole Plant to Cell. Annals of Botany, 103(4): 551-560.
5) Faizan, M., Hayat, S. and J, Pichtel. 2020. Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Crop Plants: A Perspective Analysis. Sustainable Agriculture Review. 41: 83-99.
6) Faizan, M., Faraz, A., Yusuf, M., Khan, S.T. and S, Hayat. 2018. Zinc oxide nanoparticle-mediated changes in photosynthetic efficiency and antioxidant system of tomato plants. Photosynthetica, 56(2): 678-86.
7) Dunlap, J.R. and M, Binzel. 1996. NaCl reduces indole-3-acetic acid levels in the roots of tomato plants independent of stress induced abscisic acid. Plant Physiology. 112(1): 379-384.
8) Iranbakhsh, A., Ardebili, Z.O., Molaei, H., Ardebili , N.O. and M, Amini. 2020. Cold plasma up-regulated expressions of WRKY1 transcription factor and genes involved in biosynthesis of cannabinoids in Hemp (*Cannabis sativa* L.). Plasma Chemistry and Plasma Process, 40(2): 527-537.
9) Iranbakhsh, A., Oshaghi, M. and A, Majd. 2006. Distribution of atropine and scopolamine in different organs and stages of development in *Datura stramonium* L. (Solanaceae). Structure and ultrastructure of biosynthesizing cells. Acta Biologica Cracoviensia series Botanica, 48(1): 8-13.
10) Lee W., An Y., Yoon, H. and H, Kweon. 2008. Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to the terrestrial plants mung bean (Phaseolus radiatus) and wheat (Triticum aestivum): plant agar teat for water-insoluble nanoparticles. Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal, 27(9): 1915–1921.
11) Li, S., Lin, Y.C.J., Wang, P., Zhang, B., Li, M., Chen, S., Shi, R., Tunlaya-Anukit, S., Liu, X., Wang, Z. and X, Dai. 2019. The AREB1 transcription factor influences histone acetylation to regulate drought responses and tolerance in Populus trichocarpa. Plant Cell, 31(3): 663-686

12) Mendoza-Hernández, J.C., Perea-Vélez, Y.S., Arriola-Morales, J., Martínez-Simón, S.M. and G, Pérez-Osorio. 2016. Assessing the effects of heavy metals in ACC deaminase and IAA production on plant growth-promoting bacteria. Microbiological Research, 1(188): 53-61.
13) Mittal, S., Kumari, N. and V, Sharma. 2012. Differential response of salt stress on Brassica juncea: Photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. Plant Physiology and Biochemistry, 1(54): 17–26.
14) Munns, R. and M, Tester. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual review of plant biology, 2(59): 651-81.
15) Nilsen, E. and D.M, Orcutt. 1996. The physiology of plants under stress- abiotic factors. Wiley, New York.
16) Prasad, S., Patel, H., Patel, T., Patel, K. and K, Selvaraj. 2013. Biosynthesis of Se nanoparticles and its effect on UV-induced DNA damage. Colloids Surf B Biointerfaces, 1(103): 261–266.
17) Qiang, W., Hou, Y.L., Li, X., Xia K. and Z.H, Liao. 2015. Cloning and expression of the key enzyme hyoscyamine 6 beta-hydroxylase gene (DaH6H) in scopolamine biosynthesis of Datura arborea. Acta Pharmaceutica Sinica, 50(10): 1346-1355.
18) Saleem, A., Ashraf, M. and N.A, Akram. 2011. Salt (NaCl)-induced modulation in some keyphysio-biochemical attributes in okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Journal Agronomical Crop Science, 197(3): 202-213.
19) Shu, S., Sun, J., Guo, S.R., Li, J., Liu, C.J., Wang, C.Y. and C.X, Du. 2010. Effects of exogenous putrescine on PSII photochemistry and ion distribution of cucumber seedlings under salt stress. Acta Horticultural Sinica, 37(7): 1065–1072.
20) Soni, P., Siddiqui, A.A., Dwivedi, J. and V, Soni. 2012. Pharmacological properties of Datura stramonium L. as a potential medicinal tree: an overview. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2(12): 1002-8.
21) Yang, Y. and Y, Guo. 2018. Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt stress responses. New Phytologist. 217(2): 523-539
22) Younis, A., Anjum, S., Riaz, A., Hameed, M., Tariq, U. and M, Ahsan. 2014. Production of quality dahlia (*Dahlia variabilis* cv. Redskin) flowers by efficient nutrients management. Am-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences. 14(2): 137-142.
23) Zheng, L., Hong, F., Lu, S. and C, Liu. 2005. Effect of nano-TiO2 on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. Biological trace element research, 104(1): 83–92.
24) Zhang, Y., Xu, Z., Ji, A., Luo, H. and J, Song. 2018. Genomic survey of bZIP transcription factor genes related to tanshinone biosynthesis in Salviamiltiorrhiza. ActaPharmaceuticaSinica B, 8(2): 295-305.