

## بررسی اثر نانوذره اکسیدروی بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و اسمولیت‌های محلول گیاه نوروک (*Salvia leiifolia* Benth.) تحت شرایط تنش شوری

مهدی آخوندی<sup>۱</sup>، مریم نیاکان<sup>۱\*</sup>، هما محمودزاده آخرت<sup>۲</sup>، مجید دشتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup>گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup>مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۰۴

### چکیده

تنش شوری یکی از اصلی‌ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان می‌باشد. عنصر روی از جمله عناصر ضروری در رشد و فرایندهای متابولیسمی می‌باشد که مصرف آن سبب مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود. از سوی دیگر کاربرد عناصر در شکل نانو به علت سهولت جذب عناصر امروزه مورد توجه قرار گرفته است. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانواکسیدروی در شرایط تنش شوری، آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل دو سطح نانواکسیدروی (۲ و ۴ میلی‌گرم بر لیتر) و ۵ سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) نمک کلرید سدیم در کنار شاهد بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که طول ساقه، وزن تر گیاه، تعداد برگ، سطح برگ و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و همچنین میزان کربوهیدرات‌های محلول در سطوح مختلف شوری کاهش معنی‌داری یافت. از سوی دیگر تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر نانواکسیدروی با تأثیر مثبتی بر پارامترهایی رشد، شاخص پایداری کلروفیل، میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها، پرولین و قندهای محلول برگ و ریشه داشت. همچنین بررسی اثر متقابل داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان طول ریشه و وزن تر کل در سطح ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و نیز میزان پرولین و کلروفیل مربوط به سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم همراه با محلول‌پاشی نانواکسیدروی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر بود. به‌طور کلی در این تحقیق مشخص شد مصرف نانواکسیدروی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر توانست سبب بهبود رشد گیاه و اسمولیت‌های سازگار و در نتیجه بهبود پاسخ گیاه نوروک به تنش شوری گردد.

**واژه‌های کلیدی:** *Salvia leiifolia* Benth.، پرولین، تنش شوری، شاخص‌های رشد، قند محلول، کلروفیل نانواکسیدروی.

### مقدمه

بهره‌برداری غیرعلمی و غیراصولی در گروه گیاهان در معرض خطر انقراض است (Jalili and Jamzad, 1999). رویشگاه‌های این‌گونه منحصراً در مراتع بیابانی با اقلیم خشک تا نیمه‌خشک سرد کشور ایران بخصوص در نواحی جنوبی استان خراسان،

گیاه نوروک بانام علمی *Salvia leiifolia* Benth. از جمله گونه‌های با ارزش و چندساله خانواده نعنائیان (Lamiaceae) بوده که به‌دلیل

\*نویسنده مسئول: neda.niakan@gmail.com

سمنان و بخش‌هایی از کشور افغانستان می‌باشد (Dashti et al., 2018). در سال‌های اخیر ترکیبات شیمیایی و اثرات فارماکولوژی اندام‌های مختلف این گیاه در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله کاهش قند خون و معالجه کم‌خونی به اثبات رسیده است. همچنین این گیاه ضدالتهاب، ضدتشنج و اضطراب بوده و به‌ویژه به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی شناسایی شده است (Hosseinzadeh et al., 2009).

تحقیقات نشان داده است تنش‌های محیطی غیرزنده همچون شوری، از جمله تنش‌های معمول برای گیاهان در طی چرخه زندگی خود می‌باشد (Nasir Khan et al., 2016). عنوان شده است تنش شوری باعث آسیب‌های جدی به بسیاری از فرآیندهای سلولی و فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز، جذب مواد غذایی، جذب آب، رشد و متابولیسم سلولی می‌شود که همگی منجر به کاهش عملکرد می‌گردد (Pardo, 2010). در این راستا Jampeetonga and Brix (۲۰۰۹) طی تحقیق بر گیاه *Salvinia natans* کاهش سطح برگ و ضخیم شدن آن و نیز کاهش طول ریشه و ساقه در شرایط تنش شوری را اعلام نمودند. Ben Taarit و همکاران (۲۰۱۲) نیز دلیل کاهش پارامترهای رشد در گیاه سالویا (*Salvia sclarea* L. را انتقال مواد فتوسنتزی از مناطق در حال رشد، به سمت تولید آنزیم‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانت (متابولیت‌های ثانویه) می‌دانند.

گزارش‌های متعددی نیز در مورد اثرات تنش شوری بر سیستم فتوسنتزی گیاهان موجود می‌باشد. در این راستا اعلام شده است کاهش میزان کلروفیل تحت اثر تنش شوری می‌تواند به علت تخریب کلروفیل به علت افزایش بیش‌ازحد یون سدیم باشد. (Ershad Langroudi and Parihar et al., 2015; Sedaghatoor, 2012).

یکی دیگر از اثرات تنش شوری و خشکی در گیاهان تنش‌اسمزی است که گیاهان از طریق تولید و تجمع اسمولیت‌ها همچون پرولین و کربوهیدرات‌ها به این تنش پاسخ می‌دهند. این مواد سبب حذف رادیکال‌های فعال، تثبیت غشا و محافظت از فعالیت آنزیم‌ها در تنش شوری می‌شوند (Singh et al., 2015). چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در زمان تنش پیشنهاد شده است که شامل تحریک سنتز از طریق اسیدآمین گلوتامات، کاهش انتقال از مسیرآوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون در طول تنش و تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها می‌باشد (Lamas et al., 2002). کربوهیدرات‌ها نقش دوگانه‌ای در سلول‌های گیاهی دارند. از یک سو به‌عنوان یک عامل اسمولیت پتانسیل اسمزی را منفی کرده، باعث حفظ حالت تورژشانس و شادابی سلول‌ها می‌شوند و از سوی دیگر با تأمین انرژی و اسکلت کربنی موردنیاز فرآیندهای بیوسنتزی، سبب رشد و نمو سلول‌ها می‌شوند. (Soleymani and Pirzad et al., 2015). تحقیقات نشان داده است در گیاهانی که قندهای محلول در پاسخ به تنش تجمع می‌یابند، تنظیم اسمزی بهتر صورت می‌گیرد (Chaparzadeh et al., 2015).

روی از جمله عناصر مؤثر و مفید در رشد گیاه در ابعاد مختلف است. این عنصر در سنتز کروموزوم، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، تولید کلروفیل، فتوسنتز، تبدیل قند به نشاسته، متابولیسم پروتئین‌ها، حفظ غشاهای زیستی دخیل است. تحقیقات نشان داده است عنصر روی باعث افزایش تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، دمای زیاد و شوری می‌شود (Ozturk et al., 2006).

نتایج محققان نشان داده است استفاده از نانو مواد می‌تواند به بهبود سریع گیاهان، بهبود تحمل و مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیر زیستی،

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی نانواکسیدروی بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه نوروک در شرایط شوری، آزمایشی در گلخانه دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی در دو سطح محلول پاشی نانواکسیدروی (۲ و ۴ میلی گرم در لیتر) و پنج سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی مولار از نمک NaCl) در نظر گرفته شد. نانواکسیدروی تولید کشور چین بوده که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایران تهیه و دارای خلوص ۹۹ درصد، میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر، سطح ویژه ذرات بیشتر از ۳۰ مترمربع در هر گرم، رنگ سفید و به صورت پودر بود.

بذور گیاه نوروک با نام علمی *Slavia leriifolia* Benth. از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه گردید. بذور گیاه پس از ضدعفونی با پودر و تابل ۶۰٪ کار بندازیم به میزان ۱/۵ در ۱۰۰۰، به تعداد کافی در ظروف پتری ۸ سانتی متری بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک، در داخل ژرمیناتور یخچال دار با درجه حرارت  $15 \pm 1$  قرار داده شدند. پس از جوانه زنی، ۶ گیاهچه سالم با طول ریشه حداکثر ۱۰ تا ۱۵ میلی متر به گلدان‌های پلاستیکی منتقل شدند. گلدان‌ها با وزن خاک تقریبی ۳/۵ تا ۴ کیلوگرم پر شدند. خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. گلدان‌ها در شرایط گلخانه و درجه حرارت  $25 \pm 4$  درجه سانتی گراد، شدت روشنایی ۵۰۰۰ لوکس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. تنش شوری پس از تهیه محلول‌های مختلف (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم)، در هفته سوم پس از انتقال در گلدان‌ها

استفاده از مواد مغذی کارآمد و افزایش رشد گیاه کمک کند (Rossi et al., Alharby et al., 2016; Saxena et al., 2016; Abdel-Halim et al., 2016; Hussein et al., 2018). در این راستا اعلام شده است استفاده از نانواکسیدروی به جای عنصر معمولی روی، اثرات بهتر و مؤثرتری بر تحمل به تنش‌های مختلف در گیاهان داشته است (Yadegari et al., 2014; Pandey et al., 2010). به نظر می‌رسد که محتمل‌ترین علت تأثیر نانو ذرات کوچک بودن قطر ذرات نانو، سرعت جذب، انتقال و تجمع ذرات نانو، بسیار بیشتر از ذرات معمول باشد. به این صورت که بالا بودن کارایی جذب در مقایسه با ذرات معمول، اثرگذاری بیشتر این ذرات را توجیه می‌کند.

از آنجایی که مسئله کاهش نزولات جوی و به دنبال آن بالا رفتن میزان نمک خاک یک معضل جدی برای کشت گیاهان محسوب می‌شود، لذا راهکاری که بتواند هم سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری شده و هم مانع از آلودگی‌های زیست محیطی گردد، امروزه مورد توجه محققان قرار گرفته است. استفاده از نانو کودها تکنیک جدیدی است که هنوز در بسیاری از گیاهان به ویژه گیاهان دارویی مورد بررسی واقع نشده است. گیاه نوروک گیاهی است که با داشتن ارزش دارویی برای انسان و نیز به عنوان علوفه برای دام مقاومت نسبتاً خوبی نسبت به تنش‌های خشکی دارد (Dashti et al., 2015). لذا چنانچه بتوان با استفاده از ریزمغذی‌ها کارایی این گیاه در زمین‌های شور را نیز افزایش داد می‌توان از گیاه به عنوان پوشش مناسب در اراضی نامناسب استفاده نمود. با توجه به مطالب فوق هدف این پژوهش، بررسی اثرات نانواکسیدروی و برهمکنش آن با تنش شوری بر برخی فرایندهای مورفوفیزیولوژیکی گیاه نوروک بود.

رویش برای تمامی گیاهان، گلدان‌های هر تیمار به‌طور تصادفی جابه‌جا می‌شدند. پس از پایان دوره تیماردهی گیاهان گروه‌های شاهد و تیمار به‌منظور سنجش پارامترها، نمونه‌برداری شدند.

اعمال شد و محلول‌پاشی نانوآکسیدروی در غلظت‌های صفر، ۲، ۴ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۸ هفته به‌صورت هفتگی به روش محلول‌پاشی بر اندام هوایی صورت گرفت. در طول مدت تنش، برای کاهش خطای آزمایش و نیز یکنواخت نمودن شرایط

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورداستفاده در گلدان حاوی گیاه نوروبک.

مشخصات	PH	EC (ds/m)	آهک	رس	سیلت	شن	کربن آلی	پتاسیم فسفر روی			نیتروژن اشباع	درصد
								(پی‌پی‌ام)	(درصد)	(درصد)		
میزان	۷/۴	۱/۲	۱۲	۴	۱۰	۸۶	۰/۹۸	۱۶۰	۳۵	۰/۵۴	۰/۱۶	۳۵

معادلات فوق برحسب واحد میکروگرم بر میلی‌لیتر بوده که با توجه به وزن نمونه و رقت محلول به میکروگرم بر گرم وزن‌تر برگ تبدیل شدند. شاخص پایداری کلروفیل نیز با تقسیم غلظت کلروفیل کل در هر یک از تیمارهای تنش بر غلظت کلروفیل کل در شاهد محاسبه شد (Madhan, 2000).

$$CSI = (ChIT \text{ (شاهد)} / ChIT \text{ (تیمار تنش)})$$

اندازه‌گیری مقدار پرولین: ۰/۵ گرم ماده‌تر گیاهی (برگ و ریشه) گیاه نوروبک توزین و در ۱۲ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسیدسولفوسالیسیلیک ساییده و مخلوط همگنی تهیه شد و از هر کدام از محلول‌های حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته و به هر یک ۲ میلی‌لیتر معرف اسید ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسیداستیک خالص گلاسیال افزوده گشت. در مرحله بعد کلیه لوله‌ها در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و بعد از یک ساعت لوله‌ها جهت توقف واکنش‌ها لوله‌ها به حمام یخ منتقل شدند، سپس به هر لوله ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به‌شدت تکان داده شد. بعد از چند دقیقه، دوباره کاملاً مجزا تشکیل شد. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود جهت اندازه‌گیری غلظت پرولین با دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج ۵۲۰ نانومتر استفاده گشت. در نهایت مقدار پرولین موجود در هر

اندازه‌گیری شاخص‌های رشد: برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشد، طول اندام هوایی و ریشه برحسب سانتی‌متر و وزن‌تر اندام هوایی و ریشه با ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱، برحسب گرم اندازه‌گیری شد. جهت سنجش وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس توزین شدند. سطح برگ‌ها نیز با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ (Delta-T Device MK2) برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شدند.

سنجش رنگی‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری میزان رنگی‌های فتوسنتزی، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰٪ در هاون چینی سائیده شد. در صورت تبخیر استن، حجم محلول مجدداً به ۱۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتی‌فیوژ شد و در پایان جذب محلول رویی در طول‌موج‌های ۶۶۴، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. (Lichtenthaler et al., 1983). میزان کلروفیل a و b کلروفیل کل و کارتنوئید کل از روابط زیر به دست آمد:

$$\begin{aligned} Chla &= (12.25 \times A_{664}) - (2.79 \times A_{647}) \\ Chlb &= (21.21 \times A_{647}) - (5.1 \times A_{664}) \\ ChIT &= Chla + Chlb \\ Car.T &= (1000 \times A_{470} - 1.8 \times Chla - 85.02 \times Chlb) / 198 \end{aligned}$$

سنجش شد. غلظت قندهای محلول کل برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شد. از غلظت های مختلف گلوکز جهت رسم نمودار استاندارد و محاسبه نهایی میزان قندهای محلول استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1.3 و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۰.۰۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم منحنی از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. نمودارها نشانگر میانگین  $\pm$  SE می‌باشند.

### نتایج

#### شاخص‌های رشد

**طول ریشه و برگ:** نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش شوری و محلول‌پاشی بر طول ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل این دو معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نمونه با استفاده از منحنی استاندارد پرولین و در مقیاس میکرومول برگرم وزن‌تر به دست آمد (Bates et al., 1973).

**سنجش قندهای محلول:** اندازه‌گیری قندهای محلول برگ و ریشه با استفاده از روش فنل سولفوریک اسید (Dubois et al., 1956) و استاندارد گلوکز تعیین شد. در ابتدا ۱۰۰ میلی‌گرم برگ به دقت توزین شده و با ۴ میلی‌لیتر اتانل ۸۰٪ به خوبی مخلوط شدند. سپس لوله‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شدند. در ادامه به مخلوط حاصل ۱/۵ میلی‌لیتر کلروفورم و ۴ میلی‌لیتر آب دیونیزه افزوده شد. سپس به مدت ۱۰ دقیقه در ۵۰۰۰ دور سانتی‌یفوژ گردید. به ۱ میلی‌لیتر از محلول بالایی ۱ میلی‌لیتر فنل ۵٪ اضافه شد و بلافاصله ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ بر روی آن افزوده شد. پس از ۱۰ دقیقه مخلوط واکنش به خوبی هم زده شد و به مدت نیم ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. در انتها جذب نوری محلول نهایی در طول موج ۴۹۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص‌های رشد در گیاه نوروبک \*

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
تعداد برگ	سطح برگ	وزن تر برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	طول برگ	طول ریشه	
۱۸/۴۵**	۴۰۲۱**	۵/۸۷۳**	۰/۷۴۰**	۰/۰۵۰**	۰/۰۱۷**	۳۸/۶۵۸**	۱۳۳/۸۲۱**	۱۴ مدل
۴۹/۷۴۴**	۱۳۰۱۶**	۱۷/۶۶۱**	۱/۱۹۵**	۰/۱۶۲**	۰/۰۳۹**	۹۴/۸۳۳**	۲۷۱/۹۵۴**	۴ سطح شوری
۶/۹۵**	۱۵۴۳**	۴/۲۶۲**	۲/۵۶۳**	۰/۰۱۷n.s	۰/۰۳۶**	۷۲/۶۷۸**	۶۵۰/۵۳۸**	۲ نانو
۵/۶۷**	۱۴۲n.s	۰/۳۸۱*	۰/۰۵۸*	۰/۰۰۳n.s	۰/۰۰۲n.s	۲/۰۶۵n.s	۱۰/۵۷۶n.s	۸ نانو * سطح شوری
۰/۸۲	۱۰۸	۰/۱۵۸	۰/۰۲۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۳/۳۲۷	۱۶/۲۵۸	۳۰ خطای آزمایشی
۱۲/۲۱	۱۲	۱۰/۷۹	۱۰/۲۵	۲۶/۲۳	۱۲/۷۲	۱۷/۲۱	۲۴/۴۲	ضریب تغییرات

\*\*معنی‌دار در سطح ۱٪، \* معنی‌دار در سطح ۰.۰۵٪، n.s غیر معنی‌دار.

میزان طول ریشه در تیمار ۵۰ میلی‌مولار با مقدار ۲۱/۷۴۴ سانتی‌متر و کمترین میزان در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار با مقدار ۹/۰۵۶ سانتی‌متر بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین داده‌های تنش شوری نشان داد که با افزایش میزان کلرید سدیم، ابتدا بر میزان طول ریشه افزوده شد، ولی در سطوح ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار از طول ریشه به‌طور معنی‌داری کاسته شد. بیشترین

جدول ۳: میانگین سطوح مختلف شوری مربوط به شاخص‌های رشد در گیاه نوروک\*

تیمار	طول ریشه (سانتی‌متر)	طول برگ (سانتی‌متر)	خشک‌ریشه (گرم)	خشک برگ (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن تر برگ (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	تعداد برگ (عدد)
شاهد	۱۹/۵۷۸a	۱۴/۵a	۰/۴۰۶bc	۰/۴۸۷a	۱/۹۵۸a	۵/۴۲۵a	۱۲۴/۴۴a	۱۰a
۵۰ میلی‌مولار	۲۱/۷۴۴a	۱۳/۱۴۴a	۰/۴۸۳a	۰/۴۴۳a	۱/۶۸۸b	۴/۸۶۵b	۱۱۵a	۸b
۱۰۰ میلی‌مولار	۱۹/۸۳۳a	۱۰/۱۳۳b	۰/۴۲۰b	۰/۲۸۸b	۱/۳۵۱c	۳/۲۵۰c	۷۵/۷۷b	۷c
۱۵۰ میلی‌مولار	۱۲/۳۳۳b	۸/۶۵۵b	۰/۳۶۷c	۰/۲۴۰bc	۱/۲۱۰c	۲/۷۰۹d	۵۶/۱۱c	۵d
۲۰۰ میلی‌مولار	۹/۰۵۶b	۶/۵۴۲c	۰/۳۰۵d	۰/۱۷۱c	۱/۰۶۴d	۲/۱۷۳e	۳۵/۲۲d	۴e

\* در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (a=۱/۱)

نمونه شاهد (بدون اعمال تنش شوری) به‌ترتیب ۷۱/۳، ۶۰/۲ و ۳۷/۲٪ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده شد نانوآکسیدروی سبب بهبود شرایط رشد در حضور تنش شوری گردیده است (جدول ۴).

وزن خشک و تر ریشه و برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش شوری، نانوآکسیدروی بر وزن خشک‌ریشه معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های تنش شوری نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک‌ریشه در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار بود که با بقیه سطوح اختلاف معنی‌داری داشت. با افزایش بیشتر میزان کلرید سدیم از وزن خشک‌ریشه کاسته شد (جدول ۳). بررسی داده‌ها نشان داد که نانوآکسیدروی باعث افزایش میزان وزن خشک‌ریشه گیاه گشت. (جدول ۴). در بررسی جدول نیز ۲ نتایج نشان داد که اثر تنش شوری بر وزن خشک برگ معنی‌دار بود. وزن خشک برگ با افزایش سطح شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین مقدار آن در شاهد و کمترین مقدار در ۲۰۰ میلی‌مولار بود. (جدول ۴).

همچنین نانوآکسیدروی باعث افزایش میزان طول ریشه گردید، به‌طوری‌که بیشترین میزان طول ریشه در تیمار ۴ میلی‌گرم در لیتر نانوآکسیدروی به ترتیب در غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بود، که نسبت به شاهد ۸۲،۲۸٪، ۷۲،۴۳٪ افزایش داشت. کمترین مقدار طول ریشه در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بدون نانوآکسیدروی با کاهش ۷۳،۳۰٪ نسبت به شاهد بود (جدول ۴).

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر تنش شوری، محلول‌پاشی نانوآکسیدروی بر طول برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود، درحالی‌که اثر متقابل این دو معنی‌دار نبود (جدول ۲). بررسی جدول ۳، نشان داد که تنش شوری بر طول برگ گیاه تأثیر منفی داشته، به‌طوری‌که با افزایش تنش از میزان رشد برگ کاسته شد که میزان این کاهش در ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم نسبت به شاهد ۵۵٪ بود. بیشترین طول برگ مربوط به تیمار نانوآکسیدروی در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر بدون تنش شوری بود که نسبت به شاهد ۵۱/۷٪ رشد داشت. میزان کاهش طول برگ در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در عدم حضور نانوآکسیدروی و غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌گرم نانوآکسیدروی نسبت به

جدول ۴: میانگین اثر متقابل تنش شوری و نانو اکسیدروی بر شاخص‌های رشد گیاه نوروک \*

تعداد برگ	سطح برگ	وزن تر برگ	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ریشه	طول ساقه	طول ریشه	نانوذره	تیماری
(عدد)	(سانتی متر مربع)	(گرم)	(گرم)	(گرم)	(گرم)	(سانتی متر)	(سانتی متر)		
۱۳a	۱۲۳/۳۳abc	۵/۵۴۴a	۱/۷۲۳bc	۰/۵۲۳a	۰/۳۸۸cd	۱۲/۴۶۷bc	۱۵/۲۳۳de	صفر	
۹/۳۳b	۱۱۵/۳۴bc	۵/۲۵۸ab	۱/۸۸۶b	۰/۴۶۲ab	۰/۳۹۴cd	۱۴/۹۰۰ab	۱۹/۷۰۰bcd	۲ میلی گرم در لیتر	۲۵۰ میلی مولار
۱۰b	۱۳۴/۶۶a	۵/۴۷۵a	۲/۲۶۴a	۰/۴۷۵ab	۰/۴۳۴bc	۱۶/۱۳۳a	۲۳/۸۰۰abc	۴ میلی گرم در لیتر	
۸/۶۶b	۱۱۲/۳۵bc	۴/۵۱۳	۱/۱۰۱fg	۰/۴۷۵ab	۰/۴۹۲ab	۱۲/۰۶۷bc	۱۹/۵۰۰bcd	صفر	
۸/۳۳bc	۱۰۶cd	۴/۷۱۹bc	۱/۷۰۴bc	۰/۴۰۳abc	۰/۴۱۸cd	۱۲/۱۳۳bc	۱۷/۹۶۷cd	۲ میلی گرم در لیتر	
۹b	۱۲۶/۶۶ab	۵/۳۶۲ab	۲/۲۵۸a	۰/۴۵۱ab	۰/۵۳۹a	۱۵/۲۳۳ab	۲۷/۷۶۷a	۴ میلی گرم در لیتر	
۶de	۵۹ef	۲/۹۷۴fg	۱/۰۱۵fgh	۰/۲۸۸cd	۰/۳۴۸cdef	۸/۵۰۰de	۱۷/۳۶۷cd	صفر	
۶/۶۶cde	۷۴/۶۷e	۲/۷۸۶fgh	۱/۳۹۵de	۰/۲۵۵cde	۰/۴۲۲bcd	۹/۷۳۳cd	۱۵/۸۶۷d	۲ میلی گرم در لیتر	
۸/۳۳bc	۹۳/۶۶d	۳/۹۸۹de	۱/۶۴۲bcd	۰/۳۲۰cd	۰/۴۹۰ab	۱۲/۱۶۷bc	۲۶/۲۶۷ab	۴ میلی گرم در لیتر	
۵e	fgh۴۵/۳۴	۲/۰۹۸hij	۰/۷۶۰hi	۰/۲۰۶de	۰/۳۳۰def	۶/۲۶۷ef	۷/۴۳۳fg	صفر	
۵/۳۴de	۵۲/۳۳fg	۰/۲۲۱de	۰/۳۳۶def	۲/۵۵۳ghi	۱/۲۶۶ef	۸/۶۶۷de	۱۲/۶۳۳def	۲ میلی گرم در لیتر	۱۵۰ میلی مولار
vdc	۷۰/۶۶e	۰/۲۹۴cd	۰/۴۳۷bc	۳/۴۷۷ef	۷/۶۰۲cd	۱۱/۰۳۳cd	۱۶/۹۳۳cd	۴ میلی گرم در لیتر	
۳f	۲۹/۳۳h	۰/۱۷۳de	۰/۲۸۶ef	۱/۴۶۶j	۰/۶۳۱i	۳/۵۶۷f	۴/۰۶۷fg	صفر	
۵e	۳۷/۶۷gh	۰/۱۰۳e	۰/۲۶۳f	۱/۸۷۴ij	۰/۹۶۴gh	۵/۹۲۷ef	۸/۱۰۰efg	۲ میلی گرم در لیتر	
۶/۶۶cde	۳۸/۶۶gh	۰/۲۳۸de	۰/۳۶۵cde	۳/۱۷۸fg	۱/۵۹۶cd	۱۰/۱۳۳cd	۱۵de	۴ میلی گرم در لیتر	۲۰۰ میلی مولار

\* در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند ( $\alpha=0.1$ )

کاهش یافت.. همان طور که در جدول ۴ ارائه شده است، نانو اکسیدروی در سطوح مختلف شوری باعث افزایش میزان وزن تر برگ نسبت شرایط بدون وجود نانو ذره شد.

**تعداد و سطح برگ:** بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تنش شوری و نانو اکسیدروی و اثر متقابل این دو بر تعداد برگ در گیاه نوروک در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ به شاهد و کمترین تعداد به تیمار ۲۰۰ میلی مولار کلرید سدیم تعلق داشت (جدول ۳). نتایج حاصل از جدول مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نانو اکسیدروی سبب افزایش تعداد برگ در شرایط شوری شد. بیشترین تعداد برگ در نمونه شاهد وجود داشت. در حالی که در مقایسه کاهش تعداد برگ در هر سطح

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر تنش شوری، نانو اکسیدروی و اثر متقابل این دو بر وزن تر ریشه معنی دار بود. افزایش سطح شوری به طور معنی داری باعث کاهش وزن تر ریشه گردید که کمترین وزن تر در تیمار ۲۰۰ میلی مولار مشاهده شد (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل نانو و تنش شوری نشان داد که بیشترین میزان وزن تر ریشه در شاهد و غلظت ۴ میلی گرم در لیتر نانو اکسیدروی دیده شد. در هر سطح شوری بیشترین میزان وزن تر ریشه مربوط به تیمار ۴ میلی گرم در لیتر نانو اکسیدروی بود (جدول ۴). جدول ۲ مشخص کرد که وزن تر برگ تحت اثر تنش شوری، نانو اکسیدروی و اثر متقابل این دو اختلاف معنی داری داشتند. وزن تر برگ نیز با افزایش غلظت نمک به طور معنی داری

جدول مقایسه میانگین نشان می‌دهد که نانوذره اکسیدروی باعث شد از شدت کاهش سطح برگ در حضور تنش‌های شدید شوری کاسته شود.

#### رنگیزه‌ها

**میزان کلروفیل‌ها:** براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش شوری، نانو اکسیدروی بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

شوری مشاهده گشت که تیمار گیاه با نانو اکسیدروی سبب بهبود تعداد برگ در همان سطح شوری شد. (جدول ۴).

تنش شوری و نانوذره اکسیدروی بر سطح برگ دارای اثر معنی‌دار بود، درحالی‌که تغییرات این پارامتر در اثر متقابل این دو معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین شاخص سطح برگ در سطوح مختلف شوری نشان داد که با افزایش شدت شوری سطح برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳).

**جدول ۵:** نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به رنگیزه‌ها در گیاه نوروبوک\*

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
شاخص پایداری	عدد کلروفیل متر	کاروتنوئیدها	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a		
کلروفیل						۱۴	مدل
۰,۲۹۰**	۵۵۷/۵۵**	۰/۰۰۷۰**	۱/۰۲۳**	۰/۰۶۳**	۰/۶۰۷**	۴	سطح شوری
۰,۷۷۴**	۱۵۱۰/۷۳**	۰/۰۱۹۳**	۲/۷۳۱**	۰/۱۳۸**	۱/۶۹۰**	۲	نانو
۰,۳۹۸**	۶۸۶/۹۴**	۰/۰۰۷۲**	۱/۴۰۴**	۰/۱۲۸**	۰/۷۰۱**	۸	نانو * سطح شوری
۰,۰۲۱n.s	۴۸/۶۲**	۰/۰۰۰۷n.s	۰/۰۷۴n.s	۰/۰۱۰n.s	۰/۰۴۲n.s	۳۰	خطای آزمایشی
۰,۰۲۳	۹/۴۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۹۴	۰/۰۱۱	۰/۰۷۳	۱۹,۹۱	ضریب تغییرات
۱۴/۵۸	۷/۸۶	۱۶/۴۳	۱۵/۶۲	۱۷/۷۸	۱۹,۹۱		

\*\* معنی‌دار در سطح ۱٪، \* معنی‌دار در سطح ۵٪، n.s غیر معنی‌دار.

کلرید سدیم مقدار کلروفیل a به ترتیب به میزان ۳۷ و ۶۰ درصد نسبت به بیشترین مقدار کاهش داشت (جدول ۶).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش میزان شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش میزان کلروفیل a در گیاه نوروبوک گردید اما با افزایش شوری در ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار

**جدول ۶:** میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر داده‌های مربوط به رنگیزه‌ها در گیاه نوروبوک\*

شاخص پایداری	عدد کلروفیل متر	کاروتنوئیدها (میلی گرم برگرم وزن تر)	کلروفیل کل (میلی گرم برگرم وزن تر)	کلروفیل b (میلی گرم برگرم وزن تر)	کلروفیل a (میلی گرم برگرم وزن تر)	تیمار
کلروفیل						شاهد
۱/۰۷۶b	۴۱/۲۵۶c	۰/۱۸۸	۲/۰۲۱b	۰/۵۶۱b	۱/۴۵۹b	۵۰ میلی‌مولار
۱/۲۶۷a	۴۹/۷۰۰b	۰/۱۸۴	۲/۳۷۹a	۰/۷۰۸a	۱/۶۷۱ab	۱۰۰ میلی‌مولار
۱/۳۵۴a	۵۲/۹۷۸a	۰/۱۵۶	۲/۵۴۳a	۰/۷۴۳a	۱/۷۹۹a	۱۵۰ میلی‌مولار
۰/۹۲۲c	۲۸/۰۸۹d	۰/۱۱۲	۱/۷۳۱b	۰/۵۹۳b	۱/۱۳۷c	۲۰۰ میلی‌مولار
۰/۶۱۷d	۲۳/۵۸۹e	۰/۰۸۲	۱/۱۵۹c	۰/۴۳۲c	۰/۷۲۶d	

\* در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ( $\alpha=1\%$ )



بدون اعمال نانو اکسیدروی بود (جدول ۷). در خصوص کلروفیل b و کلروفیل کل هم مشاهده شد که بیشترین میزان این دو به سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و با غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر نانو اکسیدروی تعلق داشت (جدول ۷).

بررسی جدول اثر متقابل شوری و نانو اکسیدروی نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسیدروی به میزان ۲/۰۴۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر بافت و کمترین مقدار در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار

جدول ۷: میانگین اثر متقابل تنش شوری و نانو اکسیدروی انواع رنگی‌های گیاهی در گیاه نوروک\*:

شخص	عدد	کاروتنوئیدها	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	نانوذره	شوری
پایداری	کلروفیل متر	(میلی‌گرم برگرم وزن تر)	(میلی‌گرم برگرم وزن تر)	(میلی‌گرم برگرم وزن تر)	(میلی‌گرم برگرم وزن تر)		
۱cde	۴۰/۱۰d	۰/۱۸۴ab	۱/۸۷۸def	۰/۴۹۷def	۱/۳۸۰bcd	صفر	
۱/۰۱۴cde	۴۱/۳۳d	۰/۱۷۱ab	۱/۹۰۵cdef	۰/۵۳۹cde	۱/۳۶۵bcd	۲ میلی‌گرم در لیتر	شاهد
۱/۲۱۴bc	۴۲/۳۳cd	۰/۲۱۰a	۲/۲۸۱bcd	۰/۶۴۹abcd	۱/۶۳۲ab	۴ میلی‌گرم در لیتر	
۱/۳۱۳ab	۴۷/۴۳bc	۰/۱۸۸ab	۲/۴۶۷abc	۰/۷۴۴abc	۱/۷۲۲ab	صفر	۵۰ میلی‌مولار
۱/۱۲۱	۴۳/۶۶bcd	۰/۱۶۶ab	۲/۱۰۴bcde	۰/۶۳۷bcd	۱/۴۶۷bcd	۲ میلی‌گرم در لیتر	
۱/۳۶۷ab	۵۸a	۰/۱۹۸a	۲/۵۶۷ab	۰/۷۴۲abc	۱/۸۲۵ab	۴ میلی‌گرم در لیتر	
۱/۳۵۸ab	۴۸/۷۶b	۰/۱۷۸ab	۲/۵۵۱ab	۰/۷۴۵abc	۱/۸۰۵ab	صفر	۱۰۰ میلی‌مولار
۱/۱۶۸bcd	۴۷/۹۰b	۰/۱۱۲cd	۲/۱۹۲	۰/۶۳۹bcd	۱/۵۵۲abc	۲ میلی‌گرم در لیتر	
۱/۵۳۷a	۶۲/۲۶a	۰/۱۸۰ab	۲/۸۸۶a	۰/۸۴۵a	۲/۰۴۱a	۴ میلی‌گرم در لیتر	
۰/۸۹۶def	۲۱/۲۳f	۰/۱۱۰cd	۱/۶۸۲efg	۰/۶۱۰bcde	۱/۰۷۲cde	صفر	۱۵۰ میلی‌مولار
۰/۶۶۴efg	۲۳/۱۶f	۰/۰۸۸de	۱/۲۴۷gh	۰/۴۱۸ef	۰/۸۲۸ef	۲ میلی‌گرم در لیتر	
۱/۲۰۶bc	۳۹/۸۶d	۰/۱۴۰bc	۲/۲۶۵bcd	۰/۷۵۲ab	۱/۵۱۲bc	۴ میلی‌گرم در لیتر	
۰/۵۳۱g	۱۵/۶۶g	۰/۰۵۹e	۰/۹۹۷h	۰/۴۷۲def	۰/۵۲۴f	صفر	۲۰۰ میلی‌مولار
۰/۵۳۴g	۲۳/۰۳f	۰/۰۷۸de	۱/۰۰۲h	۰/۳۲۸f	۰/۶۷۳ef	۲ میلی‌گرم در لیتر	
۰/۷۸۶efg	۳۲/۰۶e	۰/۱۰۸cd	۱/۴۷۷fgh	۰/۴۹۷def	۰/۹۸۰def	۴ میلی‌گرم در لیتر	

\* در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ( $\alpha=0.1$ )

باعث افزایش میزان ۳۷ و ۴۸ درصدی عدد کلروفیل متر در تیمارهای شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار، نسبت به شرایط بدون تنش شوری گشت (جدول ۷).

**شاخص پایداری کلروفیل (CSI):** بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری، نانو اکسیدروی بر شاخص پایداری کلروفیل معنی‌داری بود (جدول ۵). همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود با افزایش تنش شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بر میزان این شاخص افزوده گشت ولی در سطوح بالاتر این

**عدد کلروفیل متر:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که شوری، نانو اکسیدروی و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر مقدار عدد کلروفیل متر در سطح یک درصد داشت (جدول ۵). بررسی مقادیر میانگین عدد کلروفیل متر در تیمارهای مختلف شوری نشان داد که بر میزان این عدد در شوری‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار افزوده گشت ولی با افزایش بیشتر، مقادیر قرائت‌شده عدد کلروفیل متر میزان کمتری را نشان داد (جدول ۶). در میان غلظت‌های مختلف نانو اکسیدروی، غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب

۶) بیشترین میزان کاروتنوئیدها در شرایط بدون تنش شوری همراه با محلول پاشی نانو اکسیدروی حاصل شد و کمترین میزان در تنش شوری ۲۰۰ میلی مولار و بدون نانو اکسیدروی دیده شد (جدول ۷).

میزان پرولین برگ و ریشه: نتایج نشان داد که اثر شوری و نانو اکسیدروی بر میزان پرولین برگ و ریشه در سطح یک درصد معنی دار بود و همچنین اثر متقابل دو عامل شوری و نانو اکسیدروی بر میزان پرولین برگ در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۸).

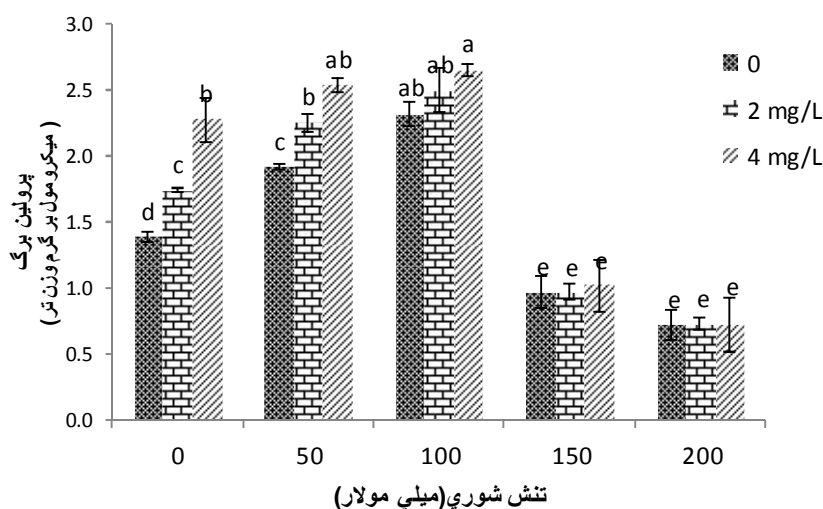
شاخص به طور معنی داری کاهش یافت. در بررسی اثر متقابل شوری و نانوذره مشاهده شد در سطح ۲۰۰ میلی مولار شوری، نانو اکسیدروی باعث افزایش حدود ۵۰٪ این شاخص شد.

میزان کاروتنوئیدهای برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش شوری، نانو اکسیدروی بر میزان کاروتنوئیدهای برگ نوروزک سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میزان کاروتنوئیدهای برگ نیز تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۸).

جدول ۸: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان پرولین و قندهای محلول در گیاه نوروزک\*

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
قند محلول کل	قند محلول ریشه	قند محلول برگ	پرولین کل	پرولین ریشه	پرولین برگ	پرولین برگ		
۷۱/۹۷	۱۸/۲۰**	۱۹/۹۸**	۵/۰۶۶**	۱/۱۳۹**	۱/۶۷۶**	۱۴	مدل	
۱۸۳/۳۱	۵۳/۹۷**	۴۰/۳۴**	۱۶/۱۹۵**	۳/۳۲۳**	۵/۳۷۴**	۴	سطح شوری	
۱۲۷/۰۶	۱۴/۱۰**	۵۶/۹۷**	۲/۸۷۵**	۰/۹۱۸**	۰/۵۴۳**	۲	نانو	
۲/۵۳	۱/۳۴**	۰/۵۵*	۰/۰۴۹n.s	۰/۱۰۲n.s	۰/۱۱۰*	۸	نانو * سطح شوری	
۰/۸۲	۰/۳۵۲	۰/۲۱	۰/۱۲۵	۰/۰۶۳	۰/۰۳۹	۳۰	خطای آزمایشی	
۷,۹	۱۲/۴۳	۷/۰۱	۹/۸۳۱	۱۲/۹۰۱	۱۵/۴۳۹		ضریب تغییرات	

\*\* معنی دار در سطح ۱٪، \* معنی دار در سطح ۵٪، n.s غیر معنی دار.



شکل ۱: اثر متقابل شوری و نانو اکسیدروی بر میزان پرولین برگ در گیاه نوروزک

(مقادیر نشانگر میانگین  $\pm$  خطای استاندارد است - حروف مشابه در ازمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی دار است)

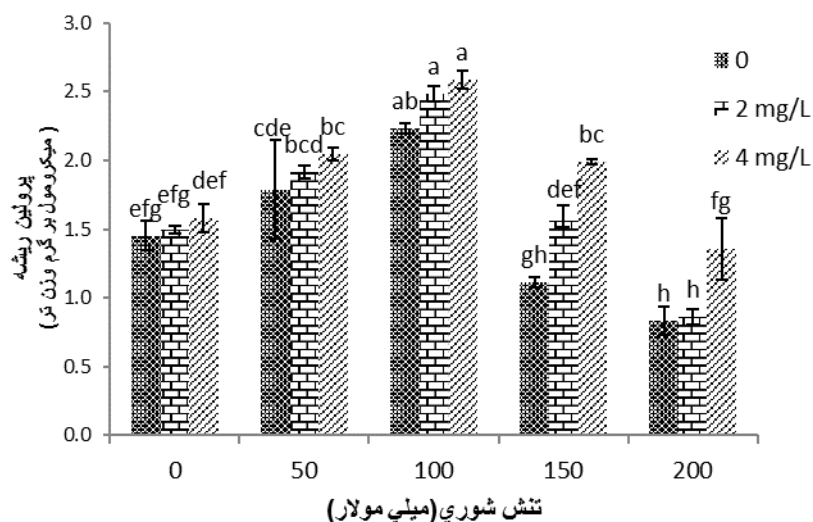
در مقایسه اثر متقابل تنش شوری و نانو اکسیدروی مشاهده شد که بیشترین میزان پرولین برگ در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسیدروی می‌باشد (شکل ۱).

میزان پرولین برگ در گیاه نوروژک نیز با افزایش سطح تنش شوری تا ۱۰۰ میلی‌مولار به میزان ۳۸/۵٪ افزایش و بعد از آن کاهش یافت. میزان پرولین در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار شوری به مقدار ۰/۷۱۸ میکرومول رسید که نسبت به شاهد ۶۰٪ کاهش داشت (جدول ۹).

جدول ۹: میانگین اثر سطوح مختلف شوری بر میزان پرولین و قندهای محلول در گیاه نوروژک\*:

تیمار	پرولین برگ (میکرو مول بر گرم وزن تر)	پرولین ریشه (میکرو مول بر گرم وزن تر)	پرولین کل (میکرو مول بر گرم وزن تر)	قندهای محلول اندام هوایی (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	قندهای محلول ریشه (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	قندهای محلول کل (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)
شاهد	۱/۸۰۰c	۱/۵۱۰c	۳/۳۱۱c	۱/۸۰۰c	۱/۷۴۴c	۳/۵۴۴c
۵۰ میلی‌مولار	۲/۲۳۴b	۱/۹۱۸b	۴/۱۵۲b	۲/۲۳۴b	۲/۲۱۵b	۴/۴۴۹b
۱۰۰ میلی‌مولار	۲/۴۹۲a	۲/۴۳۶a	۴/۹۲۹a	۲/۴۹۲a	۲/۸۱۴a	۵/۳۰۷a
۱۵۰ میلی‌مولار	۰/۹۸۲d	۱/۵۶۸c	۲/۵۵۰d	۰/۹۸۲d	۱/۸۱۱c	۲/۷۹۳d
۲۰۰ میلی‌مولار	۰/۷۱۸e	۱/۰۱۸d	۱/۷۳۷e	۰/۷۱۸e	۱/۱۷۶d	۱/۸۹۴e

\* در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ( $\alpha=1\%$ )



شکل ۲: اثر متقابل شوری و نانو اکسیدروی بر میزان پرولین ریشه در گیاه نوروژک

(مقادیر نشانگر میانگین  $\pm$  خطای استاندارد است - حروف مشابه در آزمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی‌دار است)

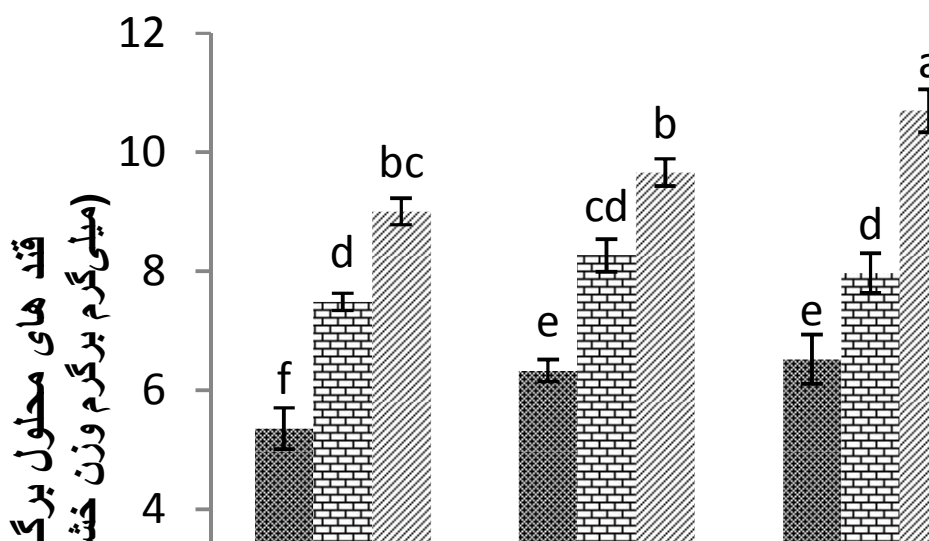
و ۱۷/۵٪ بود. در شکل (۱) تغییرات مقدار پرولین ریشه در اثر تیمارهای شوری نشان داد که با افزایش میزان شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بر میزان آن افزوده شد و پس از آن به‌طور معنی‌داری از میزان

تیمار گیاهان با نانو اکسیدروی باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین برگ در مقایسه با گیاه شاهد شد. میزان افزایش در تیمار ۲ و ۴ میلی‌گرم نانو اکسیدروی نسبت به شاهد به ترتیب برابر با ۱۰/۲

باعث افزایش میزان قندهای محلول برگ تا ۱۰۰ میلی‌مولار گشت و با افزایش بیشتر تنش شوری از مقدار آن کاسته شد. مقادیر قندهای محلول برگ در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار همراه با محلول پاشی نانوآکسیدروی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر بیشترین میزان را نسبت به سایر تیمارها داشت (شکل ۳).

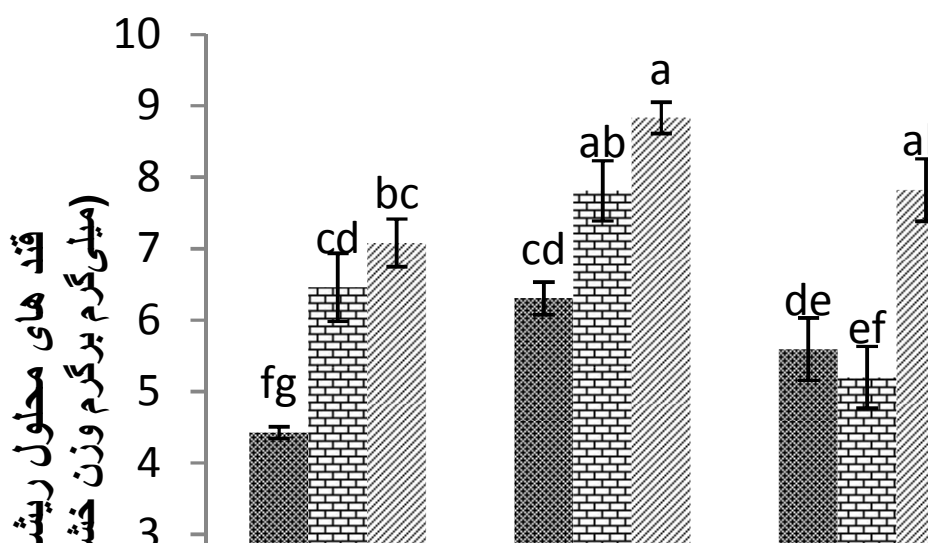
پرولین ریشه کاسته شد. تیمار با نانوآکسیدروی باعث افزایش میزان پرولین ریشه به ترتیب به میزان ۱۲/۵ و ۲۶٪ در غلظت‌های ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد شد (شکل ۲).

میزان قندهای محلول برگ و ریشه: بررسی جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری، نانوآکسیدروی و اثر متقابل این دو بر میزان قندهای محلول برگ و ریشه معنی‌دار بود (جدول ۸). افزایش تنش شوری



شکل ۳: اثر متقابل شوری و نانوآکسیدروی بر میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ در گیاه نوروبوک

(مقادیر نشانگر میانگین  $\pm$  خطای استاندارد است - حروف مشابه در ازمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی‌دار است)



شکل ۴: اثر متقابل شوری و نانوآکسیدروی بر میزان کربوهیدرات‌های محلول ریشه در گیاه نوروبوک

(مقادیر نشانگر میانگین  $\pm$  خطای استاندارد است - حروف مشابه در ازمون دانکن دارای عدم اختلاف معنی‌دار است)

در ریشه میزان قندهای محلول در تیمار ۵۰ میلی‌مولار شوری و ۴ میلی‌گرم در لیتر نانو اکسیدروی از بیشترین مقدار برخوردار بود و با افزایش سطح شوری از میزان آن کاسته شد. در ریشه نیز با افزایش مقدار نانوذره بر میزان تجمع قند افزوده گشت (شکل ۴). کمترین میزان قندهای محلول در برگ و ریشه در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و بدون اعمال نانوذره دیده شد که نسبت به شاهد به ترتیب به مقدار ۵۱/۴۴ و ۷۵/۵ درصد کاهش داشت (شکل ۳ و ۴).

### بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تنش شوری بر روی شاخص‌های رشد گیاه نوروزک در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشت. با افزایش سطح شوری به‌ویژه در شرایط تنش ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، طول اندام هوایی و ریشه، وزن‌تر و خشک‌برگی، وزن‌تر و خشک‌ریشه، سطح و تعداد برگ نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری یافت و کاربرد نانو اکسیدروی باعث افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشد و تعدیل وضعیت تنش و بهبود رشد گیاه شد. در شرایط غیر تنش نانو اکسیدروی در بیشتر موارد باعث افزایش معنی‌دار رشد نسبت به شاهد شد. کاهش وزن خشک به دلیل کاهش آماس سلول‌ها در شرایط شور، متأثر از فرایندهای اسمزی و کاهش جذب آب و عناصر غذایی است. از علل دیگر کاهش رشد و عملکرد گیاه در اثر شوری، بالا رفتن مصرف انرژی در گیاه برای خروج یون‌های سدیم مهاجمی است که در محیط به مقدار وفور وجود دارند (Arvin, 2015). کاهش فتوسنتز، تخریب غشای سلولی، کاهش آب در دسترس گیاهان و تجمع سدیم در برگ‌ها اصلی‌ترین علل کاهش وزن‌تر و خشک‌گیاه در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Askary et al., 2013). کاهش شاخص‌های رشد بر اثر تنش شوری در گیاهان

همچون نعناع (Askary et al., 2017)، گندم (Aghighi Shahverdi, 2017)، استویا (Fathi et al., 2017) و تاتوره (Niakan et al., 2015) نیز گزارش شده است.

کاهش سطح برگ یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر تنش شوری است. با افزایش غلظت نمک توسعه سطح برگ نیز متوقف می‌شود (Sajedi et al., 2006). Brix و Jampeetong (۲۰۰۹) گزارش کردند که در سطوح شوری بالا، برگ‌ها، کوچک‌تر و ضخیم‌تر می‌شوند که احتمالاً این تغییرات ناشی از محدود شدن گسترش سلولی به دلیل کاهش فشار آماس و تنش ثانویه اسمزی می‌باشد (Croser et al., 2001). دلیل کاهش سطح برگ در اعمال شوری نسبت به عدم اعمال آن را می‌توان به کاهش مواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ در شرایط تنش نسبت داد (Betran et al., 2003). نتایج این آزمایش نیز اثر معنی‌دار تنش شوری بر کاهش تعداد و سطح برگ، نسبت به شاهد را نشان داد (جدول ۳). عنوان شده است تنش اسمزی با عدم گسترش سلول همراه است که منجر به توقف رشد می‌گردد. همچنین با ایجاد اختلال در تعادل مواد مغذی، حمل‌ونقل یون‌های ضروری داخل گیاه، باعث کاهش نرخ فتوسنتز خالص و تأثیر سمیت تنش شوری، تأثیر ترکیبات اسمزی قوی در گیاهان آسیب‌دیده می‌شود (Munns, 2005).

همچنین در تحقیق حاضر کاربرد نانو اکسیدروی در شرایط تنش و غیر تنش موجب افزایش معنی‌دار شاخص‌های رشدی نسبت به گیاهان شاهد شد. تأثیر مثبت نانو اکسیدروی در بهبود شرایط رشد در گیاه می‌تواند به خاطر تأثیر آن بر روی غشا سلولی و نفوذپذیری انتخابی غشا باشد که اثرات زیان‌بار یون‌های سدیم و کلر را تعدیل می‌کند (Alpaslan et al., 1999). اثر مثبت نانو اکسیدروی بر بهبود

Torres Netto, and Shawky, 2012) و همکاران (۲۰۰۵) علت کاهش کلروفیل در برگ‌های تنش دیده را خسارت به غشا کلروپلاست و اثر سوء تنش بر واکنش‌های نوری و انتقال الکترون و افزایش تولید اکسیژن فعال می‌داند و این مولکول‌ها باعث واکنش فتواکسیداسیون در کلروپلاست و اکسیداسیون کاروتنوئیدها و پروتئین می‌شوند.

در این تحقیق نانوآکسیدروی با غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر سبب افزایش میزان رنگیزه‌های مختلف در گیاه نوروبک هم در شرایط تنش و هم غیر تنش گردید. تأثیر مثبت عنصر روی به فرم معمولی و نانو بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان بدون تنش و در شرایط تنش در گیاهان مختلف ارائه شده است (Babaei et al., 2017; Yadghari et al., 2014). عنصر روی با دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی عناصر همچون آهن و منیزیم در بیوسنتز کلروفیل و کاروتنوئیدها نقش مهمی را ایفا می‌نماید (Abbasi and Enayati, 2013). همچنین این عنصر می‌تواند با به تعویق انداختن تخریب و پیری سلولی به صورت غیرمستقیم بر شاخص کلروفیل اثر گذارد (Movahhedi dehnavi et al., 2004).

ظرفیت فتوسنتزی یکی از فرآیندهای اصلی است که تحت تأثیر شوری قرار دارد و می‌توان آن را از طریق اندازه‌گیری میزان کلروفیل با SPAD متر ارزیابی کرد. این پارامتر برای بررسی پاسخ فیزیولوژیکی گیاه به تنش شوری مفید می‌باشد، ولی بسیار پیچیده است. توانایی گیاه برای حفظ محتوای کلروفیل، سازگاری مهم برای حفظ فتوسنتز جهت ادامه رشد می‌باشد (Sim et al., 2015). در این تحقیق بررسی میزان عدد کلروفیل متر نشان داد که این پارامتر تحت اثر افزایش میزان شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش ولی با افزایش شدت تنش به شدت از میزان آن کاسته شد. همچنین تیمار نانوآکسیدروی

شاخص‌های رشد و تحمل به تنش در گیاه پیاز (Laware and Raskar, 2014)، نخود (Yadgari et al., 2014) و مریم‌گلی (Hendawy and Khalid, 2014) و نعنای فلفلی (Rostami et al., 2017) نیز اثبات شده است.

Kheirizadeh و همکاران (۲۰۱۸) در گیاه گندم نتیجه گرفتند که تنش شوری باعث کاهش شاخص سطح برگ در گیاه می‌گردد. روی با نقشی که در ساخته شدن آنزیم‌های مسئول فتوسنتز و سوخت‌وساز دارد، موجب بهبود شاخص سطح برگ در گیاه شده است.

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که افزایش میزان شوری در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، باعث کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a, b و کلروفیل کل و کاروتنوئیدها گردید. این در حالی است که نانوآکسیدروی باعث افزایش معنی‌دار موارد فوق در سطح ۵٪ در شرایط تنش و غیر تنش گردید (جدول ۵). در بعضی از گیاهان افزایش شوری تا یک حد معین، باعث افزایش سنتز کلروفیل و سبتر شدن برگ می‌گردد (Rostami et al., Yadarlou et al., 2008). نتایج این تحقیق نیز گویای افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی نوروبک تحت شرایط تنش شوری ملایم (۱۰۰ میلی‌مولار) است و با افزایش تنش شوری از میزان کلروفیل کاسته شد. کاهش سیستم رنگیزه‌ای به دلیل اثرگذاری شوری بر کمپلکس پروتئین، رنگیزه و لیپید و یا به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز است. به عبارت دیگر، تغییرات در سیستم رنگیزه‌ها تحت تأثیر غلظت و زمان شوری قرار می‌گیرند (Doganlar et al., 2010). محتوی کلروفیل در گیاه تحت تنش شوری ممکن است به دلیل کاهش سنتز کلروفیل، تخریب فتوسیستم ۲، ممانعت از فعالیت کربنیک‌آنهیدراز، عدم تعادل در شارش یونی و شاخص پایداری غشاء باشد (Talaat

اندام هوایی این گیاهان در سطح ۶۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تجمع یافت و با افزایش سطح شوری به ۸۰ میلی‌مولار از میزان پرولین کاسته شد. افزایش میزان پرولین در اثر تنش در گیاهان دیگر همچون آفتابگردان (Torabian et al., 2016)، نوروزک (Movahhedi et al., 2015) و گلرنگ (Dashti et al., 2015) در تیمار با نانواکسیدروی هم مشاهده شد که افزایش میزان نانواکسید روی سبب افزایش میزان پرولین در برگ و ریشه هم در شرایط تنش و هم غیر تنش گردید. عنصر روی جزء تشکیل دهنده برخی از پروتئین‌های غیر آنزیمی و همچنین کوفاکتور برخی از آنزیم‌هاست. در متابولیسم کربوهیدرات و پروتئین‌هایی همچون آلدولازها، ایزومراز، ترانس فسفریلاز، DNA و RNA پلیمراز و دهیدورژناز و همچنین در تنظیم بیان ژن در تحمل به تنش‌های محیطی دخیل می‌باشد (Broadley et al., 2007). تجمع پرولین می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم اورنیتین آمینوترانسفراز (OAT)، آنزیم سنتز کننده پرولین، یا ممانعت از آنزیم‌های کاتالیز کننده پرولین همچون پرولین اکسیداز و پرولین هیدورژناز باشد (Babaei et al., 2017). چهار دلیل برای افزایش تجمع پرولین در زمان تنش پیشنهاد شده است که عبارتند از تحریک سنتز آن از اسید گلوتامیک، کاهش انتقال آن از طریق آوند آبکش، جلوگیری از اکسیداسیون آن در طول تنش و تخریب و اختلال در فرآیند سنتز پروتئین‌ها (Lamas et al., 2002). Torabian و همکاران (۲۰۱۶) در پنج گونه آفتابگردان، از افزایش میزان پرولین به‌واسطه محلول‌پاشی نانواکسید روی در شرایط تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار گزارش دادند. افزایش تولید پرولین موجب می‌شود تا گلوتامات که پیش ماده ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر بیوسنتز کلروفیل شرکت داشته باشد. با توجه به اینکه در گیاه

باعث بهبود عدد کلروفیل متر نسبت به میزان سطوح تنش شوری گشت. نتایج مشابهی با این آزمایش در سایر گیاهان همچون سویا (Fazeli et al., 2018)، ذرت (Askari et al., 2013) و جو (Seyed Sharifi et al., 2014) ارائه شده است. به نظر می‌رسد، محلول‌پاشی با نانواکسیدروی می‌تواند به دلیل افزایش محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز ضمن کاهش یا تعدیل اثر شوری در بهبود عملکرد حتی در شرایط تنش شوری مؤثر عمل نماید. شاخص پایداری کلروفیل نیز به‌عنوان شاخصی از مقاومت گیاه به تنش است (Madhan, 2000). در تنش شوری، گیاهان دچار کمبود آب و اثرات تنش یونی می‌شوند. روزنه‌ها به علت کاهش فشار تورگر در برگ، بسته می‌شوند، که این امر سبب کاهش میزان CO<sub>2</sub> برای فعالیت روبیسکو می‌شود. این اتفاق معمولاً باعث کاهش فتوسنتز و همچنین کاهش انتشار CO<sub>2</sub> به سلول‌های مزوفیل می‌گردد (Chaves et al., 2009). در این آزمایش با افزایش تنش شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار بر میزان این شاخص افزوده شد ولی در سطوح بالاتر این شاخص به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در بررسی اثر متقابل شوری و نانوذره مشاهده شد در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، نانواکسیدروی باعث افزایش حدود ۵۰٪ این شاخص شد که این نقش نانواکسیدروی در بهبود شاخص را در برابر تنش شوری نشان می‌دهد.

در این آزمایش مشاهده شد که افزایش میزان شوری تا سطح ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، باعث افزایش معنی‌دار میزان پرولین برگ و ریشه در گیاه نوروزک گردید، ولی افزایش بیشتر سطح شوری میزان پرولین را کاهش داد. نتایج حاصله از این آزمایش با نتایج Aghaei و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. در آزمایشی که بر روی دو گونه سالویا صورت گرفت مشاهده کردند که بیشترین میزان پرولین در

نوروزک تا سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار مقدار پرولین افزایش می یابد و پس از آن کم می شود، می توان نتیجه گرفت که این گیاه با بهره برداری از مکانیسم افزایش مقدار پرولین سعی بر تحمل این سطح از شوری دارد، ولیکن قادر به تحمل سطوح بالاتر شوری نیست. نتایج مشابه توسط Irma Ayala و Lilia Alcaraz (۲۰۱۰) نیز ارائه شده است که آنان اعتقاد دارند که کاهش میزان پرولین در تیمارهای بالای تنش شوری به خاطر مصرف بیشتر پرولین نسبت به سنتز آن می باشد.

در تحقیق حاضر میزان قندهای محلول برگ و ریشه در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد افزایش یافت، درحالی که با افزایش شوری از میزان آن کاسته شد. کاهش مقدار قند می تواند به علت کاهش فتوسنتز باشد، زیرا کاهش آب موجود باعث کاهش آماس شده و از دست دادن فشار آماس به بسته شدن روزنه ها در نتیجه کاهش فتوسنتز منجر می شود (Chinnusamy et al., 2005). افزایش غلظت قندهای محلول پاسخ گیاه نسبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگها ارزیابی می شود، زیرا افزایش در غلظت ساکارز و سطح قندهای محلول تحت شرایط تنش شوری به بهبود وضعیت آب برگ در القای تحمل به شوری نقشی مهم بازی می نماید و می تواند از کاهش شدید میزان پتانسیل آب و همچنین محتوی نسبی آب برگ جلوگیری کند (Kumar et al., 2007) افزایش کربوهیدرات های محلول ممکن است ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب کربوهیدرات های نامحلول باشد (Ehdaie et al., 2006). در شرایط تنش افزایش کربوهیدرات های محلول در آب باعث حفظ تورژشانس سلول های برگ، حفاظت غشای سلولی و بازداری از تخریب پروتئین ها می شود، همچنین از

طریق تأمین انرژی مورد نیاز گیاه از مرگ حتمی آن جلوگیری می کند (Xue et al., 2008). در این آزمایش استفاده از نانو اکسیدروی سبب افزایش میزان قندهای محلول در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار نسبت به شاهد شد. در رابطه با تأثیر کاربرد روی در تنش شوری می توان بیان کرد که روی یکی از عوامل های مهم تأثیرگذار در فعالیت آنزیم تریپتوفان سنتتاز و سنتز اکسین، تشکیل قند و ساختار آنزیم ها در بیوسنتز، یکپارچگی غشاها می باشد (Soliman et al., 2015). در مجموع افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می توان به علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیر فتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می شود، بیان کرد (Ghorbanli and Niakan, 2005).

#### نتیجه گیری نهایی

بر اساس نتایج به دست آمده گیاه نوروزک با به کارگیری برخی از فرایندها و تغییرات در خود توانست تا حدودی در برابر تنش شوری حاصل از کلرید سدیم مقاومت کرده و تا سطح شوری ۱۰۰ میلی مولار به فعالیت خود ادامه دهد. ولی افزایش تنش شوری به ویژه در سطح ۲۰۰ میلی مولار موجب کاهش معنی دار شاخص های رشد، کلروفیل ها، پرولین و قندهای محلول نسبت به شاهد شد. در این میان کاربرد نانو اکسیدروی با غلظت ۴ میلی گرم در لیتر از طریق اثر بر فرایندهای فیزیولوژیکی سبب بهبود پاسخ های رشد گیاه نوروزک به تنش شوری گشت و با افزایش توان گیاه در برخی از خصوصیات به ویژه حفظ میزان کلروفیل و پرولین به بهبود رشد گیاه نوروزک در تنش های ملایم کمک نماید. در نهایت با توجه به ویژگی های خاص گیاه نوروزک و عدم وجود منابع کافی و تحقیقات در خصوص نحوه رشد



این گیاه ضروری به نظر می‌رسد.

و پاسخ این گیاه به شوری، انجام بررسی و تحقیقات بیشتری از نقطه نظر مکانیسم‌های تحمل به شوری در

## References

- Abbasi, A. and Enayati, V. (2013).** Decrease of cell defense mechanisms efficiency and oxidative stress accruing in lake of Mg condition. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 1 (4): 41-52.
- 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*) plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(1):60-70.
- Abdel-Halim A.E.F., Hegazy S.H., Hassan N.S. and Naguib D.M. (2017).** Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress. *Ecological Engineering*, 99: 282–289.
- Aghaei Joubani, K., Tabei, N., Kanani, M.R. and yazdani, M. (2015).** Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. *Journal of Plant Process and Function Iranin Society of Plant Physiology*, 3 (9):85-96.
- Aghighi Shahverdi, M., Omid, H. and Tabatabaei, S. (2017).** Effect of foliar application of selenium, boron and iron on root morphological and photosynthesis pigments of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under salinity stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 33(6):1017-1033.
- Alharby, H.F., Metwali, E.M.R., Fuller, M.P. and Aldhebani, A.Y. (2016).** Impact of application of zinc oxide nanoparticles on callus induction, plant regeneration, element content and antioxidant enzyme activity in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) under salt stress. *Archives of Biological Science*, 68(4):723-735.
- Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili, Y. and Oscan, H. (1999).** Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, 23:1-6.
- Arvin, P. (2015).** Effect of gibberellin on some morphological traits, photosynthetic pigments content and proline in savory (*Satureja hortensis* L.) under salinity stress conditions. *Journal of Agricultural Research*, 7(2): 90-104.
- Askary, M., Maghsoudi Moud, A.A. and Saffari, V.R. (2013).** Investigation of some physiological characteristics and grain yield of corn (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Journal of Crop Production and Processing Isfahan University of Technology*, 3 (9):93-104.
- Askary, M., Talebi, Seyed M., Amini, F., Balout, B. and Dousti, A. (2017).** Effects of iron nanoparticles on *Mentha piperita* L. under salinity stress. *Biologija*, 63:65-75.
- Babaei, K., Sharifi, RS., Pirzad, A. and Khalilzadeh, R. (2017).** Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, 12:381–389.
- Bates, L.S. (1973).** Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205–207.
- Ben Taarit, M., Msaada, K., Hosni, K. and Marzouk, B., (2012).** Physiological changes and essential oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* L.) resette leaves as affected by salinity. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33:153-162.
- Betran, F.J., Beck, D., Banziger, M. and Edmeades, G.O. (2003).** Secondary traits in parental inbreeds and hybrids under stress and nonstress environments in tropical maize. *Field Crops Research*, 83:51-65.
- Broadley, M.R., White, P.J, Hammond, J.P, Zelko, I. and Lux, A. (2007).** Zinc in plants. *New Phytologist*, 173 (4): 677-702.
- Chaparzadeh, N., Najjar-Khodabakhsh, A., Pazhang, M. and Zarandi-Miandoab, L. (2015).** Effect of salinity and ascorbic acid on growth, water and osmotic relations of *Lepidium sativum*. *Iranian Journal of Plant Biology*, 7(24):39-52.
- Chaves, M.M., Flexas, J. and Pinheiro, C. (2009).** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103: 551-560.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A. and Zhu, J.K. (2005).** Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45:437-448.
- Croser, C., Renault, S., Franklin, J. and Zwiazek, J. (2001).** The effect of salinity on the emergence and seedling growth of *Picea morian*, *Picea glausa* and *Pinus banksiana*. *Environmental Pollution*, 115:6-16.

- Dashti, M., Kafi, M., Astaraei, A. and Zabihi, H. (2018).** Investigation of yield and yield components response of *Salvia leriifolia* Benth. To the biological and organic Fertilizers. Zeitschrift für Arznei-und Gewurzpflanzen, 22:84-90.
- Dashti, M., Kafi, M., Tavakoli, H. and Mirza, M. (2015)(b).** Effect of water deficit on water relation, photosynthesis and osmolytes accumulation of *salvia leriifolia* Benth. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4):813-821.
- Doganlar, Z.B., Demir, K., Basak, H. and Gul, I. (2010).** Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of the three different Tomato cultivars. African Agricultural Journal. 5 (15): 2056-2065.
- Dubois, M. and Gilles, K.A. (1956).** Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry, 25(3): 350-354.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A. Madore, M.A. and Waines, J.G. (2006).** Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. Crop Science, 46: 735- 746.
- Ershad Langroudi, M. and Sedaghatoor, S. (2012).** Effect of different media and salinity levels on growth traits of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*: L.). American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 12 (9): 1134-1142.
- Fathi, A., Zahedi, M., Torabian, Sh. and Khoshgoftar, A. (2017).** Response of Wheat genotypes to foliar spray of ZnO and Fe nanoparticles under salt stress. Journal of Plant Nutrition, 40(10):1376-1385.
- Fazeli Kakhki, S. and Goldani, M. (2018).** Effects of Zinc oxide nanoparticles (ZnO) on improving morpho-physiological, yield and its components of Soybean (*Glycine max* L.) var. Williams under salinity stress. Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science), 12(46(2)):253-268.
- Ghorbanli, M. and Niakan, M. (2005).** The effect of drought stress on soluble sugar, total protein, proline, phenolic compound, chlorophyll content and nitrate reductase activity in Soybean (*Glycine max* L. CV. Gorgan3). Journal of Science (Kharazmi University). 5(1-2): 537-550.
- Hendawy, S.F.K. and Khalid, A. (2005).** Response of sage *Salvia officinalis* L. plants to zinc application under different salinity levels. Journal of Applied Sciences Rresearch. 1: 147-155.
- Hosseinzadeh, H., Sadeghnia, H.R., Imenshahidi, M. and Fazly Bazzaz, B.S. (2009).** Review of the pharmacological and toxicological effects of *Salvia leriifolia*. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 12(1):1-8.
- Hussein, M.M. and Abou-Baker, N.H. (2018).** The contribution of nano-zinc to alleviate salinity stress on cotton plants. Royal Society Open Science, 5: 171-809.
- Ayala-Astorga, G. and Alcaraz-Meléndez, L. (2010).** Salinity effects on protein content, lipid peroxidation, pigments, and proline in *Paulownia imperialis* (Siebold & Zuccarini) and *Paulownia fortunei* (Seemann & Hemsley) grown in vitro. Electronic Journal of Biotechnology, 13(5):1-13.
- Jalili, A. and Jamzad, Z. (1999).** Red Data Book of Iran .Research Institute of Forest and Rangeland. No. 215.
- Jampectonga, A. and Brix, H. (2009).** Effects of NaCl Salinity on Growth, Morphology, Photosynthesis and Proline Accumulation of *Salvinia natans* Aquatic Botany, (3):181-186.
- Kheirizadeh, Y., Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. (2018).** Study of biofertilizers and nano zinc oxide application on remobilization and leaf area index of triticale (*Triticosecale*Witt.) under soil salinity. Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(4): 993-1004.
- Kumar, V., Shiram, V., Jawali, N. and Shitole, M.G. (2007).** Differential response of indica rice genotypes to NaCl stress in relation to physiological and biochemical parameters. Archives of Agronomy and Soil Science, 53(2):581-592.
- Lamas, A., Ullrich, C.I. and Sanz, A. (2002).** Cadmium effects on transmembrane electrical potential difference, respiration and membrane permeability of rice (*Oryza sativa*) roots. Plant and Soil, 219:21-28.
- Laware S.L. and Shilpa Raskar. (2014).** Influence of Zinc oxide nanoparticles on growth, flowering and seed productivity in Onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Science, 3(7):874-881.
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R. (1983).** Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b in leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions, 11: 591-592.
- Madhan, M.M. (2000).** Chlorophyll stability index (CSI): Its impact on salt tolerance in rice. International Rice Research Notes. 25:38-39.
- Movahhedi Dehnavi, M., Modarres Sanavi, A.M., Soroush-Zade, A. and Jalali, M.**

- (2004). Changes of proline, total soluble sugars, chlorophyll (SPAD) content and chlorophyll fluorescence in safflower varieties under drought stress and foliar application of zinc and maganese. *Biaban*, 9 (1): 93-110
- Munns, R. (2005).** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167: 645-663.
- NasirKhan, M. KhorshidAbbas, K.A., AlMutair, H. and Siddiqu, Z. (2016).** Role of nanomaterials in plants under challenging environments. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110:194-209.
- Niakan, M., Rezapour Mahjoob, S. and Ghorbanli, M. (2015).** Effect of exogenous putrescine on growth, photosynthesis and alkaloid compounds of *Datura stramonium* L.) in response to salinity stress under hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 6 (1): 111-123.
- 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.
- Pandey, A., Sanjay, S. S. and Yadav, R.S. (2010).** Application of ZnO nanoparticles in influencing the growth rate of *Cicer arietinum*. *Journal of Experimental Nanoscience*, 5(6): 488-497.
- Pardo, J.M. (2010).** Biotechnology of water and salinity stress tolerance. *Current Opinion in Biotechnology*, 21: 185-196.
- Parihar, P., Singh, S. and Singh, R. (2015).** Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 40-56.
- Rossi, L., Zhang, W., Lombardini, L. and Ma, X. (2016).** The impact of cerium oxide nanoparticles on the salt stress responses of (*Brassica napus* L.). *Environmental Pollution*, 219:28-36.
- Rostami, G., Moghaddam, M., Ghasemi Pirbalouti, A. and Tehranifar, A. (2018).** The effects of iron and zinc spraying in sulfate and nano forms on morphological and biochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(3):707-720.
- Sajedi, N., Ardakani, M.R. (2006).** Effect of different levels of nitrogen, iron and zinc on physiological indices and forage yield of maize (*Zea mays* L.) in Markazi province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1): 99-110.
- Saxena, R., Tomar, R.S. and Kumar, M. (2016).** Exploring Nano biotechnology to mitigate abiotic stress in crop plants. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8(9):974-980.
- Seyed Sharifi, R., Kamari, H. and Nagafi, Gh. (2014).** Effects of salinity stress and foliar application of nano-zinc oxide on yield per plant and some morphophysiological traits of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(2):399-410.
- Sim, C.C., Zaharah, A.R., Tan, M.S. and GohRapid, K.J. (2015).** Determination of leaf chlorophyll concentration, photosynthetic activity and NK concentration of *elaies guineensis* via correlated SPAD - 502 chlorophyll index. *Asian Journal of Agricultural Research*, 9(3): 132-138.
- Singh, J., Padmalochan, H. and Jolly, B. (2014).** Potential of *Vigna unguiculata* as a phytoremediation plant in the remediation of Zn from contaminated soil. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 1156-1162.
- Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V.P. and Prasad, S.M. (2015).** Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(3):407-426.
- Soleymani, F. and Pirzad, A. (2015).** The effect of mycorrhizal fungi on malondialdehyde concentration and some metabolic processes in hyssop (*Hyssopus officinalis*) under water deficit stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 7(24):15-26.
- Soliman, A. Sh, El-feky, S.A. and Darwish, E. (2015).** Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. *J. Horticulture and Forestry*, 7:36-47.
- Talaat, N.B. and Shawky, B.T. (2012).** 24-Epibrassinolide ameliorates the saline stress and improves the productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal Environmental and Experimental Botany*, 82:80-88.
- Torabian, S., Zahedi, M. and Khoshgoftarmanesh, A. (2016).** Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18 (4):1013-1025.
- Torres Netto, A., Campostrini, E., DeOliviera, J.G., and Bressan-Smith, R.E. (2005).** Photosynthetic pigments, nitrogen,

chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulture*, 104: 199-209.

**Xue, G., Lynne McIntyre, C., Glassop, D. and Shorter, R. (2008).** Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. *Plant Molecular Biology*, 67: 197-214.

**Yadarlou, L. and Majidi Heravan, E. (2008).** Evaluation of salinity stress on

morphophysiological traits of four salinity tolerant wheat cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 1:205-215.

**Yadghari, R., Nyakan, M. and Mosavat, A. (2014).** The effect of nano and non-nano forms chelate zinc on growth, chlorophyll content and soluble sugar pea plants (*Cicer arietinum* L.) in different levels of salinity. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research*. 9:137-150.