

اثر تنش شوری و محلول پاشی نانو اکسید روی بر برخی ویژگی های فیزیولوژیکی گیاه کلزا

(*Camelina sativa* L.) و کاملینا (*Brassica napus* L.)

طرفه اخوان هزاوه^۱، لطیفه پورا کبر^{۲*}، فاطمه رحمانی^۳ و هادی علیپور^۴

(۱) دانشجوی دکتری گروه زیست شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(۲ و ۳) دانشیار گروه زیست شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

(۴) استادیار گروه بیوتکنولوژی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* نویسنده مسئول: L.pourakbar@urmia.ac.ir

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می باشد.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش شوری و نانو اکسید روی بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کلزا و کاملینا، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه گروه زیست شناسی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. عامل نانو اکسید روی در سه سطح صفر، ۲۵ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر به صورت محلول پاشی و عامل تنش شوری در غلظت های صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که واکنش دو گیاه به تنش شوری کاملاً متمایز است. به طوری که در تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار، بیشترین تجمع یون کلر در ریشه گیاه کاملینا مشاهده شد، ولی در گیاه کلزا بیشترین انباشتگی یون کلر در برگ بود. نسبت پتاسیم به سدیم در برگ کلزا در مقایسه به ریشه بیشتر بود، در صورتی که در گیاه کاملینا نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه بیشتر بود. محتوای نسبی آب و پرولین برگ و ریشه با افزایش تنش شوری در هر دو گیاه افزایش یافت. ولی مقادیر افزایش محتوای نسبی آب و انباشتگی پرولین برگ و ریشه در کاملینا در مقایسه با کلزا بیشتر بود. با افزایش تنش شوری تا ۱۵۰ میلی مولار کلروفیل کل، کلروفیل a و b در هر دو گیاه مورد بررسی کاهش معنی دار نشان داد. ولی مقدار این کاهش در کلزا در مقایسه با کاملینا به طور معنی دار بیشتر بود. محلول پاشی نانو اکسید روی با غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در هر دو گیاه کلزا و کاملینا به غیر از صفت نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ریشه، در سایر صفات مورد بررسی باعث کاهش معنی دار اثرات تنش شوری شد که می توان برای کاهش اثر تنش شوری استفاده نمود.

واژه های کلیدی: انباشتگی پرولین، کلروفیل کل و محتوای آب نسبی.

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تامین انرژی مورد نیاز انسان محسوب می‌شوند. کلزا (*Brassica napus L.*) و کاملینا (*Camelina sativa L.*) هر دو متعلق به خانواده *Cruciferous* بوده که به‌طور بالقوه یک منبع مهم روغن گیاهی محسوب می‌شوند (Ashraf et al., 2004). گیاه کلزا منبع تغذیه‌ای بسیار متنوعی از مواد غذایی است که حاوی مواد مغذی مانند اسید فیتیک، فیبر، قندهای محلول، گلوکوزینولات‌ها، ترکیبات فنلی، ویتامین‌ها، مواد معدنی، پلی‌فنل‌ها، چربی و کاروتنوئیدها (Jahangir et al., 2009) و مواد فیتوشیمیایی است که در افزایش سلامت نقش مهمی داشته و به‌طور گسترده‌ای برای مصرف انسان کشت می‌شود (George et al., 2015). گیاه کاملینا نیز به‌عنوان یک گیاه روغنی جدید شناخته شده که به‌دلیل تحمل به تنش مختلف محیطی نظیر تنش‌های خشکی، سرما و شوری (Sampath, 2009)، مقاومت بالا در برابر آفات و بیماری‌ها (Gehring, 2010)، نیاز آبی و کودی کم‌تر، دوره رسیدگی کوتاه ما بین ۱۰۰-۱۲۰ روز و همچنین قابلیت بالای تولید روغن، می‌تواند جایگزین روغن‌های دیگر شود. روغن کاملینا نه تنها کیفیت مناسبی در خوراک انسان دارد (Popa et al., 2017)، بلکه زیست توده حاصل از این گیاه برای تغذیه دام نیز مناسب است. تنش شوری به ویژه NaCl، یکی از مهم‌ترین تنش غیرزیستی در کاهش بازده تولید محصولات زراعی است (Grattan, 2002). گیاهان ساز و کارهای متفاوتی در مقابله با تنش شوری هم در سطح متابولیت‌های اولیه و هم در سطوح پروتئین‌ها نشان می‌دهند (Akula and Ravishankar, 2011). پروتئین‌ها و به‌ویژه آنزیم‌ها به‌طور مشخص در مطالعات مختلف در مراحل متابولیسم گیاه در فتوسنتز، متابولیسم انرژی، جاروب‌کننده ROS و هموستازی یون‌ها، آسیمیلاسیون نیتروژن و تنش اکسیداتیو، متابولیت‌های ثانویه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Parida and Das, 2005; Zhang et al., 2012). یکی از اثرهای مهم تنش شوری کاهش جذب عناصر ریزمغذی مانند آهن، منگنز، مس، روی و مولیبدن است، زیرا حلالیت این عناصر در خاک شور بسیار کم‌تر می‌شود (Kramer, 2008). بنابراین استفاده از ریزمغذی‌ها به ویژه روی یکی از راه‌های مؤثر در رفع نیاز غذایی گیاهان به عناصر کم‌مصرف به ویژه در شرایط شور است و از طریق کاهش اثرات منفی یون‌های سمی می‌تواند تحمل گیاه به تنش شوری را افزایش داد (جوادی و همکاران، ۱۳۹۷). کوچک بودن اندازه نانو اکسید روی و بالا بودن سطح تماس در آن‌ها احتمالاً باعث بهبود جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند که می‌تواند دلیل برتری استفاده از نانو اکسید روی بر یون Zn^{+2} باشد. به طوری که افزایش بیش‌تر محصول در بادم زمینی هنگام استفاده از نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰۰ در میلیون (ppm) در مقایسه با کلات و سولفات روی گزارش شده است (Prasad et al., 2012). ۱۵۰ میلی‌مولار در پرایمینگ بذر گیاه لوبین با نانو اکسید روی در غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (Latef et al., 2017). روی باعث افزایش تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، دمای زیاد و

شوری می‌شود (Ozturk *et al.*, 2006). کاربرد روی می‌تواند اثر زیان‌آور سدیم و کلر را در گیاهان کاهش و مانع انتقال سدیم در گیاه شده و غلظت پتاسیم را در ساقه افزایش دهد و در نتیجه نسبت پتاسیم به سدیم را افزایش دهد (Aktas *et al.*, 2007). در گیاه آرابیدوپسیس استفاده از نانوذرات اکسید روی در خاک با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب کاهش کلروفیل کل گردید (Wang *et al.*, 2017). افزایش پرولین تحت نانوذرات اکسید روی ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شوری متوسط ۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک در گیاه برنج گزارش شده است (Saleh and Maftoun, 2010). علیرغم اهمیت اقتصادی توسعه تولید روغن‌های گیاهی به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی، در رابطه با ساز و کارهای تحمل به تنش شوری در کلزا و کاملینا و همچنین اثر نانوآکسید روی در کاهش اثر تنش شوری مطالعه چندانی انجام نشده است. لذا با توجه به گسترش زمین‌های شور در اکثر مناطق زراعی جهان و ایران به ویژه در زمین‌های اطراف دریاچه ارومیه، لازم است علاوه بر معرفی گیاهان متحمل به تنش شوری برای کشت در این مناطق، موادی که اثر تنش شوری را کاهش می‌دهند نیز مطالعه شود تا بتوان از اراضی شور نیز بهره برداری نمود. تحقیق حاضر به منظور بررسی محلول‌پاشی نانوآکسید روی در کاهش اثر تنش شوری در دو گیاه روغنی کاملینا و کلزا و مقایسه مکانیسم‌های تحمل این دو گیاه بر اساس برخی از صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت آزمایش فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. عامل اول شامل دو گیاه کلزا و کاملینا به ترتیب از مرکز اصلاح و تکنولوژی بذر جهاد کشاورزی آذربایجان غربی و Strictly Medicinal Seeds ایالت آرگان آمریکا تهیه شدند. عامل دوم سه سطح تنش شوری شامل صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و عامل سوم سه سطح محلول نانوآکسید روی شامل صفر، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شدند. بذرها بعد از ضدعفونی سطحی با هیپوکلرید سدیم ۲ درصد به مدت ۵ دقیقه، در گلدان‌های محتوی پرلیت و خاک (به نسبت ۱:۲) با ابعاد ۴۰×۴۰×۶۰ کشت شدند. برای ایجاد زهکشی مناسب و جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، ته هر گلدان به ارتفاع ۱ سانتی‌متر سنگ‌ریزه ریخته شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. در هر گلدان با قطر ۲۰ سانتی‌متر ۱۰ عدد بذر کشت گردید (ده شیری و همکاران، ۱۳۹۴). گلدان‌ها هر روز از مرحله کاشت تا مرحله جوانه‌زنی با آب مقطر آبیاری شدند و پس از ثبت تاریخ دقیق سبز شدن (زمانی که ۵۰ درصد سبز شدن انجام شد)، عناصر غذایی مورد نیاز مطابق توصیه کودی برای کاملینا و کلزا که با یک چهارم غلظت عناصر غذایی محلول هوگلند (Jaleel *et al.*, 2008) تهیه شده بودند، آبیاری شدند (جدول ۲). در طول مراحل اجرای آزمایش نیز از هیچ گونه آفت‌کش و علف‌کش شیمیایی استفاده نشد. دو

هفته بعد از استقرار بوته‌ها، ۳ بوته از هر گلدان که رشد یکنواخت داشتند، نگه داشته شد و بقیه حذف شدند. همه گیاهان در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با مخلوطی از لامپ‌های مهتابی فلورسنت سفید و زرد قرار گرفتند. محلول پاشی نانو اکسید روی در ۳ مرحله اعمال شد. اولین مرحله محلول پاشی نانو اکسید روی در مرحله ۳-۴ برگ، دومین مرحله هم‌زمان با اعمال شوری در مرحله ۵ برگ و سومین مرحله یک هفته بعد از اعمال تنش شوری، انجام شد (سیدشرفی و همکاران، ۱۳۹۲). دوازده روز پس از اعمال تنش شوری نمونه برداری و مطالعه صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی انجام شد.

جدول ۱: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت	درصد لوم	درصد سیلت	درصد شن	شوری (درصد)	اسیدیته	نیتروژن (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک)	فسفر (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک)	پتاسیم (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم خاک)	روی (میلی‌گرم بر لیتر)	آهن (میلی‌گرم بر لیتر)	مس (میلی‌گرم بر لیتر)	منگنز (میلی‌گرم بر لیتر)
لومی-شنی	۱۵	۳۲	۵۳	۱/۱	۷/۶	۱۴	۸/۵	۱۵	۱	۷/۶	۰/۲	۰/۶

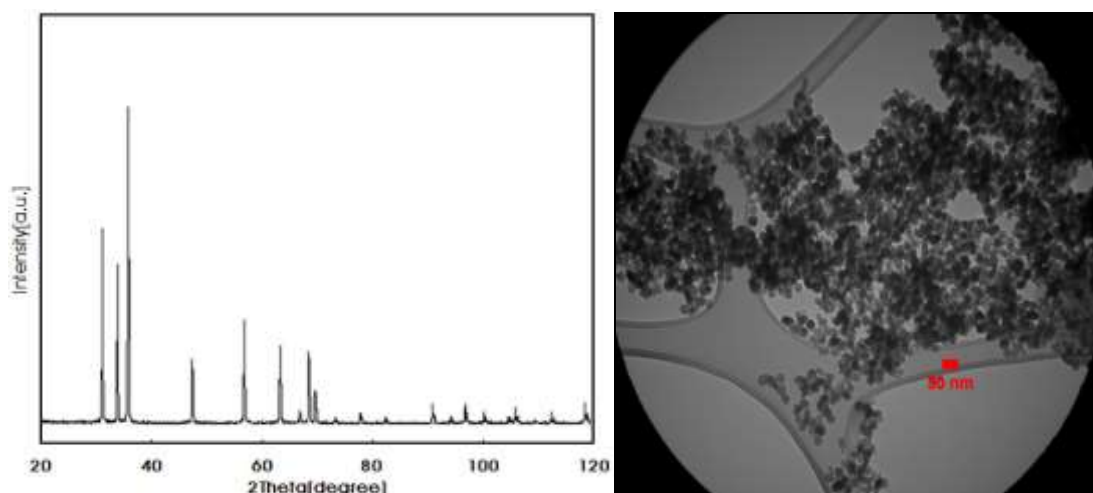
جدول ۲: محلول هوگلند در یک لیتر

ترکیبات	استوک	یک لیتر محیط کامل
ماکرونوترینت		
KNO_3	یک مولار	۵ میلی‌لیتر بر لیتر
$Ca(NO_3)_2$	یک مولار	۵ میلی‌لیتر بر لیتر
KH_2PO_4	یک مولار	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	یک مولار	۲ میلی‌لیتر بر لیتر
NH_4NO_3	یک مولار	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
میکرونوترینت		
H_3BO_3	۲/۸۶ گرم بر لیتر	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	۰/۲۲ گرم بر لیتر	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	۰/۲۲ گرم بر لیتر	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
Na_2MoO_4	۰/۱۲ گرم بر لیتر	
$MnCl_2$	۱/۸۱ گرم بر لیتر	

تهیه محلول نانو اکسید روی

اندازه‌ی نانو اکسید استفاده شده ۲۰ نانومتر، با خلوص ۹۹ درصد، دارای چگالی واقعی ۵/۶۰۶ گرم بر سانتی‌متر مربع و سطح ویژه ۶۰-۲۰۰ متر مربع با رنگ سفید شیری و کروی شکل بود (شکل ۱). به دلیل حلال نبودن اکسید روی در آب، ابتدا نانو اکسید روی در آب دی یونیزه به صورت معلق در آمده و با استفاده از دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰

کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش و محلول گردیدند (Prasad *et al.*, 2013). اسیدیته محلول بعد از پراکندگی برابر ۶/۱ بود. اندازه نانوآکسید روی و تصویر آن با استفاده از میکروسکوپ SEM (1450VP, LEO, Cambridge, Uk) (Model) در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: نمودار و تصویر با میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM

سطح روی از غلظت‌های مختلف نانوآکسید روی توسط روش آنالیز ICP-OES طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی مدل 730-Esvarion Company توسط خدمات آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شریف تعیین گردید (جدول ۳).

جدول ۳: غلظت سوسپانسیون روی استفاده شده در غلظت‌های مختلف نانوآکسید روی

۲۵	۱۰۰	غلظت نانو ذرات اکسیدروی (میلی گرم بر لیتر)
0.156 ± 0.016	1.155 ± 0.014	روی (میلی گرم بر لیتر)

تجزیه یون‌ها

جهت تجزیه یون‌ها، ۱۰۰ میلی‌گرم از ماده خشک پودر شده ریشه و برگ همه تیمارها در فالتون توزین و بعد از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه، به مدت یک ساعت در بن‌ماری قرار داده شد و سپس به مدت ۱۵ دقیقه با ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. میزان کلر در ۰/۵ میلی لیتر از عصاره با استفاده از دستگاه کلراید آنالیزور مدل Corning 926 سنجیده شد. میزان سدیم و پتاسیم در عصاره‌ها با استفاده از فیلم فتومتری مدل Fater 405 اندازه‌گیری شد (Abbaspour, 2008).

اندازه‌گیری پرولین

میزان پرولین آزاد در قسمت‌های مختلف نمونه‌های شاهد و تیمار طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. برای سنجش میزان پرولین ۵۰ میلی‌گرم از بافت خشک ریشه و برگ در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالسیلیک سه درصد به مدت ۷۲ ساعت هموژنیزه و بعد سانتریفوژ انجام شد. دو میلی‌لیتر محلول رویی در یک لوله آزمایش با دو میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین (George *et al.*, 2015) (شامل ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک شش نرمال + ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال + ۱/۲۵ گرم نین‌هیدرین) (جمعاً چهار میلی‌لیتر) مخلوط و به مدت یک ساعت در بن‌ماری جوش قرار داده شد. بعد از یک ساعت نمونه‌ها در آب یخ قرار داده شدند و چهار میلی‌لیتر تولوئن به آن‌ها اضافه شد. سپس با ورتکس نمونه‌ها، دو فاز تشکیل شد. در نهایت جذب فاز رویی برای هر نمونه در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. میزان پرولین، برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک با استفاده از منحنی استاندارد پرولین محاسبه شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ^۱

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ به روش Ritchie و همکاران (۱۹۹۰) انجام شد. به این صورت که نمونه‌برداری از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته تمامی تیمارهای آزمایشی انجام و نمونه‌ها بلافاصله درون یخ قرار داده شدند. سپس در آزمایشگاه وزن‌تر نمونه‌ها با ترازوی حساس اندازه‌گیری شدند (برگ‌ها نباید دچار شکستگی و پارگی باشند). سپس تمامی نمونه‌ها در آب مقطر قرار داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. سپس وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری شد و برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هر کدام اندازه‌گیری شد. با استفاده از فرمول زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد.

$$\text{RWC (\%)} = [(FW-DW)/(SW-DW)] \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در این فرمول FW^2 = وزن تر بلافاصله بعد از نمونه برداری، SW^3 = وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر و DW^4 = وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون می‌باشد.

اندازه‌گیری رنگی‌های کلروفیل

برای اندازه‌گیری رنگی‌های کلروفیل از روش لیچنتنالر و ولبورن (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) استفاده شد. مقدار ۰/۱ گرم از بافت تر برگ به همراه ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون چینی ساییده شد. عصاره‌ی حاصل به

^۱ Relative water content (RWC)

^۲ Fresh weight

^۳ Saturation weight

^۴ Dry weight

مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ دور سانتیفریوژ شد. سپس جذب فاز رویی عصاره‌ها در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر؛ ۶۴۶ نانومتر و ۴۷۰ نانومتر قرائت شدند. برای محاسبه‌ی کلروفیل کل از رابطه‌های زیر استفاده شد.

$$\text{Chla} = 12.25 A_{663} - 2.798 A_{646} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$\text{Chlb} = 21.5 A_{646} - 5.1 A_{663} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\text{Total Chl} = 1000 A_{470} - 1.82 \text{ Chla} - 85.02 \text{ Chlb} / 198 \quad \text{رابطه ۴:}$$

در این رابطه‌ها، A میزان جذب قرائت شده در هر طول موج توسط اسپکتروفتومتر می‌باشد.

تجزیه آماری

پس از آزمون نرمال بودن خطاهای مشاهدات، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از PROC GLM در نرم افزار SAS 9.4 انجام شد و جهت مقایسه میانگین تیمارها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد و میانگین تیمارها با خطای استاندارد ارائه شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس بین برهم‌کنش سه طرفه گیاه × تنش شوری × نانوآکسید روی تنها برای صفات کلر برگ و ریشه و پرولین برگ و ریشه و کلروفیل b اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد (جدول ۴). اما برهم‌کنش تنش شوری × نانوآکسید روی در تمامی صفات مورد بررسی نه تنها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد، بلکه کنش و درصد بلایی از تغییرات داده‌ها را نیز در مقایسه با سایر برهم‌کنش‌ها توجیه نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سطوح مختلف تنش شوری کاربرد سطوح مختلف نانوآکسید روی اثر متفاوتی در افزایش و یا کاهش صفات مورد بررسی ایجاد می‌کند.

کلر برگ و ریشه

با افزایش تنش شوری انباشتگی کلر در برگ افزایش نشان داد. بیش‌ترین میزان انباشتگی کلر در برگ کلزا در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول‌پاشی نانوآکسید روی مشاهده شد که نسبت به شاهد حدود ۱۲/۶۴ برابر افزایش غلظت نشان داد. در حالی که در کاملینا میزان انباشتگی کلر در برگ در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شاهد در حدود ۷/۶۱ برابر افزایش یافت. افزایش تنش شوری منجر به افزایش میزان تجمع کلر در ریشه نیز شد (جدول ۵). با این تفاوت که در ریشه میزان انباشتگی کلر در گیاه کاملینا بیش‌تر از کلزا بود.

جدول ۴: تجزیه واریانس اثر شوری و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر صفات مورد بررسی در گیاه کاملینا و کلزا

منابع تغییر	د.ف.ا	د.ف.ب	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	محتوای نسبی آب	پروکلین ریشه	پروکلین برگ	نسبت پیتاسیم		نسبت پیتاسیم به سدیم ریشه	نسبت پیتاسیم به سدیم برگ	کل ریشه	کل برگ
									پیتاسیم	سدیم				
گیاه A×A	۱۸۹/۲۶	۱۲۹۳۰/۷۵ ^{***}	۳۳۵۹/۷۰ ^{***}	۵۱۲/۸۸ ^{***}	۰/۱۱۲ ^{***}	۰/۸۶۸ ^{***}	۱/۵۷ ^{ns}	۲/۴۳۸ [°]	۲۱۶۹/۶۶ ^{***}	۱۷۸۵۴۳ ^{***}	۲۱۶۹/۶۶ ^{***}	۲/۴۳۸ [°]	۲۱۶۹/۶۶ ^{***}	۱۷۸۵۴۳ ^{***}
شوری B	۴۷۰/۴۹	۵۳۵۱/۲۶ ^{***}	۱۰۵۵۸۴/۱۸ ^{***}	۱۷۲۹/۲۴ ^{***}	۱/۰۲۷ ^{***}	۲/۶۱ ^{***}	۳/۳۶ ^{***}	۳۱۳۱/۰۶ ^{***}	۴۶۳۰/۵۸ ^{***}	۹۱۹۰۰ ^{***}	۴۶۳۰/۵۸ ^{***}	۳۱۳۱/۰۶ ^{***}	۴۶۳۰/۵۸ ^{***}	۹۱۹۰۰ ^{***}
نانواکسید روی C	۴/۳۳	۴۷۹۰/۹۴ ^{***}	۸۴۸۵/۱۴ ^{***}	۳۴۴۲۷ ^{***}	۰/۰۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۷ [°]	۳/۰۴۹ ^{***}	۷/۶۹ [°]	۷۱/۷۵ ^{***}	۶۸۶/۳۱ ^{***}	۷۱/۷۵ ^{***}	۷/۶۹ [°]	۷۱/۷۵ ^{***}	۶۸۶/۳۱ ^{***}
گیاه×شوری A×B	۱۰۰۹/۳۲	۱۳۸۵/۷۹ ^{ns}	۱۹۸۷/۷۷ ^{ns}	۵۱/۸ [°]	۰/۰۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۴۶۹ ^{***}	۰/۶۸۸ ^{ns}	۱/۰۲۳ ^{ns}	۱۳۷۰/۳۳ ^{***}	۴۲۷/۸۱ ^{***}	۱۳۷۰/۳۳ ^{***}	۱/۰۲۳ ^{ns}	۱۳۷۰/۳۳ ^{***}	۴۲۷/۸۱ ^{***}
گیاه×نانواکسید روی A×C	۲۰۱/۳۵	۲۱۷۹/۵۶ [°]	۱۸۰/۷۹ ^{ns}	۱۱۲/۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۴۹ ^{ns}	۰/۰۰۳۸ ^{***}	۱/۶۶۵ [°]	۰/۳۵۳ ^{ns}	۳۴/۱۸ ^{***}	۱۲۱/۱۲ ^{***}	۳۴/۱۸ ^{***}	۰/۳۵۳ ^{ns}	۳۴/۱۸ ^{***}	۱۲۱/۱۲ ^{***}
شوری×نانواکسید روی B×C	۶۱۶۶/۵۸	۳۱۵۴/۳۹ ^{***}	۲۹۱۸/۹۳ ^{***}	۱۰۵/۸۱ ^{***}	۰/۰۰۲۷۴ ^{***}	۰/۰۰۲۶۸ ^{***}	۲/۲۰۰۹ ^{***}	۱/۶۶۵ [°]	۱۳/۰۱۳ ^{***}	۱۸۹/۲۱ ^{***}	۱۳/۰۱۳ ^{***}	۱/۶۶۵ [°]	۱۳/۰۱۳ ^{***}	۱۸۹/۲۱ ^{***}
گیاه×شوری×نانواکسید روی A×B×C	۱۱۹۸/۳۱	۱۲۳۳/۱ ^{ns}	۴۴۹/۴۱ ^{ns}	۱۸/۴ ^{ns}	۰/۰۰۲۱۶ ^{***}	۰/۰۰۱۶۶ ^{***}	۱/۱۳۴ ^{ns}	۰/۲۸۳ ^{ns}	۲۷/۷/۳ ^{***}	۴۸۵/۱ ^{***}	۲۷/۷/۳ ^{***}	۰/۲۸۳ ^{ns}	۲۷/۷/۳ ^{***}	۴۸۵/۱ ^{***}
اشتباه آزمایشی	۱۳۵۳۹/۲۵	۱۶۸۹۴/۵۳	۱۹۷۶۵/۷۰	۸۰۹/۳۹	۰/۰۱۲۶۵	۰/۰۰۶۴۱	۱۸۸/۱۷	۱۹/۳۹	۲۱۸۱۴۴۴	۱۳۰/۱۱	۲۱۸۱۴۴۴	۱۹/۳۹	۲۱۸۱۴۴۴	۱۳۰/۱۱
ضریب تغییرات (درصد)	۲۴/۲۷	۹/۲۷	۷/۷۰	۶/۴۳	۶/۰۱	۶/۰۱	۲۷/۹۰	۲۱/۳۱	۱۲/۳۷	۶/۵۸	۱۲/۳۷	۲۱/۳۱	۱۲/۳۷	۶/۵۸

ns:***:****: بهتر تیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشند.

MS

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر تنش شوری و محلول پاشی نانواکسید روی بر صفات مورد بررسی در گیاه کاملینا و کلزا

کلر برگ (درصد)	کلر ریشه (درصد)	نسبت پتاسیم به نسبت نیاسیم به سدیم برگ	نسبت پتاسیم به نسبت نیاسیم به سدیم ریشه	پرولین برگ (میلی گرم بر گرم (میلی گرم بر گرم (وزن خشک)	پرولین ریشه (میلی گرم بر گرم (میلی گرم بر گرم (وزن خشک)	محتوای نسبی آب (درصد)	کلروفیل کل (میلی گرم بر گرم (وزن تر)	کلروفیل a (میلی گرم بر گرم (وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم بر گرم (وزن تر)	گونه
۶۳۹ ^{hi} ± ۰/۱۸	۵۲ ^f ± ۰/۵۱	۸ ^b ± ۱/۲۴	۵/۷۲ ^a ± ۰/۵۷	۰/۴۶ ^g ± ۰/۰۱	۰/۳۴ ^e ± ۰	۸۵/۵۵ ^{ab} ± ۳/۲۳	۳۸۵/۸۱ ^{ab} ± ۹/۵۵	۲۵۷/۳۷ ^{bcd} ± ۵/۵۰	۶۹/۱۷ ^{gh} ± ۲/۴۲	کاملینا
۴۱ ^j ± ۰/۳۷	۳/۹۵ ^f ± ۰/۳۵	۹/۹۳ ^a ± ۰/۳۷	۶/۷۷ ^a ± ۱/۲۸	۰/۴۶ ^g ± ۰/۰۲	۰/۳۴ ^e ± ۰/۰۲	۹۰/۵ ^a ± ۰/۲۶	۴۰۰/۶۷ ^a ± ۱۲/۱۷	۳۲۷/۴۰ ^a ± ۱/۶۵۵	۶۰/۴۰ ^{gh} ± ۱/۶۸	کاملینا
۵۴۴ ^{hi} ± ۰/۵۷	۷/۸۳ ^f ± ۱/۱۲	۸/۴۹ ^b ± ۰/۳۵	۳/۶۶ ^b ± ۰/۷۳	۰/۴۵ ^g ± ۰/۰۲	۰/۳۵ ^e ± ۰/۰۲	۸۴/۴ ^{ab} ± ۳/۵۲	۳۵۳/۶۷ ^{bcd} ± ۱/۲۲	۲۷۸/۱۳ ^{bc} ± ۶/۷۸	۱۲۹/۴۳ ^a ± ۹/۵۸	کاملینا
۲۶۹ ^f ± ۰/۱۳	۲۲/۲۲ ^c ± ۱/۸۲	۱/۳۳ ^d ± ۰/۰۲	۱/۵۹ ^{cd} ± ۰/۱۴	۰/۶۶ ^e ± ۰/۰۳	۰/۵۸ ^c ± ۰/۰۴	۷۳/۴۱ ^{ef} ± ۱/۳۸	۳۴۵/۹ ^{de} ± ۱۵/۱۷	۳۲۶/۰۷ ^e ± ۲/۸۰	۱۱/۸۰ ^{ab} ± ۹/۵۵	کاملینا
۳۱/۳ ^g ± ۰/۳۱	۱/۸۱۳ ^d ± ۰/۷۱	۱/۵۹ ^d ± ۰/۱۱	۲/۱۹ ^c ± ۰/۱۵	۰/۴۲ ^g ± ۰/۰۴	۰/۴۸ ^d ± ۰/۰۴	۷۸/۲ ^{bcd} ± ۰/۵۵	۳۴۱/۱۹ ^d ± ۱/۸۹۲	۲۲۳/۷۳ ^{ef} ± ۱/۳۲۰	۹/۹۵۰ ^{abc} ± ۸/۳۲	کاملینا
۲۱/۴۵ ^g ± ۰/۳۶	۱/۸۸۳ ^{cd} ± ۰/۱۹	۱/۵ ^d ± ۰/۱۲	۲/۱۱ ^c ± ۰/۱۳	۰/۴۱ ^g ± ۰/۰۱	۰/۳۳ ^e ± ۰/۰۲	۸۲/۹ ^{abc} ± ۲/۲۶	۲۷۹/۶۴ ^e ± ۱/۷/۵۶	۲۰۵/۹۰ ^{efg} ± ۹/۱۶	۶۲/۶۷ ^{gh} ± ۲/۴۵	کاملینا
۴۸/۶۷ ^e ± ۰/۵۱	۵۳/۰ ⁱ ± ۱/۷۷	۰/۷ ^d ± ۰/۰۱	۶۶ ^d ± ۰/۰۳	۱/۴۶ ^b ± ۰/۰۴	۰/۹۲ ^a ± ۰/۰۳	۶۴/۲۷ ^{gh} ± ۳/۰۹	۳۲۱/۳۳ ^{fg} ± ۹/۲۵	۱۷۸/۲۳ ^{gh} ± ۸/۲۵	۴۶/۴۵ ^{gh} ± ۶/۱۵	کاملینا
۳/۱۷ ^e ± ۰/۰۹	۵۳/۳۷ ^a ± ۲/۶	۰/۹۶ ^d ± ۰/۰۷	۱/۱۶ ^{cd} ± ۰/۱۱	۱/۵۶ ^a ± ۰/۰۱	۰/۷۲ ^b ± ۰/۰۸	۷۶/۱۳ ^{cd} ± ۲/۶۶	۲۵۵/۳۴ ^{efg} ± ۱۵/۹	۲۲۱/۶۱ ^{ef} ± ۳/۶۰۳	۶۶/۹۹ ^{gh} ± ۹/۶۸	کاملینا
۴۲/۰ ^d ± ۱/۴۱	۵۳/۷ ^d ± ۰/۰۳	۰/۷۸ ^d ± ۰/۰۳	۰/۸۱ ^d ± ۰/۰۷	۱/۵۷ ^a ± ۰/۰۱	۰/۹۳ ^a ± ۰/۰۸	۶۵/۲۳ ^{efgh} ± ۲/۹۷	۲۵۴/۴۶ ^{efg} ± ۱۲/۴۴	۳۱۰/۸۷ ^{ab} ± ۱۱/۲۸	۴۵/۳۵ ^{hi} ± ۴/۰۲	کاملینا
۷/۵۶ ^b ± ۰/۳۷	۶/۵۵ ^f ± ۰/۲۲	۷/۶۵ ^{bc} ± ۱	۵/۹۷ ^d ± ۰/۴۷	۰/۳۳ ^b ± ۰/۰۱	۰/۳۳ ^e ± ۰	۸۸/۳۵ ^a ± ۱/۸۱	۳۸۰/۰۳ ^{abc} ± ۷/۶۸	۳۰۸/۹۷ ^{abc} ± ۲/۰۹	۱۰۳/۸۴ ^{bcd} ± ۰/۶۳	کاملینا
۵/۸۳ ^{hi} ± ۰/۳۸	۳/۸۳ ^f ± ۰/۳۷	۸/۸۴ ^{ab} ± ۰/۶	۴/۲۹ ^b ± ۰/۳۷	۰/۴۲ ^g ± ۰/۰۱	۰/۳۴ ^e ± ۰/۰۲	۹۰/۳۳ ^a ± ۰/۴۶	۳۶۰/۷ ^{bcd} ± ۲/۳۱	۲۱۷/۳۰ ^{ef} ± ۴/۲۵	۷۸/۶۱ ^{def} ± ۲/۲۵	کلزا
۷/۱۵ ^{hi} ± ۰/۳۵	۴/۰۱ ^f ± ۰/۱۸	۶/۵۹ ^c ± ۰/۲۸	۳/۷۳ ^b ± ۰/۲۲	۰/۵۶ ^e ± ۰/۰۳	۰/۳۳ ^e ± ۰/۰۲	۷۲/۳۷ ^{def} ± ۲/۵۸	۳۴۶/۷۳ ^{de} ± ۱۱/۱۴	۲۱۹/۵۰ ^{ef} ± ۴/۲۵	۸۳/۳۵ ^{def} ± ۲/۴۱	کلزا
۴۵۰ ^d ± ۱/۴۶	۱۷/۰۳ ^d ± ۰/۴	۱/۱۷ ^d ± ۰/۰۴	۱/۵۱ ^{cd} ± ۰/۱۵	۰/۴۵ ^g ± ۰/۰۱	۰/۳۸ ^e ± ۰/۰۲	۶/۱/۸ ^{efg} ± ۰/۸۳	۳۵۱/۷۳ ^{bcd} ± ۱۲/۲۹	۲۲۹/۸۳ ^{de} ± ۱۰/۳۳	۱۱۳/۱۶ ^{abc} ± ۱۱/۳۴	کلزا
۳۰/۶۳ ^e ± ۱/۲۳	۱۲/۳۶ ^e ± ۰/۹۶	۱/۳۳ ^d ± ۰/۰۵	۱/۴۴ ^{cd} ± ۰/۰۸	۰/۳۳ ^b ± ۰/۰۳	۰/۳۴ ^e ± ۰/۰۲	۷۱/۹ ^{efg} ± ۳/۳۷	۳۳۶ ^d ± ۱۳/۱۱	۱۹۵/۲۳ ^{fg} ± ۱۳/۹	۷۷/۷۹ ^{efg} ± ۵/۵۴	کلزا
۳۰/۰۳ ^{ef} ± ۰/۱۵	۱۶/۴۷ ^d ± ۱/۱۲	۱/۳۴ ^d ± ۰/۰۸	۱/۵۴ ^{cd} ± ۰/۰۱	۰/۳۳ ^b ± ۰/۰۱	۰/۳۵ ^e ± ۰/۰۱	۶۶/۰۳ ^{efgh} ± ۲/۸۲	۲۶۲/۹ ^{ef} ± ۹/۹۸	۱۵۳/۳۵ ^{gh} ± ۱/۵۷	۵۹/۳۳ ^{ghi} ± ۳/۷۷	کلزا
۸۰۰/۶ ^a ± ۳/۰۴	۲۸/۳۵ ^b ± ۰/۰۴	۰/۵۷ ^d ± ۰/۰۲	۰/۸ ^d ± ۰/۰۳	۰/۹۶ ^c ± ۰/۰۵	۰/۵۷ ^{cd} ± ۰/۰۲	۵۹/۳۳ ^b ± ۵/۴۸	۱۸۳/۱۳ ¹ ± ۵/۶۱	۱۵۴/۳۵ ^b ± ۱/۵۲	۲۹/۳۳ ¹ ± ۱/۰۷	کلزا
۵۲/۱۳ ^b ± ۱/۳۹	۱۷/۰۳ ^d ± ۰/۲۴	۰/۷۱ ^d ± ۰/۰۲	۱/۳ ^{cd} ± ۰/۱۲	۰/۸۷ ^d ± ۰/۰۳	۰/۷۷ ^b ± ۰/۰۱	۷۱/۵ ^{efg} ± ۲/۱۴	۲۲۲/۶۷ ^{fg} ± ۱۰/۵۸	۱۵۴/۳۵ ^b ± ۱/۵۲	۹۰/۴۴ ^{def} ± ۵/۲۱	کلزا
۵۲/۴۹ ^b ± ۱/۳۱	۱۶/۵۴ ^d ± ۰/۲۴	۰/۶۴ ^d ± ۰/۰۲	۰/۸۲ ^{cd} ± ۰/۰۱	۰/۸۹ ^d ± ۰/۰۳	۰/۷۹ ^b ± ۰/۰۴	۵۸/۴۳ ^h ± ۱/۱۱	۱۸۶/۹۷ ^{ghi} ± ۸/۳۵	۱۴۶/۹۱ ^h ± ۲/۲	۹۰/۵۳ ^{def} ± ۴/۲۶	کلزا

به طوری که بیشترین انباشتگی در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم و محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در کاملینا مشاهده شد که در مقایسه با شاهد در حدود ۱۰/۳۳ برابر افزایش داشت، در حالی که بیشترین میزان تجمع کلر در ریشه کلزا در سطح شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم و بدون محلول پاشی نانو اکسید روی مشاهده شد که در مقایسه با شاهد در حدود ۵/۴۵ برابر بیش تر شده بود (جدول ۵). آلیاسلام و همکاران، ۱۹۹۹ نیز در بررسی کاربرد روی در کاهش اثر تنش شوری در گیاه گوجه فرنگی نشان دادند که کاربرد ۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم روی در غلظت شوری ۳۰ میلی مولار باعث کاهش ۲۵ درصدی کلر برگ می شود. بیشترین میزان کلر ریشه در کاملینا تحت شوری ۱۵۰ میلی مولار به همراه محلول پاشی نانو اکسید روی ۱۰۰ میلی مولار و کمترین مقدار آن در کلزا در تیمار محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر مشاهده شد. در برخی از گونه‌ها همانند سویا گزارش شده است که کنترل انتقال کلر و ممانعت از ورود آن به برگ با تحمل به تنش شوری ارتباط دارد (Luo *et al.*, 2005). هر اندازه میزان کلر در برگ کم تر باشد تحمل پذیری گونه گیاهی به تنش شوری بیش تر می باشد (Gong *et al.*, 2010). تحمل به تنش شوری با توانایی گونه‌های گیاهی در تنظیم انتقال یون‌های سدیم و کلر و اجتناب از سمیت هر دو یون و همچنین در به حداقل رساندن غلظت‌های این یون‌ها در سیتوپلاسم ارتباط دارد (Teakle and Tyerman, 2010). تجمع کلر در برگ در حقیقت ملاکی برای توانایی ریشه است و گیاهانی که انباشتگی کلر بالا در برگ‌ها را دارند به عنوان گونه حساس معرفی می‌شوند (Acosta-Motos *et al.*, 2017). در آزمایشی دیگر به منظور افزایش تحمل گیاه برنج به تنش شوری، استفاده از روی با غلظت ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک باعث افزایش تحمل گیاه برنج به کلر در اندام هوایی به میزان ۳/۷۵ درصد در شوری ۳۷/۵ میلی مولار بر کیلوگرم خاک گردید (Saleh and Maftoun, 2010).

نسبت پتاسیم به سدیم در برگ و ریشه

با افزایش تنش شوری نسبت پتاسیم به سدیم در برگ کاهش معنی داری نشان داد. بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم برگ با متوسط ۹/۹۲ در گیاه کاملینا با محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش شوری و کمترین مقدار این نسبت با متوسط ۰/۵۷ در گیاه کلزا تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار و بدون محلول پاشی نانو اکسید روی مشاهده شد (جدول ۵). براساس نتایج محلول پاشی نانو اکسید روی با غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در سطوح مختلف تنش شوری باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم برگ شد. در رابطه با نسبت پتاسیم به سدیم ریشه نیز بیشترین مقدار این نسبت با متوسط ۶/۷۷ در ریشه کاملینا در شرایط عدم اعمال تنش شوری و گیاهان تحت تیمار ۲۵ میلی مولار نانو اکسید روی و کمترین مقدار این نسبت با متوسط ۰/۶۶ در گیاه کاملینا با شوری ۱۵۰ میلی مولار و بدون محلول پاشی نانو اکسید روی مشاهده شد که البته با مقدار عددی به دست آمده در گیاه کلزا در همین شرایط (با متوسط ۰/۸۰) تفاوت

آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۵). نسبت پتاسیم به سدیم از ویژگی‌های کلیدی تحمل به شوری در گیاهان است. تحت تنش شوری نسبت پتاسیم به سدیم کاهش و در نتیجه تجمع بیش از حد سدیم در بافت‌های گیاهی یا نشت زیاد پتاسیم از سلول اتفاق می‌افتد (Shabala *et al.*, 2003). نسبت بالاتر پتاسیم به سدیم در شرایط تنش شوری را می‌توان به‌عنوان معیاری برای تحمل گیاه به تنش شوری استفاده نمود (Shabala *et al.*, 2003) بنابراین هموستازی این نسبت یک ویژگی کلیدی در تحمل به شوری در گیاهان است. در برنج اثر کاربرد ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی موجب افزایش غلظت پتاسیم از ۲۷ کیلوگرم در هکتار به ۴۱/۱۲ (Verma and Neue, 1984; Banerjee *et al.*, 2018) و در فلفل استفاده از روی در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در سطح شوری ۱/۵ درصد در میلی‌گرم خاک، نسبت پتاسیم به سدیم را ۴۲/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Aktaş, *et al.*, 2007). در گیاه گندم کاربرد نانواکسید روی در غلظت ۱/۵ میکرومولار هم به صورت تغذیه برگ‌ی و هم به صورت افزودن به خاک موجب افزایش جذب پتاسیم به میزان ۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گردید (امیرجانی و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایشی آکتاش و همکاران (Aktaş *et al.*, 2007) گزارش کرده‌اند که در گیاهان فلفل کشت شده در خاک‌های شور، محلول‌پاشی روی با اثر بر فعالیت غشای سلولی و نفوذپذیری انتخابی آن می‌تواند اثرهای زیان‌بار سمیت یون‌های سدیم و کلر را تعدیل نماید. در مقادیر بالای شوری، یون‌های پتاسیم کاهش و توسط یون سدیم جایگزین می‌شود که این عمل علاوه بر به‌هم زدن تعادل یونی موجب تغییر تورژسانس سلول‌های محافظ، اختلال در متابولیسم سلولی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه و در نهایت به کاهش عملکرد منجر می‌شود (کوچکی و نصیری، ۱۳۷۳).

پرولین برگ و ریشه

محتوای پرولین برگ و ریشه نیز با افزایش تنش شوری افزایش نشان داد. بیش‌ترین مقدار محتوای پرولین برگ در کاملینا در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت‌های ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (به‌ترتیب با ۱/۵۶ و ۱/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) مشاهده شد که در مقایسه با شاهد آن (۰/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به طور معنی‌داری حدود ۳/۴۰ برابر افزایش یافته بود. ولی این افزایش معنی‌دار در کلزا نسبتاً کم‌تر و در حدود ۲/۶۷ برابر نسبت به گیاه شاهد مربوطه (۰/۳۲ میلی‌گرم برگرم وزن خشک) بود. بیش‌ترین محتوای پرولین ریشه در کاملینا و کلزا در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه محلول‌پاشی نانواکسید روی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد (جدول ۵). به‌طوری که میزان انباشتگی پرولین در ریشه کاملینا در تیمار فوق ۱/۷۳ برابر و در کلزا در این تیمار ۱/۶۰ برابر نسبت به گیاهان شاهد بود. افزایش پرولین در نتیجه تنش شوری در بسیاری از گیاهان ثابت شده است (Dar *et al.*, 2016). تیمار گیاه پرپوش با روی تحت تنش شوری باعث کاهش محتوای پرولین گیاه شد

(عسگری و حسین پور، ۱۳۹۴). کاهش محتوای پرولین با تیمار روی ممکن است به اثر رقیق سازی مربوط باشد (Weisany *et al.*, 2011). زیرا ژن‌های پرولین طی تنش‌ها بیش‌تر بیان می‌شوند و پرولین به عنوان یک حفاظت کننده اسمزی در برابر تنش‌ها عمل می‌کند. (عسگری و حسین پور، ۱۳۹۴). به عبارتی نانو اکسید استفاده شده در غلظت مناسب برای گیاه تنش محسوب نشده و باعث کاهش اثرات زیان آور شوری در گیاه با کاهش سنتز پرولین شده است. نتایج مشابه در گیاه سویا گزارش شده است (Weisany *et al.*, 2011). برعکس محلول پاشی نانو اکسید روی تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی مولار محتوای پرولین در پنج گونه آفتابگردان را افزایش داد (Torabian *et al.*, 2018)، افزایش تولید پرولین موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش‌ماده ساخت کلروفیل و پرولین است، کم‌تر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت داشته باشد. این نتایج مشابه نتایج گیاه توت فرنگی می‌باشد که استفاده از سولفات روی با غلظت ۳ گرم بر لیتر در شوری ۱۵ میلی مولار سبب افزایش ۶۵/۶۲ میلی گرم بر گرم پرولین شد (سعادت و معلمی، ۱۳۹۰).

تغییرات درصد محتوای نسبی آب

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تنش شوری منجر به کاهش محتوای نسبی آب شد. با افزایش تنش شوری درصد محتوای آب نسبی در برگ کاهش معنی داری نشان داد. بیش‌ترین درصد محتوای نسبی آب در هر دو گیاه کاملینا و کلزا با اعمال نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار به ترتیب با ۹۰/۵۰ و ۹۰/۲۳ درصد و کم‌ترین مقدار آن در گیاه کلزا تحت تیمار شوری ۱۵۰ میلی مولار به همراه محلول پاشی ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر نانو اکسید روی با ۵۸/۴۲ درصد مشاهده شد (جدول ۵). بالا بودن کارایی جذب و سطح مخصوص نانوذرات، می‌تواند دلیل افزایش محتوای نسبی آب در هنگام استفاده از این مواد باشد (Monica and Cremonini, 2009). نانو اکسید روی از طریق بهبود کارایی مصرف آب، محتوای نسبی آب را افزایش می‌دهد و از طریق کاهش جذب سدیم، سمیت آن را کاهش می‌دهد. گزارش شده است که کاربرد روی با غلظت ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم در گیاه سویا از طریق خاک در شوری ۹۹ میلی مولار سبب افزایش محتوای آب نسبی از ۳۸/۹ درصد به ۶۳/۹ درصد از طریق افزایش غلظت یون‌های روی و پتاسیم در برگ می‌شود (Weisany *et al.*, 2011) که با نتایج تحقیق حاضر منطبق است.

محتوای کلروفیل کل

بیش‌ترین مقدار کلروفیل کل در گیاه کاملینا در محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر و عدم اعمال تنش شوری مشاهده شد. در حالی که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل در گیاه کلزا تحت شرایط عدم وجود تنش شوری و استفاده از محلول پاشی نانو اکسید روی مشاهده شد (جدول ۵). با افزایش غلظت شوری، محتوای کلروفیل کل در هر دو گیاه کاملینا و کلزا کاهش یافت و بیش‌ترین کاهش در گیاه کلزا در تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم

مشاهده شد. نتایج نسبتاً مشابهی در رابطه با محتوای کلروفیل a مشاهده شد. به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش شوری در گیاه کاملینا مشاهده گردید. محلول پاشی نانو اکسید روی در سطوح مختلف تنش شوری اثر متفاوتی بر محتوای کلروفیل b در گیاهان مورد بررسی داشت. بیشترین مقدار کلروفیل b در گیاه کلزا در تنش شوری ۷۵ میلی مولار و کمترین مقدار آن در تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار مشاهده شد (جدول ۵). محتوای کلروفیل کل یک شاخص مهم برای ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می شود. تجمع یون ها در برگ باعث کاهش غلظت کلروفیل می شود (Kawasaki *et al.*, 2001). البته مقدار بالای روی در گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L.) در غلظت ۹۰ و ۱۲۰ میلی مولار نیز می تواند باعث کاهش سنتز کلروفیل شود (Sorkhi Lalelou *et al.*, 2013). در نتایج تحقیق حاضر نیز محتوای کلروفیل کل با افزایش غلظت نانو اکسید روی کاهش نشان داد. روی عنصر ضروری برای رشد گیاه محسوب می شود ولی در غلظت های بالای نانو اکسید روی (۸۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم) ایجاد تنش اکسیداتیو نموده و منجر به کاهش محتوای کلروفیل کل و کلروفیل a و b در ذرت شد (Liu *et al.*, 2015).

نتیجه گیری

به نظر می رسد گیاه کاملینا نسبت به کاربرد نانو اکسید روی در تعدیل شوری نسبت به گیاه کلزا برتری نشان داد و نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر نسبت به ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اثر مثبتی در تعدیل شوری به ویژه در کاملینا داشت. محلول پاشی نانو اکسید روی در سطح ۲۵ میلی گرم بر لیتر هم در کاملینا و هم در کلزا سبب کاهش معنی دار انباشتگی کلر در سطوح تنش شوری ۷۵ و ۱۵۰ میلی مولار گردید. پرولین برگ و ریشه بیش تر تحت تأثیر تنش شوری بوده و با افزایش تنش شوری در هر دو گیاه افزایش یافت، ولی با افزایش تنش شوری گیاه کاملینا در مقایسه با کلزا محتوای پرولین بیش تری را در برگ و ریشه نشان داد. هر چند محتوای نسبی آب با افزایش تنش شوری در هر دو گیاه کاهش نشان داد ولی محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر باعث کاهش اثرات تنش شوری گردید. با این وجود محتوای نسبی آب در گیاه کاملینا کاهش کم تری را در مقایسه با کلزا داشت. تیمار محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر سبب افزایش کلروفیل کل در هر دو گیاه کلزا و کاملینا نیز گردید. بنابراین می توان از محلول پاشی نانو اکسید روی در غلظت ۲۵ میلی گرم بر لیتر در کاهش اثرات تنش شوری استفاده نمود و از طرف دیگر با افزایش زمین های متأثر از تنش شوری، کشت گیاه کاملینا می تواند جایگزین مناسبی به جای کشت کلزا و تأمین روغن مورد نیاز کشور باشد.

منابع

- امیرجانی، الف.، عسکری مهرآبادی، م. و عزیزمحمدی، ف. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر نانو ذرات اکسید روی بر ویژگی‌های رویشی، مقدار عناصر و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه گندم (*Triticum aestivum L.*). زیست شناسی گیاهی ایران، ۲۷: ۳۳-۴۸.
- سعادت، ص. و معلمی، ن. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر محلول پاشی عنصر روی بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. علوم باغبانی ایران، ۴۲ (۳): ۲۷۵-۲۶۷.
- سید شریفی، ر.، کمری، ح. و نجفی، ق. ۱۳۹۲. تأثیر تنش شوری و تغذیه برگ با نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی جو (*Hordeum vulgare L.*). پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۳ (۲): ۳۹۹-۴۱۰.
- جوادی، الف.، خماری، س.، اسمعیل پور، ب. و اصغری، ع. ۱۳۹۵. بررسی مقاومت به تنش شوری در بذرها حاصل از بونه های گوجه فرنگی محلول پاشی شده با ۲۴-آپی براسینولید و نانو اکسید روی. فرایند و کارکرد گیاهی، ۲۳ (۷): ۱۰۳-۱۲۰.
- کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۳. اکولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، صفحه ۲۹۱.
- ده شیری، ع. و مدرس ثانوی، س.د.ع. ۱۳۹۴. بررسی ویژگی های جوانه زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه های کلزای تولید شده از گیاهان مادری در معرض تنش شوری. نشریه علوم و فناوری بذر ایران، ۲۷ (۲): ۱۰۶-۹۷.
- عسگری، م.، امینی، ف. و حسین پور، ل. ۱۳۹۴. مطالعه تغییرات رشد، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و مقدار پروتئین با کاربرد عنصر روی در گیاه دارویی پرپوش (*Catharanthus roseus L.*) تحت تنش شوری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۲ (۱): ۳۵-۴۶.
- Abbaspour, N. 2008. A comparative study of Cl^- transport across the roots of two grapevine rootstocks, K 51-40 and Paulsen, differing in salt tolerance PhD thesis. The University of Adelaide Faculty of Sciences. School of Agriculture, Food and Wine. 60p.
- Acosta-Motos, J., Ortuño, M., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. and Hernandez, J. 2017. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7 (1): 2-38.
- Aktaş, H., Abak, K., Öztürk, L. and Çakmak, İ. 2007. The effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30 (6): 407-412.

Akula, R. and Ravishankar, G. A. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling and Behavior*, 6 (11): 1720-1731.

Alpaslan, M., İNA, A., Güneş, A., Çikili, Y. and Özcan, H. 1999. Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* L. Mill. cv. Lale) grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, 23 (1): 1-6.

Ashraf, M. and McNeilly, T. 2004. Salinity tolerance in Brassica oilseeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23 (2): 157-174.

Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39 (1): 205-207.

Banerjee, H., Ray, K., Dutta, S., Majumdar, K., Satyanarayana, T. and Timsina, J. 2018. Optimizing potassium application for hybrid rice (*Oryza sativa* L.) in coastal saline soils of West Bengal, India. *Agronomy*, 8 (12): 292-305.

Dar, M. I., Naikoo, M. I., Rehman, F., Naushin, F. and Khan, F. A. 2016. Proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. In *Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment: Emerging Omics Technologies* (155-166 pp.). Springer, New Delhi.

Gehring, A., Friedt, W., Lühs, W. and Snowden, R. J. 2006. Genetic mapping of agronomic traits in false flax (*Camelina sativa* L). *Genome*, 49 (12): 1555-1563.

George, N., Hollingsworth, J., Levers, L., Thompson, S., Kaffka, S., Bachie, O., Barlow, V., Davy, J., Larsen, R. and County, S. O. S. 2015. Canola and camelina: winter annual oilseeds as alternative crops for California. University of California Division of Agriculture and Natural Resources. <http://ucanr.edu/sites/oilseeds/files/211682.pdf>.

Gong, H., Blackmore, D., Clingeleffer, P., Sykes, S., Jha, D., Tester, M. and Walker, R. 2010. Contrast in chloride exclusion between two grapevine genotypes and its variation in their hybrid progeny. *Journal of experimental botany*, 62 (3): 989-999.

Grattan, S. 2002. Irrigation water salinity and crop production (Vol. 9). UCANR Publications.

Jahangir, M., Abdel-Farid, I.B., Kim, H. K., Choi, Y.H. and Verpoorte, R. 2009. Healthy and unhealthy plants: The effect of stress on the metabolism of Brassicaceae. *Environmental and Experimental Botany*, 67 (1): 23-33.

Jaleel, C. A., Sankar, B., Sridharan, R. and Panneerselvam, R. 2008. Soil salinity alters growth, chlorophyll content, and secondary metabolite accumulation in *Catharanthus roseus*. *Turkish Journal of Biology*, 32 (2): 79-83.

Kawasaki, S., Borchert, C., Deyholos, M., Wang, H., Brazille, S., Kawai, K., Galbraith, D. and Bohnert, H. J. 2001. Gene expression profiles during the initial phase of salt stress in rice. *The Plant Cell*, 13 (4): 889-905.

Khoshgoftarmanesh, A., Torabian, S. and Zahedi, M. 2018. Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18: 1013-1025.

Kramer, M. J. 2008. Fertilizer effects on soil pH, soil nutrients, and nutrient uptake in swamp white and pin oak seedlings on an alkaline Missouri River bottomland (Master of Science. A Thesis presented to the Faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia. 1-166.

Latef, A. A. H. A., Alhmad, M. F. A. and Abdelfattah, K. E. 2017. The possible roles of priming with ZnO nanoparticles in mitigation of salinity stress in Lupine (*Lupinus termis* L.) plants. *Journal of plant growth regulation*, 36 (1): 60-70.

Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Methods Enzymol.* 148: 350-382

Liu, X., Wang, F., Shi, Z., Tong, R. and Shi, X. 2015. Bioavailability of Zn in ZnO nanoparticle-spiked soil and the implications to maize plants. *Journal of Nanoparticle Research*, 17 (4): 175-186.

Luo, Q., Yu, B. and Liu, Y. 2005. Differential sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of Glycine max and G. soja under NaCl stress. *Journal of plant physiology*, 162 (9): 1003-1012.

Monica, R. C. and Cremonini, R. 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62 (2): 161-165.

Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H. J., Sayers, Z. and Cakmak, I., 2006. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia Plantarum*, 128 (1): 144-152.

Parida, A. K. and Das, A. B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60 (3): 324-349.

Popa, A. L., Jurcoane, S. and Dumitriu, B. 2017. Camelina sativa oil-A review. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 21: 233-238.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R. and Pradeep, T. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of plant nutrition*, 35 (6): 905-927.

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30 (1): 105-111.

Saidi, I., Chtourou, Y. and Djebali, W. 2014. Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 171 (5): 85-91.

Saleh, J. and Maftoun, M. 2010. Interactive effects of NaCl levels and zinc sources and levels on the growth and mineral composition of rice. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10: 325-336.

Sampath, A. 2009. Chemical characterization of camelina seed oil (Doctoral dissertation, Rutgers University-Graduate School-New Brunswick).

Shabala, S., Shabala, L. and Van Volkenburgh, E. 2003. Effect of calcium on root development and root ion fluxes in salinised barley seedlings. *Functional Plant Biology*, 30 (5): 507-514.

Sorkhi Lalelou, F., Shafagh-Kolvanagh, J. and Fateh, M. 2013. Effect of various concentrations of zinc on chlorophyll, starch, soluble sugars and proline in naked pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2 (24): 1198-1202.

Teakle, N. L. and Tyerman, S. D. 2010. Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. *Plant, Cell and Environment*, 33 (4): 566-589.

Verma, T. S. and Neue, H. U. 1984. Effect of soil salinity and zinc application on electrochemical and chemical kinetics and growth and yield of rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15 (5): 553-571.

Wang, X., Yang, X., Chen, S., Li, Q., Wang, W., Hou, C., Gao, X., Wang, L. and Wang, S. 2016. Zinc oxide nanoparticles affect biomass accumulation and photosynthesis in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, 6: 1243-1252.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A. and Ghassemi-Golezani, K. 2011. Physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) To zinc application under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 5 (11): 1441.

Zhang, N., Wen, Q., Feng, H., Cao, R., Zhou, X., Tagn, J. and Wu, N. 2012. Effects of water stress and nitrogen nutrition on regulation of *Catharanthus roseus* alkaloids metabolism. *Zhongguo China Journal of Chinese Materia Medica*, 37 (10): 1346-1352.