اثر تنش شوری و محلول‌پاشی نانواکسید روی بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) و کاملینا (*Camelina sativa* L.)

طرفه اخوان هزاوه[۱]، لطیفه پوراکبر[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 می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری و نانواکسید روی بر پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کلزا و کاملینا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه گروه زیست‌شناسی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. عامل نانواکسید روی در سه سطح صفر، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت محلول‌پاشی و عامل تنش شوری درغلظت‌های صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که واکنش دو گیاه به تنش شوری کاملاً متمایز است. به‌طوری‌که‌در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، بیش‌ترین تجمع یون کلر در ریشه گیاه کاملینا مشاهده شد، ولی در گیاه کلزا بیش‌تر انباشتگی یون کلر در برگ بود. نسبت پتاسیم به سدیم در برگ کلزا در مقایسه به ریشه بیش‌تر بود، درصورتی که درگیاه کاملینا نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه بیش‌تر بود. محتوای نسبی آب و پرولین برگ و ریشه با افزایش تنش شوری در هردو 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 میلی‌مولار کلروفیل کل، کلروفیل **a** و **b** در هر دو گیاه مورد بررسی کاهش معنی‌دار نشان داد. ولی مقدار این کاهش در کلزا در مقایسه با کاملینا به طور معنی‌دار بیش‌تر بود. محلول‌پاشی نانواکسید روی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم 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 معنی‌دار اثرات تنش شوری شد که می‌توان برای کاهش اثر تنش شوری استفاده نمود.

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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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 به طور گسترده‌ای برای مصرف انسان کشت می‌شود (George *et al*., 2015). گیاه کاملینا نیز به عنوان 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 (Gehringer, 2010)، نیاز آبی و کودی‌کم‌تر، دوره رسیدگی کوتاه ما بین ۱۲۰-۱۰۰ 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 به طور مشخص در مطالعات مختلف در مراحل متابولیکی 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 کم‌ترمی‌شود (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 نانواکسید روی و بالا بودن سطح تماس در آن‌ها احتمالاً باعث بهبود جذب آن‌ها توسط گیاه می‌شوند که می‌تواند دلیل برتری استفاده از نانواکسید روی بر یون Zn^{+2} باشد. به طوری‌که افزایش بیش‌تر محصول در بادام زمینی هنگام استفاده از نانواکسید 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 بذرگیاه لوپن با نانواکسید 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

شوری می‌شود (Ozturk *et al*., 2006). کاربرد روی می تواند 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 (Aktaş *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 برکیلوگرم خاک درگیاه 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 نانواکسید 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 نانواکسید 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 روش ها

این تحقیق به‌صورت‌آزمایش 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 ارگان آمریکا تهیه شدند. عامل دوم سه سطح تنش شوری شامل صفر، ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و عامل سوم سه سطح محلول نانواکسید 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 ۲:۱) 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 سانتی متر 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)، عناصرغذایی 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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. محلول‌پاشی نانواکسید روی در ۳ مرحله اعمال شد. اولین مرحله محلول‌پاشی نانواکسید روی در مرحله ۳-۴ برگی، دومین مرحله هم‌زمان با اعمال شوری در مرحله ۵ برگی و سومین مرحله یک هفته بعد از اعمال تنش شوری، انجام شد (سیدشریفی و همکاران ،۱۳۹۲). دوازده روز پس از اعمال تنش شوری نمونه‌برداری 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

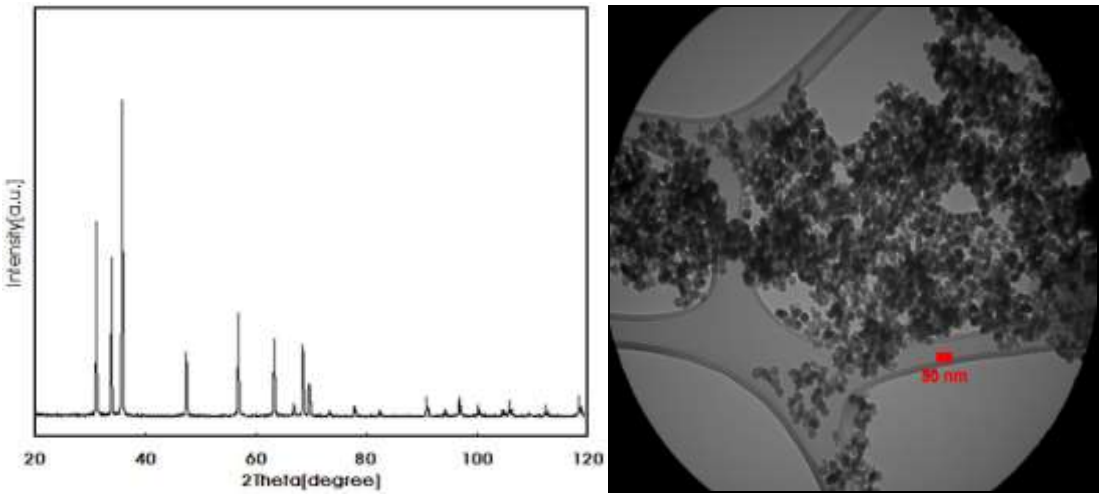
ترکیبات	استوک	یک لیتر محیط کامل
ماکرونوترینت		
KNO_3	یک مولار	۵ میلی‌لیتر بر لیتر
$Ca(NO_3)_2$	یک مولار	۵ میلی‌لیتر بر لیتر
KH_2PO4_2	یک مولار	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
$MgSO4.7H_2O_2$	یک مولار	۲ میلی‌لیتر بر لیتر
NH_4NO_3	یک مولار	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
میکرونوترینت		
H_3BO_3	۲/۸۶ گرم بر لیتر	
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۲۲ گرم بر لیتر	۱ میلی‌لیتر بر لیتر
$CuSO_4.5H_2O$	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 نانواکسید روی

اندازه‌ی نانواکسید 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 نانواکسید روی در آب دی یونیزه به‌صورت معلق در آمده و با استفاده از دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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 نانواکسید 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 نانواکسید 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 نانواکسید روی

غلظت نانو ذرات اکسیدروی (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۰۰	۲۵
روی (میلی‌گرم بر لیتر)	۱/۵۵±۰/۴	۰/۵۶±۰/۶

تجزیه یون‌ها

جهت تجزیه یون‌ها، ۱۰۰ میلی‌گرم از ماده خشک پودر شده ریشه و برگ همه تیمارها در فالکون 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).

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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 میلی لیتر اسید سولفوسالیسیلیک 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 اسپکتروفتومتر 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.

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

که در این فرمول FW[۲]= وزن‌تر بلافاصله بعد از نمونه برداری، SW[۳]= وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر و DW[۴]= وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون می‌باشد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های کلروفیل از روش لیچتنتالر 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

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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

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

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

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

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× نانواکسید 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× نانواکسید روی در تمامی صفات مورد بررسی نه تنها تفاوت معنی‌دار مشاهده شد، بلکه کنش و درصد بالایی از تغییرات داده‌ها را نیز در مقایسه با سایر برهم‌کنش ها توجیه نمود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سطوح مختلف تنش شوری کاربرد سطوح مختلف نانواکسید 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 نانواکسید 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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)									
		کلروفیل b	کلروفیل a	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب	پرولین ریشه	پرولین برگ	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه	نسبت پتاسیم به سدیم برگ	کلر ریشه	کلر برگ
گیاهA		۱۸۹/۲۶	۱۲۹۳۰/۷۵**	۷۳۵۹/۷۰**	۵۱۲/۸۸**	۰/۱۱۲**	۰/۸۶۸**	۱/۵۷^{ns}	۳/۴۳۸*	۲۱۶۹/۶۶**	۱۷۸۵/۴۳**
شوری B	۱	۴۷۰۰/۴۹	۵۳۲۵۱/۲۶**	۱۰۵۵۸۴/۱۸**	۱۷۲۹/۲۴**	۱/۰۲۷**	۳/۶۱**	۸۳/۳۶**	۳۱۳/۰۶**	۴۶۲۰/۵۸**	۹۱۹/۹۰**
نانواکسید روی C	۲	۴/۳۳	۴۷۹۰/۹۴**	۸۴۸۵/۱۴**	۳۴۴/۲۷**	۰/۰۰۱۳^{ns}	۰/۰۰۷*	۳/۰۴۹**	۲/۶۹*	۷۱/۷۵**	۶۸۶/۳۱**
گیاه×شوری A×B	۲	۱۰۰۹/۳۲	۱۳۸۵/۷۹^{ns}	۱۹۸۷/۷۷^{ns}	۵۱/۸*	۰/۰۲۱۳**	۰/۴۶۹**	۰/۶۸۸^{ns}	۱/۲۳^{ns}	۱۳۷۰/۳۳**	۴۲۷/۸۱**
گیاه× نانواکسید روی A× C	۲	۲۰۱/۳۵	۲۱۷۹/۵۶*	۱۸۰/۷۹^{ns}	۱۱۲/۰۹^{ns}	۰/۰۳۸۰**	۰/۰۰۴۹^{ns}	۱/۶۶۵*	۰/۳۵۲^{ns}	۳۴/۱۸**	۱۲۱/۱۲**
شوری× نانواکسید روی B× C	۲	۶۱۶۶/۵۸	۳۱۵۴/۳۹**	۲۹۱۸/۹۳**	۱۰۵/۸۱**	۰/۰۲۶۸**	۰/۰۳۷۴**	۳/۲۰۹**	۱/۶۶۵*	۱۳/۰۱۲**	۱۸۹/۲۱**
گیاه× شوری× نانواکسید روی A×B×C	۴	۲۱۹۸/۳۱	۱۲۲۳/۱۱^{ns}	۴۴۹/۴۱^{ns}	۱۸/۴۰^{ns}	۰/۰۲۱۶**	۰/۰۲۱۶**	۱/۱۳۴^{ns}	۰/۲۸۲^{ns}	۲۷/۸۳**	۴۸/۵۱**
اشتباه آزمایشی	۴	۱۳۵۲۹/۲۵	۱۶۸۹۴/۵۳	۱۹۷۶۵/۷۰	۸۰۹/۲۹	۰/۱۲۶۵	۰/۰۶۴۱	۱۸/۱۷	۱۹/۳۹	۲۱۸/۴۴۴	۱۳۰/۱۱
ضریب تغییرات (درصد)	۳۶	۲۴/۲۷	۹/۲۷	۷/۷۰	۶/۴۳	۶۳/۱۱	۶/۰۱	۲۷/۹۰	۲۱/۳۱	۱۲/۳۷	۶/۵۸
	-										

ns،*و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20084033.1397.10.40.7.3]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3] [Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

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

گونه	نانواکسید روی (میلی گرم بر لیتر)	شوری (میلی‌مولار)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر)	محتوای نسبی آب (درصد)	پرولین ریشه (میلی‌گرم برگرم وزن خشک)	پرولین برگ (میلی‌گرم برگرم وزن خشک)	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه	نسبت پتاسیم به سدیم برگ	کلر ریشه (درصد)	کلر برگ (درصد)
کاملینا	عدم مصرف	۰	۶۹/۱۷ ^{fgh} ±۲/۴۲	۲۵۷/۳۷ ^{bcd} ±۵/۵۰	۳۸۵/۸۱ ^{ab} ±۹/۵۵	۸۵/۵۵ ^{ab} ±۳/۲۳	۰/۳۴ ^{e} ±۰	۰/۴۶ ^{g} ±۰/۰۱	۵/۷۲ ^{a} ±۰/۵۷	۸ ^{b} ±۱/۲۴	۵/۲ ^{f} ±۰/۵۱	۶/۳۹ ^{hi}±۰/۸
کاملینا	۲۵	۰	۶۰/۴۰ ^{ghi} ±۱/۶۸	۳۲۷/۴۰ ^{a} ±۱۶/۵۵	۴۰۲/۶۷ ^{a} ±۱۲/۱۷	۹۰/۵ ^{a} ±۰/۲۶	۰/۳۴^{e} ±۰/۰۲	۰/۴۶ ^{g} ±۰/۰۲	۶/۷۷ ^{a} ±۱/۲۸	۹/۹۲ ^{a} ±۰/۳۷	۳/۹۵ ^{f} ±۰/۳۵	۴/۲^{i} ±۰/۲۷
کاملینا	۱۰۰	۰	۱۲۹/۴۳ ^{a} ±۹/۵۸	۲۷۸/۱۳ ^{bc} ±۶/۷۸	۳۵۳/۶۷ ^{bcd} ±۱۲/۲	۸۴/۴ ^{ab} ±۳/۵۲	۰/۳۵^{e} ±۰/۰۲	۰/۴۵ ^{g} ±۰/۰۲	۳/۴۶ ^{b} ±۰/۷۳	۸/۴۹ ^{b} ±۰/۲۵	۷/۸۳ ^{f} ±۱/۱۲	۵/۴۷^{h} ±۰/۵۷
کاملینا	عدم مصرف	۷۵	۱۱۸/۹۰ ^{ab} ±۹/۵۵	۲۳۶/۰۷ ^{e} ±۲/۸۰	۳۴۵/۹ ^{dc} ±۱۵/۱۷	۷۳/۴۱ ^{ef} ±۱/۳۸	۰/۵۸^{c} ±۰/۰۴	۰/۶۶ ^{e} ±۰/۰۳	۱/۵۹ ^{cd} ±۰/۱۴	۱/۳۳ ^{d} ±۰/۰۲	۲۲/۲۲ ^{c} ±۱/۸۲	۲۶/۹۳ ^{f} ±۰/۱۳
کاملینا	۲۵	۷۵	۹۹/۵۰ ^{cde} ±۸/۳۲	۲۲۳/۷۳ ^{ef} ±۱۳/۲۰	۳۴۱/۱۹ ^{d} ±۱۸/۹۲	۷۸/۳ ^{bcd} ±۰/۵۵	۰/۴۸^{d} ±۰/۰۴	۰/۴۲ ^{g} ±۰/۰۴	۲/۱۹ ^{c} ±۰/۱۵	۱/۵۹ ^{d} ±۰/۱۱	۱۸/۱۳ ^{d} ±۰/۷۱	۲۱/۲ ^{g} ±۰/۳۱
کاملینا	۱۰۰	۷۵	۶۲/۶۷ ^{fgh} ±۲/۴۵	۲۰۵/۹۰ ^{efg} ±۹/۱۶	۲۷۹/۶۴ ^{e} ±۱۷/۵۶	۸۲/۹ ^{abc} ±۳/۲۶	۰/۳۳^{e} ±۰/۰۲	۰/۴۱ ^{g} ±۰/۰۱	۲/۱۱ ^{c} ±۰/۱۳	۱/۵ ^{d} ±۰/۱۲	۱۸/۸۳ ^{cd} ±۰/۱۹	۲۱/۴۵^{g} ±۰/۳۶
کاملینا	عدم مصرف	۱۵۰	۴۶/۴۵ ^{ghi} ±۶/۱۵	۱۷۸/۲۳ ^{gh} ±۸/۲۵	۲۳۱/۳۳ ^{fg} ±۹/۲۵	۶۴/۲۷ ^{gh} ±۳/۰۹	۰/۹۲ ^{a} ±۰/۰۳	۱/۴۶ ^{b} ±۰/۰۴	۶۶ ^{d}۰/ ±۰/۰۳	۰/۷ ^{d} ±۰/۰۱	۵۳/۰۱ ^{a} ±۱/۷۷	۴۸/۶۷^{c} ±۰/۵۱
کاملینا	۲۵	۱۵۰	۶۴/۹۹ ^{fgh} ±۹/۶۸	۲۲۱/۶۱ ^{ef} ±۳۶/۰۳	۲۵۵/۳۴ ^{efg} ±۱۵/۹	۷۶/۰۳ ^{cd} ±۲/۶۶	۰/۷۲ ^{b} ±۰/۰۸	۱/۵۶ ^{a} ±۰/۰۱	۱/۱۶ ^{cd} ±۰/۱۱	۰/۹۶ ^{d} ±۰/۰۷	۵۳/۳۷ ^{a} ±۲/۶	۳۱/۷۲^{e} ±۰/۹
کاملینا	۱۰۰	۱۵۰	۴۵/۳۵ ^{hi} ±۴/۰۲	۳۱۰/۸۷ ^{ab} ±۱۱/۲۸	۲۵۴/۴۶ ^{efg} ±۱۲/۴۴	۶۵/۲۳ ^{fgh} ±۲/۹۷	۰/۹۳ ^{a} ±۰/۰۸	۱/۵۷ ^{a} ±۰/۰۱	۰/۸۱ ^{d} ±۰/۰۷	۰/۷۸ ^{d} ±۰/۰۳	۵۳/۷ ^{a} ±۴/۲۹	۴۲/۰۷ ^{d} ±۱/۴۱
کلزا	عدم مصرف	۰	۱۰۳/۸۴^{bcd} ±۰/۶۳	۳۰۸/۹۷^{abc} ±۲۰/۰۹	۳۸۰/۰۳ ^{abc} ±۷/۶۸	۸۸/۲۵^{a} ±۱/۸۱	۰/۳۳^{e} ±۰	۰/۳۳ ^{h} ±۰/۰۱	۵/۹۷^{a} ±۰/۴۷	۷/۶۵^{bc} ±۱	۶/۵۵ ^{f} ±۰/۲۲	۷/۵۶ ^{h} ±۰/۳۷
کلزا	۲۵	۰	۷۸/۶۱^{def} ±۲/۲۵	۲۱۷/۳۰^{ef} ±۴/۳۵	۳۶۰/۷^{bcd} ±۲۶/۳۱	۹۰/۲۳ ^{a} ±۰/۴۶	۰/۳۴ ^{e} ±۰/۰۲	۰/۴۳ ^{g} ±۰/۰۱	۴/۲۹^{b} ±۰/۳۷	۸/۸۴ ^{ab} ±۰/۶	۳/۸۲^{f} ±۰/۲۷	۵/۸۳^{hi} ±۰/۳۸
کلزا	۱۰۰	۰	۸۳/۳۵^{def} ±۲/۴۱	۲۱۹/۵۰^{ef} ±۴/۴۵	۳۴۶/۷۳^{dc} ±۱۱/۱۴	۷۲/۳۷^{def} ±۲/۵۸	۰/۳۳^{e} ±۰/۰۲	۰/۵۶^{f} ±۰/۰۳	۳/۷۳^{b} ±۰/۲۲	۶/۵۹^{c} ±۰/۲۸	۴/۰۱۴^{f} ±۰/۱۸	۷/۱۵^{hi} ±۰/۲۵
کلزا	عدم مصرف	۷۵	۱۱۳/۱۶^{abc} ±۱۱/۳۴	۲۳۹/۸۳^{de} ±۱۰/۲۳	۳۵۱/۷۳^{bcd} ±۱۲/۲۹	۶۷/۱۸ ^{efg} ±۰/۸۳	۰/۳۸^{e} ±۰/۰۲	۰/۴۵^{g} ±۰/۰۱	۱/۵۱^{cd} ±۰/۱۵	۱/۱۷^{d} ±۰/۰۴	۱۷/۰۳^{d} ±۰/۴	۴۵/۰۴^{d} ±۱/۴۶
کلزا	۲۵	۷۵	۷۷/۷۹^{efg} ±۵/۵۴	۱۹۵/۲۴^{fg} ±۱۳/۹	۳۳۶^{d} ±۱۳/۱۱	۷۱/۹ ^{efg} ±۴/۳۷	۰/۳۴^{e}۰/ ±۰/۰۲	۰/۳۳^{h} ±۰/۰۳	۱/۴۲^{cd} ±۰/۰۸	۱/۳۲ ^{d} ±۰/۰۵	۱۲/۳۶^{e} ±۰/۹۶	۳۰/۶۲^{e} ±۱/۲۳
کلزا	۱۰۰	۷۵	۵۹/۲۳^{ghi} ±۳/۷۷	۱۵۳/۳۵^{h} ±۱/۵۷	۲۶۲/۹^{ef} ±۹/۹۸	۶۶/۰۳ ^{fgh} ±۲/۸۲	۰/۳۵^{e}±۰/۰۱	۰/۳۴^{h} ±۰/۰۱	۱/۵۴^{cd} ±۰/۱	۱/۲۴ ^{d} ±۰/۰۸	۱۶/۴۷^{d} ±۱/۱۲	۳۰/۰۳^{ef} ±۰/۸۵
کلزا	عدم مصرف	۱۵۰	۲۹/۴۳^{i} ±۱/۰۷	۱۵۴/۳۵^{h} ±۱/۵۲	۱۸۳/۱۳^{i} ±۵/۶۱	۵۹/۲۳ ^{h} ±۵/۴۸	۰/۵۷^{cd} ±۰/۰۲	۰/۹۶^{c} ±۰/۰۵	۰/۸^{d} ±۰/۰۳	۰/۵۷^{d} ±۰/۰۲	۲۸/۳۵^{b} ±۰/۰۴	۸۰/۷۶ ^{a} ±۳/۰۴
کلزا	۲۵	۱۵۰	۹۰/۴۴^{def} ±۵/۲۱	۱۵۴/۳۵ ^{h} ±۱/۵۲	۲۲۲/۶۷^{hg} ±۱۰/۵۸	۷۱/۵ ^{efg} ±۲/۱۴	۰/۷۷^{b} ±۰/۰۱	۰/۸۷^{d} ±۰/۰۳	۱/۳ ^{cd} ±۰/۱۲	۰/۷۱^{d} ±۰/۰۲	۱۷/۰۲^{d} ±۰/۲۴	۵۲/۱۳^{b} ±۱/۳۹
کلزا	۱۰۰	۱۵۰	۹۰/۵۲^{def} ±۴/۳۶	۱۴۶/۹۱^{h} ±۲/۲	۱۸۶/۹۷^{hi} ±۸/۳۵	۵۸/۴۲^{h} ±۱/۱۱	۰/۷۹^{b} ±۰/۰۴	۰/۸۹^{d} ±۰/۰۳	۰/۸۲ ^{cd} ±۰/۰۱	۰/۶۴^{d} ±۰/۰۲	۱۶/۵۴^{d} ±۰/۲۴	۵۲/۴۹^{b} ±۱/۲۱

به‌طوری‌که بیش‌ترین انباشتگی در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم 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 میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون محلول‌پاشی نانواکسید روی مشاهده شد که در مقایسه با شاهد در حدود ۵/۴۵ برابر بیش‌تر شده بود (جدول ۵). آلپاسلام و همکاران، ۱۹۹۹ نیز در بررسی کاربرد روی در کاهش اثر تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی نشان دادند که کاربرد ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی در غلظت شوری ۳۰ میلی‌مولار باعث کاهش ۲۵ درصدی کلر برگ می‌شود. بیش‌ترین میزان کلر ریشه در کاملینا تحت شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به همراه محلول‌پاشی نانواکسید روی ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن در کلزا در تیمار محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم 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 کم‌تر باشد تحمل‌پذیری گونه گیاهی به تنش شوری بیش‌تر می‌باشد (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 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک باعث افزایش تحمل گیاه برنج به کلر در اندام هوایی به میزان ۳/۷۵ درصد در شوری ۳۷/۵ میلی‌مولار 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 معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین نسبت پتاسیم به سدیم برگ با متوسط ۹/۹۲ در گیاه کاملینا با محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش شوری و کم‌ترین مقدار این نسبت با متوسط ۰/۵۷ در گیاه کلزا تحت تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون محلول‌پاشی نانواکسید روی مشاهده شد (جدول ۵). براساس نتایج محلول‌پاشی نانواکسید روی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم 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 میلی‌مولار نانواکسید روی و کم‌ترین مقدار این نسبت با متوسط ۰/۶۶ در گیاه کاملینا با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و بدون محلول‌پاشی نانواکسید روی مشاهده شد که البته با مقدار عددی به‌دست آمده در گیاه کلزا در همین شرایط (با متوسط ۰/۸۰) تفاوت

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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 ۱/۵درصد 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 بـه 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 پریوش با روی تحت تنش شوری باعث کاهش محتوای پرولین گیاه شد

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

(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 نانواکسید استفاده شده در غلظت مناسب برای گیاه تنش محسوب نشده و باعث کاهش اثرات زیان‌آور شوری در گیاه با کاهش سنتز پرولین شده است. نتایج مشابه در گیاه سویا گزارش شده است (Weisany *et al*., 2011). برعکس محلول‌پاشی نانواکسید روی تحت تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار 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 غلطت ۳ گرم بر لیتر در شوری ۱۵ میلی‌مولار سبب افزایش ۶۵/۶۲ میلی‌گرم بر گرم پرولین شد (سعادتی 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 معنی‌داری نشان داد. بیش‌ترین درصد محتوای نسبی آب در هر دو گیاه کاملینا و کلزا با اعمال نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۹۰/۵۰ و ۹۰/۲۳ درصد و کم‌ترین مقدار آن در گیاه کلزا تحت تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به همراه محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانواکسید 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). نانواکسید 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 میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاه سویا از طریق خاک در شوری ۹۹ میلی‌مولار 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 محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و عدم اعمال تنش شوری مشاهده شد. در حالی‌که بیش‌ترین محتوای کلروفیل کل در گیاه کلزا تحت شرایط عدم وجود تنش شوری و استفاده از محلول‌پاشی نانواکسید 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 میلی‌مولار کلرید سدیم

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

مشاهده شد. نتایج نسبتاً مشابهی در رابطه با محتوای کلروفیل a مشاهده شد. به طوری که بیش‌ترین مقدار کلروفیل a در تیمار محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و بدون اعمال تنش شوری در گیاه کاملینا مشاهده گردید. محلول‌پاشی نانواکسید 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 میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن در تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵). محتوای کلروفیل کل یک شاخص مهم برای ظرفیت فتوسنتزی برگ محسوب می‌شود. تجمع یون‌ها در برگ باعث کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (Kawasaki *et al*., 2001). البته مقدار بالای روی در گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L.) در غلظت ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار نیز می‌تواند باعث کاهش سنتز کلروفیل شود (Sorkhi Lalelou *et al*., 2013). در نتایج تحقیق حاضر نیز محتوای کلروفیل کل با افزایش غلظت نانواکسید روی کاهش نشان داد. روی عنصر ضروری برای رشد گیاه محسوب می‌شود ولی در غلظت‌های بالای نانواکسید روی (۸۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم) ایجاد تنش اکسیداتیو نموده و منجر به کاهش محتوای کلروفیل کل و کلروفیل a و b در ذرت شد (Liu *et al*., 2015).

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد گیاه کاملینا نسبت به کاربرد نانواکسید روی در تعدیل شوری نسبت به گیاه کلزا برتری نشان داد و نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اثر مثبتی در تعدیل شوری به ویژه در کاملینا داشت. محلول‌پاشی نانواکسید روی در سطح ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر هم در کاملینا و هم در کلزا سبب کاهش معنی‌دار انباشتگی کلر در سطوح تنش شوری ۷۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار گردید. پرولین برگ و ریشه بیش‌تر 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 بیش‌تری را در برگ و ریشه نشان داد. هر چند محتوای نسبی آب با افزایش تنش شوری در هر دو گیاه کاهش نشان داد ولی محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش اثرات تنش شوری گردید. با این وجود محتوای نسبی آب در گیاه کاملینا کاهش کم‌تری را در مقایسه با کلزا داشت. تیمار محلول‌پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش کلروفیل کل در هر دو گیاه کلزا و کاملینا نیز گردید. بنابراین می‌توان از محلول پاشی نانواکسید روی در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر در کاهش اثرات تنش شوری استفاده نمود و از طرف دیگر با افزایش زمین‌های متاثر از تنش شوری، کشت گیاه کاملینا می‌تواند جایگزین مناسبی به‌جای‌کشت کلزا و تأمین روغن مورد نیاز کشور باشد.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.20084403.1397.10.40.7.3]

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: ۴۸-۳۳.

سعادتی، ص. و معلمی، ن. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر محلول‌پاشی 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 برگی با نانو اکسید روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی جو (*Hordeum vulgare* L.). پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۳ (۲):۴۱۰-۳۹۹.

جوادی، الف.، خماری، س.، اسمعیل پور، ب. و اصغری.ع. ۱۳۹۵. بررسی مقاومت به تنش شوری در بذرهای حاصل ازبوته های گوجه فرنگی محلول پاشی شده با ۲۴-اپی براسینولید ونانواکسید روی.فرایند وکارکرد 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 حسین‌پور، ل. ۱۳۹۴. مطالعه تغییرات رشد، سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و مقدار پروتئین با کاربرد عنصر روی در گیاه دارویی پریوش (*Catharanthus roseus* L.) تحت تنش شوری. تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۲ (۱): ۴۶-۳۵.

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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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 (*Lycopersicum 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.

Gehringer, A., Friedt, W., Lühs, W. and Snowdon, 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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

Khoshgoftarmanesh, A., Torabian, S. and Zahedi, M. 2018. Effect of foliar spray of zinc oxide on some antiox idant 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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]

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.

[Downloaded from cpj.ahvaz.iau.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.2008403.1397.10.40.7.3]