علوم و تحقیقات بذر ایران
سال هشتم/ شماره دوم/ ۱۴۰۰ (۱۹۴ - ۱۷۷)
مقاله پژوهشی
DOI: 10.22124/jms.2021.5219

اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه سیاهدانه (*Nigella sativa*) تحت تنش شوری

رزیتا کبیری[1*]، مهدی نقی‌زاده[2]، مریم دلفانی[3]

تاریخ دریافت: ۹۹/۹/۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۱

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر سدیم نیتروپروساید بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) تحت تنش شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شد. تیمارها شامل، سدیم نیتروپروساید در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌عنوان عامل اول و تنش شوری با سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل دوم بودند. نتایج آزمایش نشان داد که افزایش تنش شوری باعث کاهش تمام شاخص‌های جوانه‌زنی (درصد و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه و محتوای نسبی آب برگ) شد، در حالی‌که محتوی پرولین در سطح شوری ۱۰۰ میکرومولار در مقایسه با شاهد، حدود ۵۲/۲ درصد افزایش یافت. کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش تمام صفات (به استثنای پرولین که اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت) گردید. در بالاترین سطح تنش شوری، بذرهایی که با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید پیش‌تیمار شده بودند، به‌ترتیب باعث افزایش حدود ۵۴/۲، ۴۷/۷، ۶۳/۶ و ۲۰/۲ درصد در سرعت و درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و محتوی نسبی آب برگ در مقایسه با بذرهایی که با آب مقطر پیش‌تیمار شده بودند، گردید. در نهایت می‌توان بیان کرد که کاربرد این تنظیم‌کننده رشد گیاهی در این آزمایش موجب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و محتوی نسبی آب گیاهچه سیاهدانه شد.

واژه‌های کلیدی: آسیب اکسیداتیو، پرولین، رشد گیاهچه، نیتریک اکسید

۱- گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. Rozita.Kabiri@gmail.com
۲- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. naghizadeh@uk.ac.ir
۳- دانش‌آموخته دکتری زراعت- فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. maryam_delfani@yahoo.com
*نویسنده مسئول: Rozita.Kabiri@gmail.com

مقدمه

شوری خاک یکی از شدیدترین تنش‌های محیطی است که محصولات زراعی در سراسر جهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ramezani *et al.*, 2011)، تقریبا ۲۰ درصد از اراضی کشاورزی و نزدیک به ۵۰ درصد از اراضی فاریاب تحت تاثیر شوری بالا در جهان قرار دارند (Saddiq *et al*., 2019). در دهه‌های اخیر تنش شوری ثانویه ناشی از فعالیت‌های انسانی (کوددهی طولانی مدت، آبیاری با آب شور و روش‌های نادرست آبیاری) روبه افزایش است (Feghhenabi *et al*., 2020). شوری خاک از طریق افزایش فشردگی خاک باعث کاهش کیفیت هیدرولیک و اکسیژن فعال خاک می‌گردد که به دنبال این تغییرات در خاک، باعث ایجاد مشکلاتی برای محیط رشد گیاهان از جمله، کاهش حرکت آب و هوا در خلل و فرج خاک، کاهش ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی قابل دسترس گیاه، کاهش نفوذ ریشه گیاه، ایجاد تنش اسمزی، عدم تعادل یون‌ها، سمیت یونی و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و آنتی‌اکسیدانت می‌گردد که در نهایت منجر به کاهش رشد و عملکرد در گیاهان می‌شود (Ren *et al*., 2017).

چندین راه‌کار برای کاهش اثرات منفی شوری بر جوانه‌زنی بذر و بهبود رشد گیاهان وجود دارد، راه‌کار اول از طریق انتخاب و پرورش گیاهان مقاوم به تنش شوری است که متاسفانه پیچیدگی سازوکارهای اساسی تحمل به تنش، عدم وجود معیارهای مناسب انتخاب و عکس‌العمل مختلف گیاه در پاسخ به تنش در مراحل مختلف رشد منجر به موفقیت محدود تجاری در این زمینه شده است (Taie *et al.,* 2013). راه‌کار بعدی از طریق پرایمینگ-کردن بذر با مواد مختلف یا استفاده از اگزوژن‌ها در بذر می‌باشد (Subramanyam *et al*., 2019). پرایمینگ بذر به‌عنوان یک روش مقرون به صرفه و کم‌خطر جهت بهبود جوانه‌زنی و ظهور گیاه‌چه از طریق القای فعالیت متابولیک پیش از جوانه‌زنی در شرایط نامطلوب می‌باشد (Migahid *et al*., 2019). استفاده از پیش‌تیمار پرایمینگ بذر از طریق بهبود فعالیت‌های متابولیک قبل از جوانه‌زنی، سنتز RNA، سنتز پروتئین و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانت باعث بهبود رشد گیاهان می‌گردد (Saddiq *et al*., 2019).

در حدود ۴۰ ماده فعال که به‌صورت منفرد یا ترکیبی به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، وجود دارد، از جمله این مواد اکسین‌ها، سایتوکنین‌ها، جیبرلین، اتیلن، آبسیزیک اسید، براسینواستروئیدها، سالیسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید، تریاکونتانول، آسکوربات اسید، استریوگالاتون‌ها، نیتریک اسید، پلی‌آمین‌ها و هورمون‌های پپتیدی گیاهی را می‌توان ذکر کرد که باعث بهبود عملکرد و کیفیت محصولات زراعی می‌گردند (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2019). سدیم نیتروپروساید یک ترکیب رهاکننده اکسید نیتریک است (NO) که اسید نیتریک به‌عنوان یک گونه واکنش‌پذیر ازت و مولکول سیگنالی شناخته شده است که در رشد و نمو گیاه (Hesami *et al*., 2020)، در پاسخ به تنش شوری (Ali *et al.*, 2017)، تنش اشعه ماورای بنفش (Yan *et al*., 2016)، تنش آب (Silveira *et al.*, 2016)،گرما (Song *et al.,* 2013) و فلزات سنگین (He *et al*., 2014) نقش ایفا می‌نماید.

اکسید نیتریک رهاشده از سدیم نیتروپروساید به‌عنوان یک مولکول مهم انتقال پیام درون‌زا در بسیاری از فرآیندهای مختلف رشد و نمو گیاه از جمله خواب بذر، جوانه‌زنی بذر، رشد اولیه و جانبی ریشه، گل‌دهی، حرکات روزنه‌ای، فتوسنتز، عملکرد میتوکندری، پیری، متابولیسم گیاه و مرگ سلولی نقش دارد (Nabaei and Amooaghaie, 2019). همچنین اکسید نیتریک در فعالیت‌های مختلفی نظیر نگهداری آب برگ، بیان ژن ATPase، حفظ تعادل یونی بین Na^+ و K^+، افزایش ژن‌های بیان‌کننده آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت (آسکوربات‌پراکسیداز، پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و گلوتاتیون پراکسیداز)، بهبود تجمع پرولین و کاهش تولید و تجمع پراکسیدهیدروژن دخالت دارد (Karthik *et al.,* 2019). سیاهدانه متعلق به خانواده چلیپاییان (Runanaculaceae) به‌عنوان گیاه دارویی که به‌طور گسترده در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی استفاده می‌شود، شمال آفریقا، منطقه مدیترانه و جنوب غرب آسیا (ایران و پاکستان) به‌عنوان خواستگاه این گیاه در نظر گرفته شده است. بیش از صد نوع ترکیب فیتوشیمیایی مانند اسیدهای چرب، ساپونین‌ها، فلاونول‌ها، آلکالوئیدها، استرول‌ها و روغن‌های اساسی در دانه‌های این گیاه وجود دارد. این گیاه در درمان افسردگی، بیماری‌های دیابت، نارسایی کلیه، بیماری‌های معده، سردرد، دندان درد نقش داشته و دارای اثرات آنتی

بیوتیک و تحریک پاسخ ایمنی، ضد نفخ، مسهل، ضد انگل، ضد میکروب، ضد کرم، ضد سرطان، تقویت لثه و شیرآور می‌باشد (Golkar *et al*., 2020). بذرهای سیاهدانه در مرحله جوانه‌زنی تحمل پایین تا متوسطی به تنش شوری دارد (Papastylianou *et al*. 2018).

جوانه‌زنی بذر مهم‌ترین مرحله در استقرار گیاهچه است که تعیین‌کننده تولید موفقیت‌آمیز محصول است (Kataria *et al*., 2017) و یک فرآیند پیچیده و مرحله بسیار آسیب‌پذیر در برابر شرایط نامساعد محیطی است (Fan *et al*., 2013). شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و طول ریشه و اندام‌های هوایی می‌باشند (Li *et al*., 2019). با افزایش تنش شوری، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، طول ریشه، طول ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، نسبت اندام‌های هوایی به ریشه و بیوماس در سیاهدانه کاهش یافت (Balouchi *et al.,* 2012; Safarnejad *et al.,* 2007; Rahimi *et al.,* 2011; Javadi *et al.,* 2014).

نیتریک اکسید از طریق تنظیم سطح فیتوهورمون سیتوکنین و اکسین باعث افزایش رشد و نمو ریشه (Ahmad *et al.*, 2020) و از طریق تاثیر بر تقسیم سلولی و اندام‌زایی موجب رشد و گسترش ساقه (Sarropoulou and Maloupa, 2017) می‌شود. کاربرد غلظت یک میکرومولار سدیم نیتروپروساید در برنج (Uchida *et al.*, 2002)، غلظت ۰/۲ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید در گیاهچه‌های گندم (Lei *et al*., 2007) و غلظت ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در گیاهچه‌های جو (Li *et al.*, 2008) باعث کاهش اثرات تنش اکسیداتیو و افزایش تحمل به تنش اسمزی گردید. سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری از طریق سیگنال‌دهی باعث بیان ژن‌ها و فعالیت آنزیم‌های مرتبط به تولید و تجمع پرولین در گیاه دارویی مرزه (Goorgini Shabankareh and Khorasani nejad, 2018) کلزا (Rezapour *et al.,* 2019)، گندم (Ruan *et al*., 2004) و گیاه سویا (Vaishnav *et al*., 2013) می‌شود. کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث بهبود وضعیت محتوی رطوبت نسبی برگ گیاهچه جو (Karami and Sepehri, 2018)، ذرت (Zhang et al., 2006) و گندم (Tian and Lei, 2006) گردید. با توجه به تاثیرات زیان‌بار تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فرآیندهای فیزیولوژیک و نمو گیاهان به‌ویژه گیاه دارویی سیاهدانه که یک گیاه دارویی با ارزش اقتصادی بالا می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانت سدیم نیتروپروساید در برابر تنش‌های غیرزنده در گیاهان، آزمایشی در این راستا به‌منظور بررسی اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر بهبود جوانه‌زنی و رشد اولیه سیاهدانه تحت تنش شوری صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر سدیم نیتروپروساید بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa*) در شرایط تنش شوری، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارها شامل، سدیم نیتروپروساید در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میکرومولار) به‌عنوان عامل اول و تنش شوری با سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) به‌عنوان عامل دوم بودند. پس از انتخاب بذرهای هم‌اندازه، بذرها با هیپوکلریت‌سدیم ۳ درصد به‌مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی گردید و سپس ۳ تا ۵ مرتبه با آب مقطر شسته و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۰ درجه سلسیوس درون محلول‌هایی با غلظت (۰ (آب مقطر)، ۲۵ و ۵۰ میکرو مولار) سدیم نیتروپروساید به‌طور جداگانه خیسانده شدند. پس از آن، تعداد ۳۰ عدد از بذرهای خیس‌خورده در آب مقطر و محلول سدیم نیتروپروساید، به پتری‌دیش‌های استریل با قطر ۹ سانتی‌متر که حاوی یک لایه کاغذ صافی واتمن شماره ۱ در کف پتری‌دیش‌ها و ۱۰ میلی‌لیتر NaCl با غلظت‌های (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار) بودند، منتقل شدند. پتری‌ها در اتاقک رشد و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۴ روز قرار داده شدند (Safarnejad *et al.*, 2007) و تعداد بذرهای جوانه‌زده به‌صورت روزانه و به‌مدت ۱۴ روز مورد شمارش قرار گرفتند. بذرهایی جوانه‌زده تلقی شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها دو میلی‌متر یا بیش‌تر بود (Kaya and Day, 2008). روز چهاردهم، پنج عدد از بذرهای جوانه‌زده جهت سنجش خصوصیات مورفولوژیک از پتری دیش خارج گردید. جهت بررسی صفات طول ساقه‌چه (برحسب میلی‌متر) از یقه تا جوانه انتهایی و طول ریشه‌چه

از یقه تا نوک ریشه اصلی با خط‌کش اندازه‌گیری و مورد سنجش قرار گرفت. جهت سنجش صفات، وزن تر ریشه‌چه (برحسب میلی‌گرم در بوته) و اندام هوایی (برحسب میلی‌گرم در بوته) با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق، وزن خشک ریشه‌چه (برحسب میلی‌گرم در بوته) و اندام هوایی (برحسب میلی‌گرم در بوته) بعد از خشک‌شدن نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد.

درصد و سرعت جوانه‌زنی از روابط ۱ و ۲ به‌دست آمد (Maguire, 1962).

$$\%G=(n/N)\times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن G درصد جوانه‌زنی، n تعداد نهایی بذرهای جوانه‌زده و N تعداد بذرهای کشت‌شده می‌باشد.

$$GR = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ni}{Ti} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن GR سرعت جوانه‌زنی (برحسب تعداد بذر جوانه‌زده در روز)، N_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر شمارش و T_i زمان از ابتدای کاشت تا شمارش iام بر حسب روز است. شاخص بنیه بذر نیز به روش عبدالباکی و اندرسون (Abdul-baki and Anderson, 1970) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$SVI=GP\times SL/100 \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن SVI، شاخص بنیه بذر، GP درصد جوانه‌زنی و SL، میانگین طول گیاهچه‌ها (بر حسب میلی‌متر) می‌باشند. وزن خشک گیاهچه (برحسب میلی‌گرم در بوته) از حاصل‌جمع وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه‌چه حاصل شد

صفات فیزیولوژیک

پرولین

به‌منظور اندازه‌گیری محتوی پرولین، ۰/۰۲ گرم از بافت فریزشده در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد سولفوسالیسیلیک اسید سائیده و عصاره حاصل به‌مدت ۵ دقیقه در g ×۱۰۰۰۰ سانتریفوژ شد. ۲ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و نیز ۲ میلی‌لیتر استیک اسید مخلوط و در حمام آب‌گرم قرار گرفت. پس از سردشدن، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه شد. با ثابت نگه‌داشتن لوله‌ها، دو لایه مجزا تشکیل شد. میزان جذب لایه رنگی فوقانی که حاوی پرولین بود در۵۲۰ نانومتر تعیین شد (Bates *et al.*, 1973).

محتوی نسبی آب برگ

سنجش محتوای نسبی آب برگ طبق دستورالعمل (Wheutherley, 1950) انجام گردید. پس از جداکردن برگ سوم، این برگ با ترازوی دقیق آزمایشگاهی LIBROR AEL مدل 40 SM با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن گردیدند[1] (FW). سپس برگ ها در لوله آزمایش حاوی آب مقطر برای مدت ۵-۴ ساعت غوطه‌ور گردیدند. در طول این مدت لوله‌های آزمایش در نور قرار داشتند. برگ‌ها پس از این مدت از پتری‌دیش خارج شده و با استفاده از کاغذ صافی خشک گردیدند، دوباره وزن شدند تا وزن حالت تورژ سانس کامل[2] (TW) به‌دست آید. برای محاسبه وزن خشک[3] (DW) برگ‌ها درون فویل آلومینیوم پیچیده شدند و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس آون قرار داده شدند و سپس وزن گردیدند. محتوای نسبی آب برگ از رابطه زیر محاسبه شد.

$$RWC=\frac{Fw-Dw}{Tw-Dw}\times 100 \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (ver. 9.1) صورت گرفت و با مشاهده تفاوت معنی‌دار در آنالیز واریانس (ANOVA)، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel (ver. 2007) انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تاثیر سدیم نیتروپروساید بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و فیزیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط تنش شوری در جدول یک آورده شده است. اثر اصلی سدیم نیتروپروساید بر کلیه صفات (به استثنای پرولین) و اثر اصلی تیمار تنش شوری بر تمام صفات در سطح یک درصد معنی‌دار گردیدند. هم‌چنین نتایج اثرات متقابل دو جانبه سدیم نیتروپروساید × تنش شوری بر صفات درصد جوانه‌زنی ($p < ۰/۰۵$) و سرعت جوانه‌زنی ($p < ۰/۰۱$)، شاخص بنیه بذر ($p < ۰/۰۱$) و محتوی نسبی آب ($p< ۰/۰۱$) معنی‌دار بودند.

[1] Fresh weight
[2] Turgid weight
[3] Dry weight

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر پیش‌تیمار سدیم نیترو پروساید بر برخی خصوصیات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه سیاهدانه تحت تنش شوری

Table 1. Analysis of variance (mean square) of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on some germination characteristics and early growth of black cumin seedling under salinity stress

		میانگین مربعات Mean Squares											
منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	شاخص بنیه بذر Seed vigor index	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Shoot length	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن تر اندام هوایی Shoot fresh weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک گیاهچه Seedling dry weight	پرولین Proline	محتوی نسبی آب برگ Relative water content
سدیم نیتروپروساید SNP	2	1973.7**	26.6**	2250.9**	331.2**	146.55**	10.2**	0.052**	27.25**	0.319**	0.628**	0.095 ns	232.3**
تنش شوری Salinity stress	2	532**	31.1**	3003.6**	1316**	272.47**	38.7**	0.145**	44.42**	0.432**	1.044**	73.9**	550.02**
سدیم نیتروپروساید×تنش شوری SNP × Salinity stress	4	511.81*	8.65**	227.4**	4.01 ns	5.55 ns	1.05 ns	0.0025 ns	0.111 ns	0.0054 ns	0.005 ns	0.0347 ns	35.15**
خطای آزمایش Error	18	76.5	1.36	39.8	14.67	4.05	0.573	0.00089	1.35	0.0142	0.0145	0.123	3.95
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		11.1	18.2	11.2	8.9	7.7	9.9	6.7	11.7	12.9	8.8	4.2	2.5

* و ** معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیر معنی‌دار

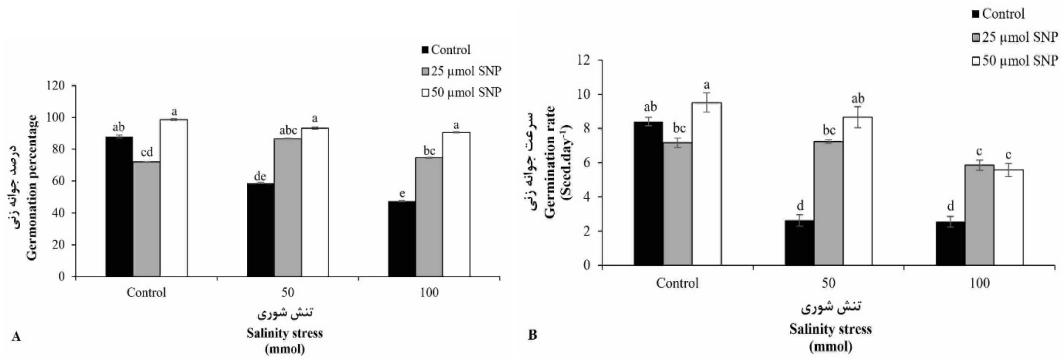
**, * and ns denote significant differences at 0.05, 0.01 % levels, and not significant respectively

درصد جوانه‌زنی

نتایج مقایسه میانگین صفت درصد جوانه‌زنی در شکل A-۱ نشان داد که تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی به‌میزان ۴۰/۶۷ درصد در مقایسه با تیمار شاهد شد، کاربرد سدیم نیتروپروساید در همه سطوح تنش شوری (به استثنای ۲۵ میکرومولار × شاهد (آب مقطر)) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی گردید. ترکیب تیماری کاربرد۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید × شاهد (آب مقطر) با میانگین ۹۸/۶۶ درصد بالاترین درصد جوانه‌زنی و ترکیب تیماری عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید × کلراید سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار با میانگین ۴۷/۳۳ درصد پایین‌ترین درصد جوانه‌زنی را دارا بودند.

بیش‌تر گونه‌های زراعی در مراحل ابتدایی رشد از جمله جوانه‌زنی و استقرار گیاه‌چه، به تنش شوری حساس هستند. به‌طوری‌که مدت زمان جوانه‌زنی و استقرار آن به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین شاخص‌های تحمل به تنش شوری مطرح است. استقرار موفق گیاه نه تنها وابسته به جوانه‌زنی سریع و یکنواخت بذر، بلکه وابسته به توانایی بذر در جوانه‌زنی تحت شرایط تنش است. با اندازه‌گیری رشد گیاه‌چه‌ها در شرایط تنش شوری می‌توان شدت تنش شوری را ارزیابی کرد، زیرا ظهور یکنواخت گیاه‌چه‌ها به‌عنوان یک پیش‌نیاز اساسی برای دستیابی به حداکثر عملکرد و در نهایت حداکثر سودآوری سالیانه محصولات است (Feghhenabi *et al*., 2020). کلرید سدیم دارای اثر مخرب سدیم در غشاء سیتوپلاسمی سلول است که منجر به کاهش جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه می‌گردد. تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی در شش گونه گیاهی دارویی کنگر فرنگی (*Cynara scolymus* L.)، سیاموسیس (*Cyamopsis psoraloides*)، چای ترش (*Hibiscus sabdariffa L.*)، سنای هندی (*Cassia angustifolia*)، زوفا (*Hyssopus officinalis*) و ریحان (*Ocimum basillicum*) شد (Khammari *et al.,* 2007). با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ میلی‌مولار به ۲۰۰ میلی‌مولار درصد جوانه‌زنی در بذور بابونه (*Matricaria chamomilla L.*) رقم بودگلد تقریبا ۵۰ درصد کاهش یافت (Zehtab-Salmasi, 2008). پیش‌تیمار نیتریک اکسید از یک سو با افزایش فعالیت دو آنزیم آلفاآمیلاز و بتاآمیلاز و در نتیجه تبدیل آسان‌تر نشاسته به قند و از سوی دیگر، از راه تاثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانت و کاهش اثرات سمی و مخرب تنش شوری باعث بهبود درصد جوانه‌زنی بذور در شرایط تنش شور می‌گردد (Zheng *et al.,* 2009).

پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید موجب تحریک جوانه‌زنی دانه و رشد ریشه لوبیا شد (Kopyra and Gwóz´dz, 2003). پیش‌تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی، طول و وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه در شرایط تنش شوری شد و عملکرد بذر را در گیاه کنجد افزایش داد (Fathi *et al.,* 2018). کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری باعث افزایش درصد نهایی جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی سرخارگل شد درحالی‌که در شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی، بنیه جوانه‌زنی و شاخص جوانه‌زنی تاثیر معنی‌داری نداشت (Asadi-Sanam *et al.,* 2014).



شکل ۱- اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروساید (SNP) بر درصد (A) و سرعت (B) جوانه زنی سیاهدانه تحت شرایط تنش شوری (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 1. Effect of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on germination percentage (A) and rate (B) of *Nigella sativa* under salinity stress (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

سرعت جوانه‌زنی

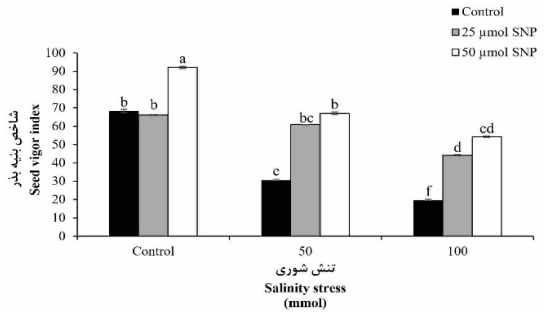
همان‌طور که در شکل B-۱ مشاهده می‌گردید اثر متقابل کاربرد ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید × شاهد (آب مقطر) با میانگین ۹/۵۱ (بذر در روز) و اثر متقابل عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید × کلراید سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار با میانگین ۲/۵۵ (بذر در روز) به‌ترتیب بیش-ترین و کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی را دارا بودند. کاربرد سدیم نیتروپروساید در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تنش شوری نسبت به عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید با اختلاف آماری معنی‌داری باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی گردید. درحالی‌که در تیمار عدم تنش شوری کاربرد هر دو سطح تیمار سدیم نیتروپروساید با عدم کاربرد آن اختلاف آماری معنی‌دار نداشتند، با این وجود در بالاترین غلظت سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش شوری سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت.

کاهش فرایند جوانه‌زنی در اثر تنش شوری می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال گردد و یا جذب آب به-آرامی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیک جوانه‌زنی در داخل بذر به‌آرامی انجام خواهند شد و در نتیجه مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. سرعت جوانه‌زنی یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تحمل به شوری در مرحله جوانه‌زنی است، زیرا هر چه سرعت جوانه‌زنی بیش‌تر باشد، شانس سبزشدن تحت شرایط تنش بیش‌تر خواهد بود. با افزایش تنش شوری در چهار گیاه دارویی شنبلیله، کنجد، شاهدانه و زنیان، درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت (Dadkhah, 2010). کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و وزن تر و خشک ریشه گیاه شاهی شد، هرچند که بین سطوح سدیم نیتروپروساید (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (Raissi *et al.,* 2010). کاربرد نیتریک اکسید سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی بذور درخت امپراتور شد (Giba *et al*., 1998).

شاخص بنیه بذر

نتایج مقایسه میانگین صفت شاخص بنیه بذر در شکل ۲ نشان داد که، پیش‌تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید باعث اختلاف آماری معنی‌داری این شاخص نسبت به عدم کاربرد آن در تیمارهای شاهد (آب مقطر) و تنش شوری گردید. کاربرد ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید × شاهد (آب مقطر) باعث افزایش اختلاف ۳۶۷/۱۹ درصدی نسبت به عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید × ۱۰۰ میلی‌مولار کلراید سدیم شد.

شاخص بنیه بذر تابعی از درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه به شمار می‌رود. تنش شوری با کاهش یا عدم انتقال مواد غذایی از آندوسپرم به جنین بذر مانع تقسیم سلولی و سنتز پروتئین می‌شود و در نتیجه با ایجاد تغییر در تعادل هورمونی، سبب کاهش رشد گیاهچه می‌گردد (Fan *et al*., 2013). کاهش بنیه و شاخص جوانه‌زنی و رشد گیاه‌چه در محیط‌های شور به‌علت آثار سمیت نمک و خشکی فیزیولوژیک است که باعث استقرار نامناسب بوته‌های می‌گردد (Farooq *et al*., 2009). با افزایش غلظت کلراید سدیم در گیاه سیاهدانه باعث کاهش شاخص بنیه بذر شد (Safarnejad *et al.,* 2007). کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط عدم تنش شوری بیش‌ترین بنیه بذر را در گیاه جو تولید کرد (Karami and Sepehri, 2018).



شکل ۲- اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر صفت شاخص بنیه بذر سیاهدانه تحت شرایط تنش شوری (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 2. Effect of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on seed vigor index of *Nigella sativa* under salinity stress (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

طول ریشه‌چه

بر اساس نتایج، با افزایش سطوح تنش شوری طول ریشه‌چه کاهش یافت. طول ریشه‌چه در تیمار شاهد (آب مقطر) نسبت به تیمار ۵۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میلی‌مولار کلراید سدیم به‌ترتیب ۴۳/۶۹ و ۷۱/۲۹ درصد بیش‌تر بود (شکل A-۳). همان‌طور که در شکل B-۳ مشاهده می‌گردد، کاربرد سدیم نیتروپروساید نسبت به شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) باعث افزایش طول ریشه‌چه شد. بیش‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم نیتروپروساید با میانگین ۴۶/۴۰ میلی‌متر مشاهده شد، هرچند این تیمار با تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین طول ریشه‌چه در تیمار شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) با میانگین ۳۵/۶۶ میلی‌متر مشاهده شد.

کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در محلول کلرو سدیم احتمالا به‌دلیل سمیت یون‌ها و اثر منفی آن بر غشاء سلول است (Javadi *et al.,* 2014). شوری می‌تواند از طویل‌شدن ریشه و ساقه به‌دلیل کندکردن جذب آب جلوگیری کند. تنش شوری باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه زیره سبز و سنبل‌الطیب گردید (Javadi *et al.,* 2014). افزایش سطوح شوری باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه شور باتلاقی شد (Qu *et al.,* 2008). نیتریک‌اکسید باعث تنظیم سطح سیتوکنین و نقل و انتقال اکسین و یک مولکول سیگنالی است که باعث افزایش رشد و توسعه ریشه می‌شود (Vaishnav *et al*., 2013).

وزن تر ریشه‌چه

مقایسه میانگین صفت وزن تر ریشه‌چه در شکل C-۳ نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر ریشه‌چه به‌ترتیب با میانگین معادل با ۹/۸۵ وو ۵/۷۵ میلی‌گرم در تیمار شاهد (آب مقطر) و تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) مشاهده شد. کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن تر ریشه‌چه گردید، به‌طوری‌که کاربرد ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) به‌ترتیب باعث افزایش ۳۰/۹۰ و ۲۶/۳۷ درصدی شد (شکل D-۳).

محققان با بررسی سطوح مختلف تنش شوری به کاهش وزن تر و خشک ریشه‌چه اشاره کرده‌اند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (Javadi *et al.,* 2014; Eslami *et al.*, 2009; Dadkhah, 2010; Feghhenabi *et al.*, 2020). تحقیقات فتحی و همکاران (Fathi *et al.,* 2018) بر روی کنجد (*Sesamun indicum*) و رضاپور و همکاران (Rezapour et al., 2019) بر روی کلزا (*Brassica napus*) اثرات منفی تنش شوری بر وزن تر و خشک گیاهچه و تعدیل آن با کاربرد نیتریک اکسید را نشان داده است. سدیم نیتروپروساید سبب توسعه برگ و ریشه می‌شود و پیری را به تاخیر می‌اندازد و در شرایط تنش‌های مختلف به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدانت عمل می‌کند (Fan *et al.*, 2013).

وزن خشک ریشه‌چه

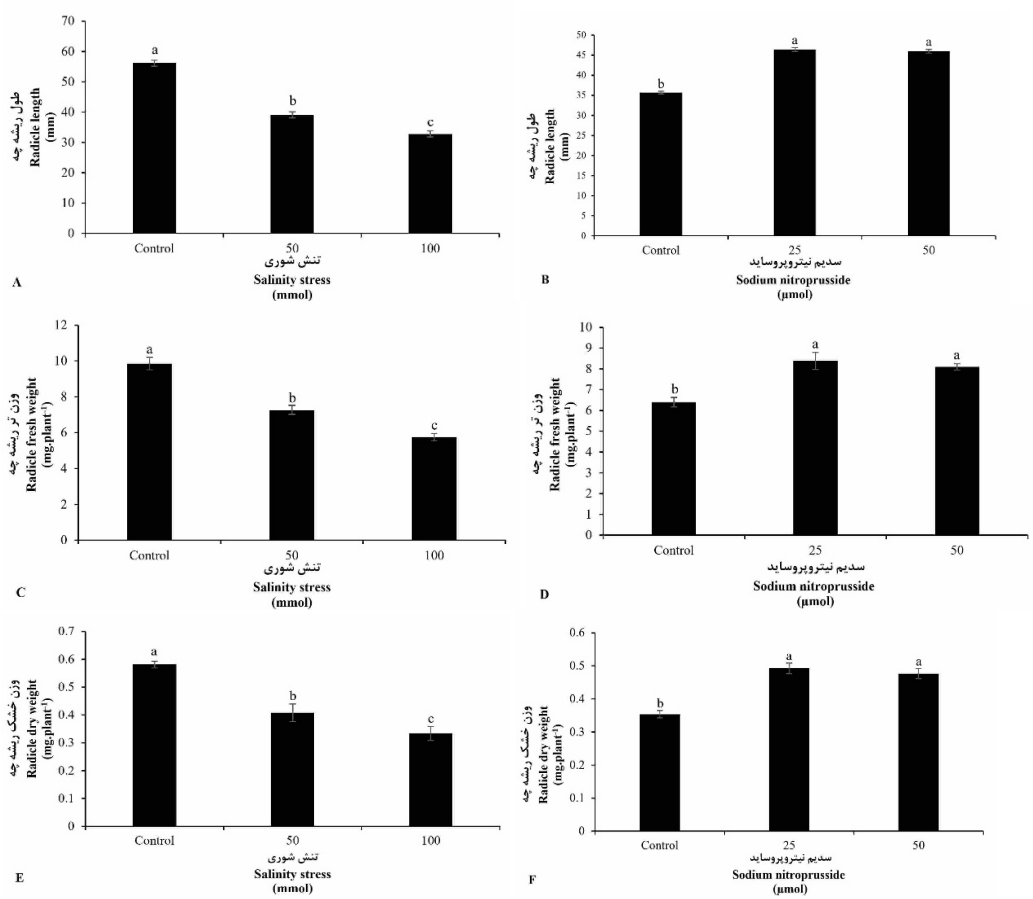
شکل E-۳ مقایسه میانگین صفت وزن خشک ریشه‌چه را نشان داد با افزایش سطح تنش شوری وزن خشک ریشه‌چه کاهش یافت، به‌طوری‌که در تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) با میانگین ۰/۳۳ میلی‌گرم در گیاه کم‌ترین وزن خشک ریشه‌چه مشاهده شد، در مقابل در تیمار شاهد (آب مقطر) با میانگین ۰/۵۸ میلی‌گرم در گیاه بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه به‌دست آمد. شکل F-۳ مقایسه میانگین کاربرد سدیم نیتروپروساید بر صفت وزن خشک ریشه‌چه را نشان داد، کاربرد تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم نیتروپروساید با میانگین ۰/۴۹ میلی‌گرم در گیاه بیش‌ترین و شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) با میانگین ۰/۳۵ میلی‌گرم در گیاه کم‌ترین وزن خشک ریشه‌چه را حاصل کردند.

در شرایط تنش اسمزی، دسترسی بذر به رطوبت کاهش می‌یابد، لذا عمل هیدرولیز مواد ذخیره‌ای جهت تولید بافت‌های گیاهچه‌ای با مشکل مواجه شده و وزن خشک گیاهچه کاهش می‌یابد. تنش شوری در دو رقم گندم (Suntop و Sunmate) و جو (CM72) باعث کاهش طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه شد (Zeeshan *et al*., 2020). کاربرد تیمار نیتریک‌اکسید با کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه چمن‌پوآ باعث افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه، وزن خشک ریشه و وزن تر و خشک ساقه شد ولی بر وزن تر ریشه تاثیر معنی‌داری نداشت (Jalilzadehkhooei and Jabarzadeh, 2017).

طول اندام‌هوایی

همان‌طور که در شکل A-۴ ملاحظه می‌گردد، تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) و متوسط (۵۰ میلی‌مولار)

نسبت به تیمار شاهد (آب مقطر) به‌ترتیب باعث کاهش ۳۴/۹۰ و ۱۸/۱۵ درصدی طول اندام هوایی گیاه دارویی سیاهدانه شد. مقایسه میانگین کاربرد سدیم نیتروپروساید بر صفت طول اندام هوایی گیاه دارویی سیاهدانه در شکل ۴-B نشان داد که با افزایش سطوح سدیم نیتروپروساید طول اندام هوایی افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین طول اندام هوایی با میانگین ۲۹/۱۲ میلی‌متر در تیمار کاربرد ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید مشاهده شد، هرچند این تیمار با تیمار ۲۵ میکرومولار سدیم نیتروپروساید (با میانگین ۲۷/۲۹ میلی‌متر) اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کم‌ترین طول اندام هوایی با میانگین ۲۱/۴۰ میلی‌متر در تیمار شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) مشاهده گردید. تنش شوری باعث کاهش طول گیاه‌چه، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر مرزه و وزن گیاه‌چه کنگرفرنگی و شاخص بنیه بذر کاسنی را به طور معنی‌داری کاهش داد (Seghatol Eslami, 2010). سدیم نیتروپروساید یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی است، این ترکیب قادر به رهاکردن نیتریک اسید است. نیتریک اکسید در تحریک جوانه‌زنی بذر، تقسیم سلولی، افزایش میزان کلروفیل و بسیاری از اعمال دیگر سلول دخالت دارد و قادر است با گونه‌های فعال اکسیژن واکنش داد و آسیب آن‌ها را کاهش دهد. سدیم نیتروپروساید سبب انگیزش تولید اکسین می‌گردد که می‌تواند در افزایش طول ریشه و اندام‌های هوایی اثر مستقیم داشته باشد (He *et al.*, 2014).



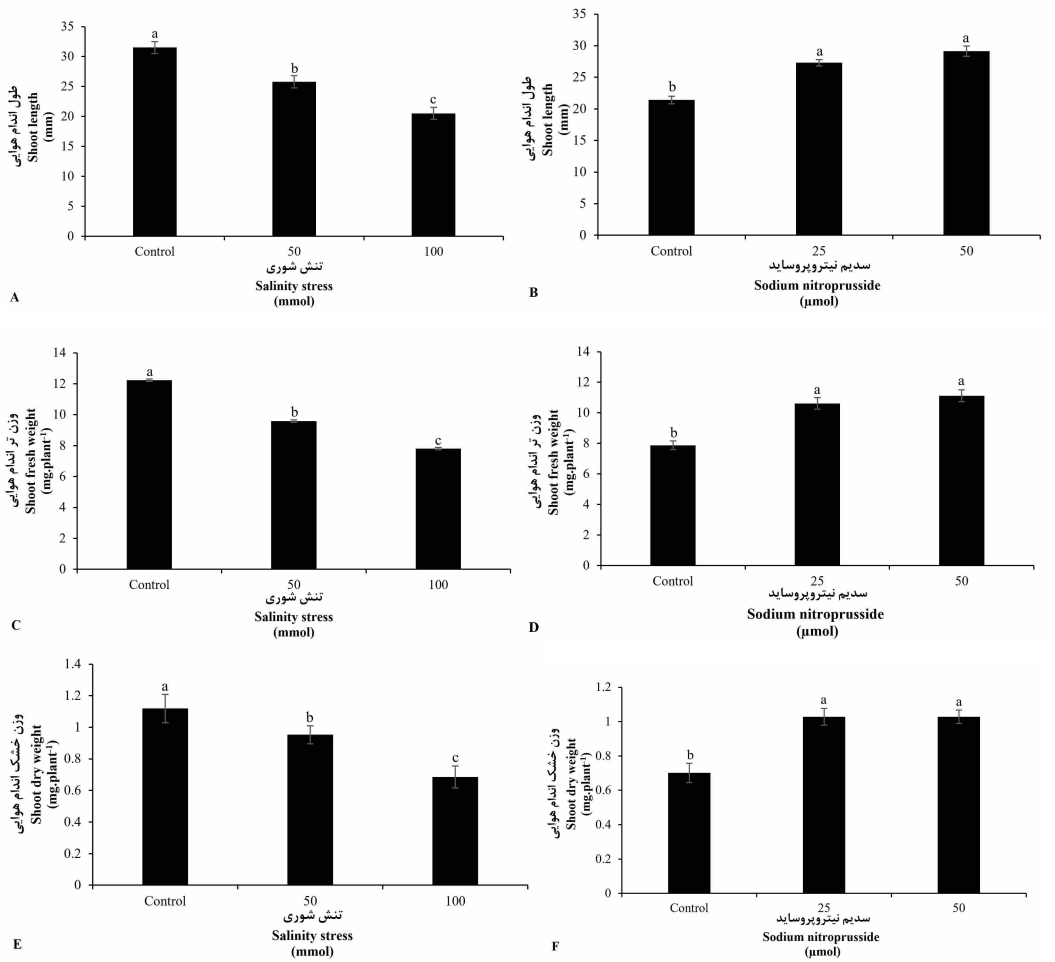
شکل ۳- اثر تنش شوری بر صفات طول ریشه‌چه (A)، وزن تر (C) و خشک (E) ریشه‌چه و اثر پیش تیمار سدیم نیتروپروساید بر صفات طول ریشه‌چه (B)، وزن تر (D) و خشک (F) ریشه‌چه در گیاهچه سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان-دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است).

Figure 3. Effect of salinity stress on traits of radicle length (A), radicle fresh(C) and dry (E) weight and effect of sodium nitroprusside pretreatment on radicle length (B), radicle fresh(D) and dry (F) weight of black cumin seedling (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level).

وزن تر اندام‌هوایی

شکل C-۴ مقایسه میانگین کاربرد تنش شوری بر وزن تر اندام هوایی گیاه دارویی سیاهدانه را نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح مشاهده گردید. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر اندام هوایی به‌ترتیب با میانگین ۱۲/۲۲ و ۷/۸۰ میلی‌گرم در گیاه در تیمار شاهد (آب مقطر) و تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) ملاحظه گردید. مقایسه میانگین صفت وزن تر اندام هوایی تحت کاربرد پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید در گیاه دارویی سیاهدانه نشان داد که با افزایش سطح این تیمار وزن تر اندام هوایی افزایش یافت، به‌نحوی‌که بیش‌ترین با میانگین ۱۱/۱۱ میلی‌گرم در تیمار ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و کم‌ترین با میانگین ۷/۸۸ میلی‌گرم در گیاه در تیمار شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) مشاهده شد (شکل D-۴).

سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی، طول و وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش شوری به‌طور معنی‌داری در ارقام کلزا کاهش یافت (Eslami *et al.*, 2009).



شکل ۴- اثر تنش شوری بر صفات طول اندام هوایی (A)، وزن تر (C) و خشک اندام هوایی (E) و اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر صفات طول اندام هوایی (B)، وزن تر (D) و خشک (F) اندام هوایی گیاهچه سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 4. Effect of salinity stress on traits of shoot length (A), shoot fresh(C) and dry (E) weight and effect of sodium nitroprusside pretreatment on shoot length (B), shoot fresh(D) and dry (F) weight of black cumin seedling (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

نیتریک اکسید یک مولکول فعال زیستی است که در بسیار از فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مانند رشد، جوانه‌زنی و افزایش میزان کلروفیل نقش دارد (Kopyra and Gwóz´dz, 2003). کاربرد سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری در گیاه باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، طول ساقه، وزن تر

ریشه و ساقه و وزن خشک ریشه و ساقه شد (Vaishnav *et al.*, 2013).

وزن خشک اندام‌هوایی

کاربرد تنش شدید شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) و تنش شوری متوسط (۵۰ میلی‌مولار) نسبت به شاهد (آب مقطر) به‌ترتیب باعث کاهش ۳۸/۸۰ و ۱۴/۸۲درصد وزن خشک اندام‌هوایی در گیاه سیاهدانه شد (شکل E-۴). کاربرد تیمارهای سدیم نیتروپروساید ۵۰ و ۲۵ میکرومولار نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) به‌ترتیب باعث افزایش ۴۶/۴۳ و ۴۶/۵۹ درصدی گردید (شکل F-۴).

با افزایش تنش شوری، درصد و سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه، شاخص بنیه بذر، طول ریشه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، طول اندام هوایی و وزن تر و خشک اندام هوایی در سیاهدانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Kabiri and Naghizadeh, 2015). کاربرد نیتریک‌اکسید باعث افزایش سنتز کلروفیل و فتوسنتز می‌گردد، هم‌چنین مانع از آسیب به تیلاکوئیدهای کلروپلاست و عملکرد روزنه‌ها در شرایط تنش می‌گردد (Neill *et al.*, 2008). کاهش سطح برگ و به‌دنبال آن کاهش جذب نور به‌عنوان عوامل محدودکننده رشد اندام هوایی طی تنش مطرح است، سدیم نیتروپروساید با جلوگیری از تخریب سبزینه، پیری برگ‌ها را به تاخیر انداخته و از طریق طولانی‌کردن دوره ساخت نور سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌شود (Neill *et al.*, 2008).

وزن خشک گیاهچه

مقایسه میانگین صفت وزن خشک گیاهچه تحت تاثیر تنش شوری نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه با میانگین ۱/۷۰ میلی‌گرم در گیاه در تیمار شاهد (آب مقطر) مشاهده شد و در مقابل کم‌ترین وزن خشک گیاهچه با میانگین ۱/۰۱ میلی‌گرم در گیاه در تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) مشاهده گردید (شکل A-۵). همان‌طور که در شکل B-۵ مشاهده گردید، کاربرد تیمار سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن خشک گیاهچه شد. بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه با میانگین‌های ۱/۵۲ و ۱/۵۰ میلی‌گرم در گیاه به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید و کم‌ترین با میانگین ۱/۰۵ میلی‌گرم در گیاه مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید) بود. تنش اسمزی ناشی از شوری سبب کاهش میزان آب سلول و کوچک‌شدن آن می‌شود و ادامه شرایط تنش سبب کاهش تقسیم و طویل‌شدن سلول و در نهایت کاهش اندازه نهایی زیست‌توده می‌گردد و در نتیجه میزان تولید مواد فتوسنتزی در واحد سطح کاهش می‌یابد (Lei *et al.*, 2007).

افزایش غلظت نمک در محیط جوانه‌زنی بذر سورگوم باعث کاهش وزن گیاهچه شد (Almodares *et al.*, 2007). نیتریک اکسید در شرایط تنش با تنظیم عملکرد خاصیت آنتی‌اکسیدانت در سلول‌ها باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن تولیدشده در کلروپلاست می‌گردد، هم‌چنین این هورمون مانع از هدررفتن مواد معدنی و نگهداری اسید آبسیزیک می‌شود که باعث تنظیم عمکرد روزنه و رشد و نمو گیاه در شرایط تنش می‌گردد (Ahmad *et al.*, 2020). کاربرد خارجی سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن خشک گیاهچه گیاه برنج گردید (Farooq *et al.*, 2009). کاربرد مثبت سدیم نیتروپروساید بر بیوماس برنج (Habib and Ashraf, 2014)، ذرت (Yildiztugay *et al.*, 2014) و گندم (Zheng *et al.*, 2009) تحت تنش شوری گزارش شد. کاربرد سدیم نیتروپروساید سدیم وزن خشک گیاهچه جو را به‌ترتیب ۱۵/۱۱ و ۱۴/۷۵ درصد تحت تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش داد (Sepehri and Karami, 2019).

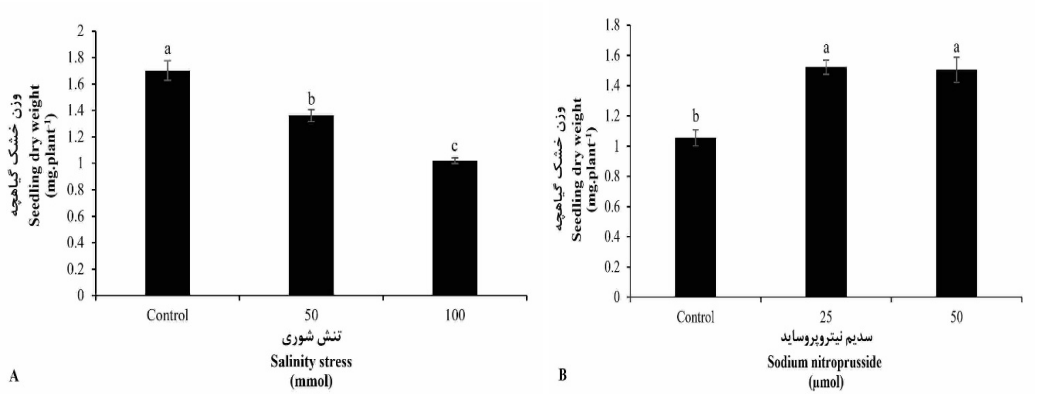
پرولین

همان‌طور که در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد، با افزایش سطح تنش شوری میزان تولید و تجمع پرولین افزایش یافت.کاربرد تیمار تنش شوری شدید (۱۰۰ میلی‌مولار) و تیمار تنش شوری متوسط (۵۰ میلی‌مولار) نسبت به شاهد (آب مقطر) به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰۹/۲۷ و ۶۳/۰۱ درصدی پرولین شدند. پرولین و قندهای محلول از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی موجود در سلول‌های گیاهی هستند که در تعادل متابولیسم‌های سلولی و حفظ ثبات نسبی محیط داخلی سلول‌ها تحت شرایط تنش‌های محیطی نقش دارد (Lei *et al.*, 2007).

محتوی نسبی آب

نتایج مقایسه میانگین صفت محتوی نسبی آب در شکل ۷ نشان داد که که پرایمینگ بذر با سدیم نیتروپروساید در عدم تنش و تنش شوری باعث افزایش

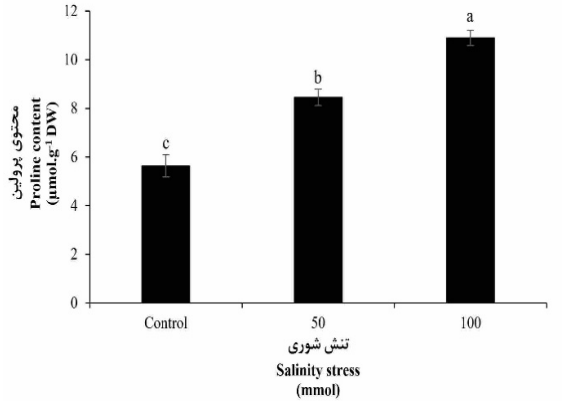
درصد محتوی نسبی آب برگ نسبت به عدم پرایمینگ بذر با سدیم نیتروپروساید شد، هر چند بین سطوح ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری و هر سه سطح ۰، ۲۵ و ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در عدم تنش (آب مقطر) اختلاف آماری وجود نداشت.



شکل ۵-اثر تنش شوری (A) و پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید (B) بر وزن خشک گیاهچه سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان-دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 5. Effect of salinity stress (A) and sodium nitroprusside pretreatment (B) on dry weight of black cumin seedling (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

تنش شوری باعث تجمع پرولین در گیاه شیرین بیان (*Glycyrrhiza uralensis*) (Zhang *et al.*, 2018)، گل گاو زبان ایرانی (*Echium amoenum*) (Ramezani *et al.*, 2011)، کلزا (*Brassica napus*) (Ahmadi *et al.*, 2018) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Farhangi-Abriz and Torabian, 2017) شد.



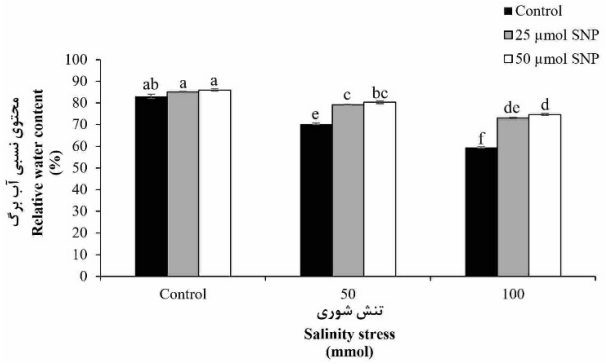
شکل ۶-اثر تنش شوری بر محتوی پرولین گیاهچه سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 6. Effect of salinity stress on proline content of *Nigella sativa* seedling (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

اثر متقابل ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید × شاهد (آب مقطر) نسبت به اثر متقابل عدم کاربرد سدیم نیتروپروساید × ۱۰۰ میلی‌مولار کلراید سدیم باعث افزایش ۲۶/۴۳ درصدی شد. تنش شوری باعث کاهش وزن تر گیاهچه و محتوی نسبی آب گیاه دارویی سیاهدانه شد (Golkar *et al.*, 2020).

مقدار نسبی آب برگ، شاخصی است که نشان‌دهنده مقدار آب موجود در اندام‌های گیاه یا شادابی آن است و کارایی یک گیاه در شرایط تنش را بیان می‌نماید، نیتریک اکسید باعث بسته‌شدن موقتی روزنه‌ها و افزایش انباشت پرولین می‌گردد و بدین طریق از کاهش مقدار نسبی آب برگ جلوگیری می‌نماید (Neill *et al.*, 2008). با تشدید تنش شوری در گیاه جو محتوی رطوبت نسبی آب برگ در هر دو وضعیت با سدیم نیترپروساید سدیم و بدون سدیم نیتروپروساید سدیم کاهش یافت اما در حضور سدیم نیتروپروساید سدیم کاهش محتوی رطوبت نسبی

آب برگ کم‌تر بود که با نتایج این آزمایش مطابقت نداشت (Sepehri and Karami, 2019).



شکل ۷- اثر پیش‌تیمار سدیم نیتروپروساید بر محتوی نسبی آب برگ گیاهچه سیاهدانه تحت شرایط تنش شوری (حروف غیرمشابه نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح پنج درصد است)

Figure 7. Effect of sodium nitroprusside (SNP) pretreatment on relative water content of *Nigella sativa* under salinity stress (Means with defferent letters are significantly based on LSD test at P≤0.05 level)

نتیجه‌گیری

با بررسی مولفه‌های جوانه‌زنی سیاهدانه تحت تنش شوری، به‌نظر می‌رسد جوانه‌زنی این گیاه نسبت به تنش حساس می‌باشد. اما پیش‌تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید، افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذر و توسعه گیاهچه تحت تنش شوری را به‌همراه داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط تنش شوری میزان تولید و تجمع پرولین که یک اسمولیت سازگار با تنش‌های غیرزیستی است، را افزایش داد. با افزایش پرولین و کاربرد سدیم نیتروپروساید، محتوی نسبی آب در هر دو شرایط عدم تنش و تنش شوری افزایش یافت. با افزایش محتوی نسبی آب برگ، شاخص‌های جوانه‌زنی نیز افزایش یافتند. بنابراین به‌نظر می‌رسد استفاده از این ترکیب به‌صورت پیش‌تیمار می‌تواند جایگزین مناسبی برای برخی از ترکیبات القاکننده جوانه‌زنی در غلظت‌های مناسب برای سیاهدانه باشد. جهت حصول نتیجه‌گیری بهتر پیشنهاد می‌شود تاثیر سدیم نیتروپروساید بر افزایش تحمل گیاه سیاهدانه به تنش شوری در سطح گلخانه و مزرعه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئول آزمایشگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان قدردانی می‌گردد

منابع

Abdul-baki, A.A. and Anderson, J.D. 1970. Viability and leaching of sugars from germinating barely. Crop Science, 10: 31-34. **(Journal)**

Ahmad, P., Alam, P., Balawi, T.H., Altalayan, F.H., Ahanger, M.A. and Ashraf, M. 2020. Sodium nitroprusside (SNP) improves tolerance to arsenic (As) toxicity in *Vicia faba* through the modifications of biochemical attributes, antioxidants, ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase cycle. Chemosphere, 244: 125480. **(Journal)**

Ahmadi, F.I., Karimi, K. and Struik, P.C. 2018. Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. South African Journal of Botany, 115: 5-11. **(Journal)**

Ali, Q., Daud, M.K., Haider, M.Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., Noman, A., Iqbal, N., Shahzad, F., Deeba, F., Ali, I. and Zhu, S.J. 2017. Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. Plant Physiology and Biochemistry, 119: 50-58. **(Journal)**

Almodares, A., Hadi, M.R. and Dosti, B. 2007. Effect of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. International Journal of Biological Sciences, 7: 1492-1495. **(Journal)**

Asadi-Sanam, S., Zavareh, M., Pirdashti, H., Mirjalili, M.H. and Hashempour, A. 2014. Effect of exogenous nitric oxide on germination and some of biochemical characteristics of purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.) in saline condition. Iranian Journal of Plant Biology, 6: 55-75. (In Persian)**(Journal)**

Balouchi, H., Yadavi, A. and Movahedi Dehnavi, M. 2012. Effect of Osmotic Stress on Seed Germination Indices of Nigella sativa and Silybum marianum. Journal of Crop and Weed Ecophysiology, 5(4):97-108. (In Persian)**(Journal)**

Bates, L.S. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207. **(Journal)**

Dadkhah, A. 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26: 358-369. (In Persian)**(Journal)**

Eslami, V., Behdani, M.A. and Ali, S. 2009. Effect of salinity on germination characteristics and early seedling growth of canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences, 1: 39-46. (In Persian)**(Journal)**

Fan, H.F., Du, C.X., Ding, L. and Xu, Y.L. 2013. Effects of nitric oxide on the germination of cucumber seeds and antioxidant enzymes under salinity stress. Acta Physiology Plantarum, 35: 2707-2719. **(Journal)**

Farhangi-Abriz, S. and Torabian, S. 2017. Antioxidant enzyme and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 137: 64-70. **(Journal)**

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A. and Rehman, H. 2009. Exogenously applied nitric oxide enhances the drought tolerance in fine grain aromatic rice. Journal of Agronomy and Crop Science, 195: 254-261. **(Journal)**

Fathi, A., Baradaran, M. and Amerian, M.R. 2018. The effect of nitric oxide on seed germination and activities of some antioxidant enzymes in sesame under salt stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5: 77-88. (In Persian)**(Journal)**

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H. and Van Genuchten, M.T. 2020. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Water Management, 231, 106022. **(Journal)**

Giba, Z., Grubisic, D., Todorovic, S., Sajc, L., Stojakovic, D. and Konjevic, R. 1998. Effect of nitric oxide releasing compounds on phytochromecontrolled germination of empress tree seeds. Plant Growth Regulators, 26: 175-181. **(Journal)**

Golkar, P., Bakhshi, G. and Vahabi, M.R. 2020. Phytochemical, biochemical, and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Nigella sativa* L. In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant, 56: 247-258. **(Journal)**

Goorgini Shabankareh, A. and Khorasani nejad, S. 2018. Effects of sodium nitroprusside on physiological, biochemical and essence characteristics of savory (*Satureja khuzestanica*) under deficit water regimes. Journal of Plant Production Research, 24: 56-70. (In Persian)**(Journal)**

Habib, N. and Ashraf, M. 2014. Effect of exogenously applied nitric oxide on water relations and ionic composition of rice (*Oryza sativa* L.) plants under salt stress. Pakistan Journal of Botany, 46: 111-116. **(Journal)**

He, J., Ren, Y., Chen, X. and Chen, H. 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 108: 114-119. **(Journal)**

Hesami, M., Tohidfar, M., Alizadeh, M. and Daneshvar, M.H. 2020. Effects of sodium nitroprusside on callus browning of Ficus religiosa: an important medicinal plant. Journal of Forestry Research, 31(3):789-796. **(Journal)**

Jalilzadehkhooei, A. and Jabarzadeh, Z. 2017. Effect of nitric oxide application on germination of *Poa pratensis* under salinity stress. The first International Conference and the 10th National Congress of Horticultural Sciences of Iran, 13-16 September, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Pp: 98. (In Persian)**(Conference)**

Javadi, H., Seghatol Eslami, M.J. and Moosavi, Gh.R. 2014. Effect of salinity on seed germination and seedling growth of four medicinal plant species. Iranian Journal of Field Crops Research, 12: 53-64. (In Persian)**(Journal)**

Kabiri, R. and Naghizadeh, M. 2015. Study the effects of Salicylic acid pretreatment on germination and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 1: 61-72. (In Persian)**(Journal)**

Karami, A. and Sepehri, A. 2018. Effect of nano titanium dioxide and sodium nitroprusside on seed germination, vigor index and antioxidant enzymes of Afzal barley seedling under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5: 47-61. (In Persian)**(Journal)**

Karthik, S., Pavan, G., Krishnan, V., Sathish, S. and Manickavasagam, M. 2019. Sodium nitroprusside enhances regeneration and alleviates salinity stress in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 19:101173. **(Journal)**

Kataria, S., Baghel, L. and Guruprasad, K.N., 2017. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. Biocatalysis Agric. Biotechnol, 10: 83–90**. (Journal)**

Kaya, M.D. and Day, S. 2008. Relationship between seed size and NaCl on germination, seed vigor and early seedling growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). African Journal of Agricultural Research, 3: 787-791. **(Journal)**

Khammari, I., Sarani, Sh.A. and Dahmardeh, M. 2007. The effect of salinity on seed germination and growth in six medicinal plants. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 23: 331-339. (In Persian)**(Journal)**

Kopyra, M. and Gwózdz, E.A. 2003. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*. Plant Physiology and Biochemistry, 41:1011-1017. **(Journal)**

Lei, Y., Yin, C., Ren, J. and Li, C. 2007. Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings. Biologia Plantarum, 516: 386-390. **(Journal)**

Li, Q.Y., Niu, H.B., Yin, J., Wang, M.B., Shao, H.B., Deng, D.Z., Chen, X.X., Ren, J.P. and Li, Y.C. 2008. Protective role of exogenous nitric oxide against oxidative stress induced by salt stress in barley (*Hordeum vulgare*). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 56: 220-225. **(Journal)**

Li, Z., Pei, X., Yin, S., Lang, X., Zhao, X. and Qu, G.Z. 2019. Plant hormone treatments to alleviate the effects of salt stress on germination of Betula platyphylla seeds. Journal of Research in Medical Sciences, 30 (3):779–787. **(Journal)**

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2: 176-177. **(Journal)**

Migahid, M.M., Elghobashy, R.M., Bidak, L.M. and Amin, A.W. 2019. Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H_2O_2 and magnetic field ameliorates seawater stress. Heliyon, 5 (6): e01886. **(Journal)**

Nabaei, M. and Amooaghaie, R. 2019. Interactive effect of melatonin and sodium nitroprusside on seed germination and seedling growth of Catharanthus roseus under cadmium stress. Russian Journal of Plant Physiology, 66(1):128-139. **(Journal)**

Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrison, J., Morris, P., Ribeiro, D. and Wilson, I. 2008. Nitricoxide, stomatal closure, and abiotic stress. Journal of Experimental Botany, 59:165-176. **(Journal)**

Papastylianou, P., Bakogianni, N.N., Travlos, I. and Roussis, I. 2018. Sensitivity of seed germination to salt stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 46: 202-205. **(Journal)**

Pirasteh-Anosheh, H. and Emam, Y. 2019. The role of plant growth regulators in enhancing crop yield under saline conditions: from theory to practice. Iranian Journal of Crop Sciences, 21: 188-209. (In Persian)**(Journal)**

Qu, X.X., Huang, Z.Y., Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2008. Effect of temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the geographically widespread holophyte shrub *Halocnemum strobilaceum*. Annals of Botany, 101: 293- 299. **(Journal)**

Rahimi, A., Shamsodin Saeed, M. and Etemadi, F. 2011. Effects of salt stress on germination, growth and ion contents of Cumin (*Nigella sativa* L.). Arid Biom Scientific and Research Journal, 1(2): 21-29. (In Persian)**(Journal).**

Raissi, M.A., Asrar, Z. and Pourseyedi, Sh. 2010. Interaction of sodium nitroprusside and copper on some growth and physiologic parameters of garden cress (*Lepidium sativum* L.). Iranian Journal of Plant Biology, 1: 55-76. (In Persian)**(Journal)**

Ramezani, E., Ghajar-Sepanlou, M. and Ali Naghdi Badi, H. 2011. The effect of salinity on the growth, morphology and physiology of *Echium amoenum* Fisch. and Mey. African Journal of Biotechnology, 10: 8765-8773. **(Journal)**

Ren, Y., He, J., Liu, H., Liu, G. and Ren, X. 2017. Nitric oxide alleviates deterioration and preserves antioxidant properties in 'Tainong' mango fruit during ripening. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 58: 27-37. **(Journal)**

Rezapour, R., Ganjali, A. and Abrishamchi P. 2019. Study of sodium nitroprusside (SNP) and salt stress interaction on some traits of canola plant (*Brassica napus* L.cv. Modena). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32: 319-331. (In Persian)**(Journal)**

Ruan, H.H., Shen, W.B. and Xu, L.L. 2004. Nitric oxide modulates the activities of plasma membrane ATPase and PPase in wheat seedling roots and promotes the salt tolerance against salt stress. Acta Botanica Sinica, 46: 415-422. **(Journal)**

Saddiq, M.S., Iqbal, S., Afzal, I., Ibrahim, A.M.H., Bakhtavar, M.A., Hafeez, M.B., Maqbool, J. and Maqbool, M.M. 2019. Mitigation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings through physiological seed enhancements. Journal of Plant Nutrition, 42(10): 1-13. **(Journal)**

Safarnejad, A., Ali Sadr S.V. and Hamidi H. 2007. Effect of salinity stress on morphological characters of *Nigella sativa*. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research, 15: 75-84. (In Persian)**(Journal)**

Sarropoulou, V. and Maloupa, E. 2017. Effect of the NO donor "sodium nitroprusside" (SNP), the ethylene inhibitor "cobalt chloride" (CoCl 2) and the antioxidant vitamin E "α-tocopherol" on in vitro shoot proliferation of Sideritis raeseri Boiss. & Heldr. subsp. raeseri. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC),128(3): 619-629. **(Journal)**

Seghatol Eslami, M.J. 2010. Effect of salt stress on germination of *Satureja hortensis* L., *Cichorium intybus* L. and *Cynara scolymus* L. Iranian Journal of Field Crops Research, 8: 818-823. (In Persian)**(Journal)**

Sepehri, A. and Karami, A. 2019. Effect of MWCNT and sodium nitroprusside on growth and physiological characteristics of barley seedlings under salinity stress. 2nd international and 6th national confrence on organic va. conventional agriculture, 13-16 September, University of Mohaghegh Ardabili, pp: 22. (In Persian)**(Conference)**

Silveira, N.M., Frungillo, L., Marcos, F.C.C., Pelegrino, M.T., Miranda, M.T., Seabra, A.B., Salgado, I., Machado, E.C. and Ribeiro, R.V. 2016. Exogenous nitric oxide improves sugarcane growth and photosynthesis under water deficit. Planta, 244: 181-190. **(Journal)**

Song, L.L., Yue, L.L., Zhao, H.Q. and Hou, M.F. 2013. Protection effect of nitric oxide on photosynthesis in rice under heat stress. Acta Physiology Plantarum, 35: 3323-3333. **(Journal)**

Subramanyam, K., Laing, G.D. and Van Damme, E.J.M. 2019. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. Frontiers in Plant Science, 10: 1-17. **(Journal)**

Taie, H.A.A., Abdelhamid, M.T., Dawood, M.G. and Nassar, R.M.A. 2013. Pre-sowing seed treatment with proline improves some physiological, biochemical and anatomical attributes of faba bean plants under sea water. Journal of Applied Sciences Research, 9(4): 2853–2867. **(Journal)**

Tian, X. and Lei, Y. 2006. Nitric oxide treatment alleviates drought stress in wheat seedlings. Plant Biology, 50(4): 775-778. **(Journal)**

Uchida, A., Jagendorf, A.T., Hibino, T., Takabe, T. and Takabe, T. 2002. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. Plant Science, 163: 515-523. **(Journal)**

Vaishnav, A., Jain, S., Kasotia, A., Kumari, S., Gaur, R.K. and Choudhary, D.K. 2013. Effect of nitric oxide signaling in bacterial-treated soybean plant under salt stress. Archives of microbiology, 195: 571-577. **(Journal)**

Wheutherley, P.E. 1950. Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist, 49: 81-87. **(Journal)**

Yan, F., Liu, Y., Sheng, H., Wang, Y., Kang, H. and Zeng, J. 2016. Salicylic acid and nitric oxide increase photosynthesis and antioxidant defense in wheat under UV-B stress. Biologia Plantarum, 60: 686-69. **(Journal)**

Yildiztugay, E., Ozfidan-Konakci, C. and Kucukoduk, M. 2014. Exogenous nitric oxide (as sodium nitroprusside) ameliorates polyethylene glycol-induced osmotic stress in hydroponically grown maize roots. Journal of Plant Growth Regulation, 33: 683-696. **(Journal)**

Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P. and Wu, F. 2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. Agronomy, 10: 127. **(Journal)**

Zehtab-Samasi, S. 2008. The influence salinity and seed pre-treatment on the germination of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Agronomy Research, 2: 28-30. **(Journal)**

Zhang, W., Yu, X., Li, M., Lang, D., Zhang, X. and Xie, Z. 2018. Silicon promotes growth and root yield of *Glycyrrhiza uralensis* under salt and drought stresses through enhancing osmotic adjustment and regulating antioxidant metabolism. Crop Protection, 107: 1-11. **(Journal)**

Zhang, Y., Wang, L., Liu, Y., Zhang, Q., Wei, Q. and Zhang, W. 2006. Nitric oxide enhances alt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na^+/H^+ antiport in the tonoplast. Planta, 224(3): 545-555. **(Journal)**

Zheng, C., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., Liu, W., Jing, Q. and Cao, W. 2009. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity. Environmental and Experimental Botany, 67: 222-227. **(Journal)**

Effect of sodium nitroprusside pretreatment on germination improvement and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress

Rozita Kabiri[1*], Mehdi Naghizadeh[2], Maryam Delfani[3]

Received: November 28, 2020 Accepted: March 1, 2021

Abstract

To evaluate the effect of sodium nitroprusside on some physiological and germination indices of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress, an experiment was conducted in a factorial arrangement based on completely randomized design with three replications at research laboratory of Agricultural Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman. Treatments included sodium nitroprusside at three levels (0, 50 and 100 µmol) as the first factor and three levels of salinity stress (0, 50 and 100 mmol) as the second factor. The results showed that increasing salinity stress caused the reduction of all traits of germination index (germination percentage and rate, seed vigor index, root and shoot length, fresh and dry weight of root, stem and seedling and leaf relative water content), while 100 µmol salinity level caused an increasing of 52.2% in proline content as compared to control. Application of sodium nitroprusside increased all traits (except proline, which had no significant effect on this trait). Seeds which were primed with 100 µmol sodium nitroprusside caused an increment of 54.2, 47.7, 63.6, 20.2 % in germination rate and percentage, seed vigor index and relative water content compared with non-treated seeds at the highest level of salinity stress, respectively. Finally, the application of this plant growth regulator in this experiment enhanced germination indices and relative water content of black cumin seedling.

Keywords: Nitric oxide, Oxidative damage, Proline, Seedling growth

How to cite this article

Kabiri, R., Naghizadeh, M. and Delfani, M. 2021. Effect of sodium nitroprusside pretreatment on germination improvement and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. Iranian Journal of Seed Science and Research, 8(2): 177-194. (In Persian)(**Journal)**

DOI: 10.22124/jms.2021.5219

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit http://jms.guilan.ac.ir/

1. Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. Rozita.Kabiri@gmail.com

2. Assistant Professor of Plant Productions Department, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. naghizadeh@uk.ac.ir

3. PhD graduated in Agriculture - Crop Physiology, Ilam University. Ilam. Iran. maryam_delfani@yahoo.com

*Corresponding author: Rozita.Kabiri@gmail.com