

Effects of nitric oxide on some physicochemical characteristics of NaCl salinity stress tolerance in Pyrodwarf and OHF69 pear rootstocks

Mehri Yousefi¹, Lotfali Naser^{2*}, Fariborz Zaare-Nahandi³

1- Ph.D Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
pnumehryousefi@gmail.com

2- Corresponding Author, Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
l.naseri@urmia.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
fzaare@gmail.com

Received Date: 2021/08/13

Accepted Date: 2021/11/27

Abstract

Introduction: Salinity is a significant restriction for the cultivation of horticultural crops. Pear trees are generally classified as salt-sensitive. Nitric oxide (NO) is an endogenous signaling molecule that plays a crucial role in various physiological processes, including salinity stress. Variations in endogenous NO levels and or exogenous NO application has shown to regulate abiotic stress resistance suggesting that this approach may contribute in enhancing crop production under stress conditions. In this research, the effects of NO treatment on some parameters NaCl stress tolerance were investigated in Pyrodwarf and OHF69 pear (*Pyrus communis*) rootstocks in order to evaluate the tolerance of Pyrodwarf and OHF69 pear rootstocks under NaCl stress.

Material and methods: The experiment was conducted in the research greenhouse of University of Tabriz in 2018. The experiment was factorial based on a completely randomized design with three replications. Sodium nitroprusside as a NO donor (0, 0.1, 0.5 and 1 mM) was applied to pear rootstocks under NaCl stress (0, 50, 100 and 150 mM) through the root system. NO treatments were applied at four levels along with nutrient solution through the root with the interval of 2 weeks. At the end of the experiment, the parameters of the height increment, relative water content (RWC), malondialdehyde content, proline, H₂O₂ and the concentration of Na⁺ and K⁺ of the leaves were evaluated. Data analysis was done using SPSS, version 22, and mean comparison was performed using the Duncan test at a 5% level.

Results and discussion: The NO application significantly increased height of pear rootstocks, RWC and proline of leaves, and decreased malondialdehyde, H₂O₂ content of leaves both OHF69 and Pyrodwarf rootstocks exposed to NaCl stress. These results are in agreement with previous studies in citrus (Tanou et al., 2012) and apple (Aras et al., 2020). NO-treated plants showed a higher amount in both K⁺ concentration and K⁺/Na⁺ ratio and lower Na⁺ concentration. It is important to maintain the balance of nutrients in plant growth under salinity, and SNP treatment reduced the concentration of Na⁺ in plants exposed to salinity stress in citrus (Khoshbakht et al., 2018) and strawberry (Kaya et al., 2019). OHF69 rootstocks had higher amounts in relative water content, proline and K⁺/Na⁺ ratio than pyrodwarf rootstocks, and also showed lower content of H₂O₂ and Na⁺ concentration. The results of this experiment indicate that 1mM NO application mitigated the damages of NaCl stress. Moreover, OHF69 rootstocks at all salinity levels of NaCl indicated a higher relative tolerance compared to Pyrodwarf.

Conclusions: According to the results, NO application mitigated the negative effects of NaCl stress. Also, it is considerable that treated plants with 1 mM SNP under 50 mM NaCl stress had no significant difference compared to the control plants, which can be considered to stress tolerance under short-term salinity condition, and OHF69 rootstocks at all salinity levels of NaCl showed a higher relative tolerance compared to Pyrodwarf.

Keywords: H₂O₂, proline, pear rootstock, sodium nitroprusside, stress.

اثرات نیتریک اکسید بر برخی ویژگی‌های فیزیوشیمیایی تحمل به تنش شوری کلرید سدیم در دو پایه گلابی Pyrodwarf و OHF69

مهری یوسفی^۱، لطفعلی ناصری^{۲*}، فریرز زارع نهندی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

pnumehryousefi@gmail.com

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

l.naseri@urmia.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

fzaare@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۲

چکیده

نیتریک اکسید مولکول پیام‌رسان گازی در گیاهان است که در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله در تنش‌های غیر زیستی نقش مهمی دارد. در این مطالعه، پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf در محلول غذایی رشد داده شدند و آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد تا اثرات سدیم نیتروپروساید به عنوان رها کننده نیتریک اکسید در چهار سطح (صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار) بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و غلظت عناصر سدیم و پتاسیم تحت تنش شوری کلرید سدیم در چهار سطح (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) و نیز مقایسه تحمل تنش دو پایه مورد ارزیابی قرار گیرد. اعمال تیمار نیتریک اکسید در هر دو پایه در معرض تنش کلرید سدیم، به طور معنی داری رشد ارتفاع پایه‌های گلابی، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان را افزایش داد. همچنین، محتوای مالون دی آلدئید، H_2O_2 و غلظت سدیم در برگ‌ها کاهش یافت. پایه‌های OHF69 در مقایسه با پایه‌های Pyrodwarf محتوای نسبی آب برگ، پرولین و نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری داشتند و همچنین محتوای مالون دی آلدئید، H_2O_2 و غلظت سدیم کمتری را نشان دادند. نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار نیتریک اکسید آسیب‌های ناشی از تنش شوری کلرید سدیم را با بهبود پارامترهای رشدی و فیزیولوژیکی کاهش داد و با ایجاد تعادل در نسبت پتاسیم به سدیم، منجر به افزایش تحمل پایه‌های گلابی تحت تنش شوری گردید. همچنین پایه‌های OHF69 در تمامی سطوح تیمار شوری کلرید سدیم، ظرفیت تحمل نسبی بیشتری در مقایسه با پایه‌های Pyrodwarf از خود نشان دادند.

کلمات کلیدی: تنش، پرولین، H_2O_2 ، سدیم نیتروپروساید، پایه گلابی.

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاه است. درختان میوه مناطق معتدله از گیاهان حساس به شوری هستند (Fu et al., 2013). گیاهان در معرض تنش شوری به علت غلظت‌های زیاد نمک و تنش اسمزی، با کمبود آب مواجه می‌شوند و به علت سمیت یونی ناشی از تجمع بالای سدیم و کلر در بافت‌های گیاه، منجر به عدم تعادل غذایی در سلول‌های گیاه می‌گردد (Liang et al., 2018). گیاهان نه تنها در سرعت جذب عناصر غذایی بلکه در شیوه توزیع عناصر غذایی درون گیاه نیز باهم متفاوت هستند. دسترسی عناصر غذایی، جذب و توزیع آن‌ها در داخل بافت گیاهی تحت شرایط تنش می‌تواند منجر به کاهش رشد گیاه شود (Hasanuzzaman et al., 2013). ترکیبات یونی و اسمزی تنش شوری، مشابه دیگر تنش‌های غیر زیستی، منجر به تنش اکسیداتیو از طریق افزایش در تولید انواع گونه‌های اکسیژن فعال و ناتوانی گیاه در مهار آن می‌گردد که در نهایت رشد و عملکرد گیاه را به علت اثرات منفی روی تعادل یونی و روابط آبی متأثر می‌سازد (Liang et al., 2018).

درختان گلابی به‌عنوان گیاهان حساس به شوری به شمار می‌آیند (Wang et al., 2015). تحمل نسبی گیاه به تنش شوری می‌تواند با انتخاب مناسب پایه‌ها افزایش یابد (Amiri and Eshghi, 2015). پایه‌های Pyrodwarf و OHF69 متعلق به جنس *Pyrus communis* از پایه‌های گلابی اروپایی هستند. پایه‌های گلابی Pyrodwarf به دلیل قدرت پاکوتاه کنندگی مورد توجه است و پایه‌های گلابی OHF69 نیز دارای ویژگی‌های مطلوب زیادی هستند که از لحاظ تحمل به شرایط شوری مطالعات اندکی روی آن‌ها صورت گرفته است (Abdollahi, 2011).

در سلول‌های گیاهی، نیتریک‌اکسید در واکنش به بسیاری از تنش‌های غیر زیستی مانند شوری درگیر است. شواهد نشان می‌دهد که کاربرد خارجی رها کننده نیتریک‌اکسید مانند سدیم نیتروپروساید، می‌تواند رشد و

نمو گیاهان را در مقابل تنش شوری به‌وسیله بهبود رشد، محافظت از آسیب اکسیداتیو، بهبود تعادل یونی و افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فراهم نماید. نیتریک‌اکسید می‌تواند اثراتش را از طریق تنظیم تولید گونه‌های اکسیژن فعال یا تعدیل ترکیبات سیستم آنتی‌اکسیدانی نشان دهد (Fancy et al., 2017). اعمال تیمار نیتریک‌اکسید در درختان سیب با تاثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی منجر به افزایش تحمل گیاهان تحت تنش شوری گردید (Aras et al., 2020). کاربرد نیتریک‌اکسید تحمل به شوری را به وسیله القاء فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مرکبات (*Citrus aurantium*) (Tanou et al., 2012) و بهبود تعادل تغذیه‌ای و پارامترهای رشدی در مرکبات (Khoshbakht et al., 2018) افزایش داد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر نیتریک‌اکسید بر برخی واکنش‌های فیزیولوژیکی دو رقم Pyrodwarf و OHF69 پایه‌های گلابی، تحت شرایط تنش شوری کلرید سدیم و بررسی تأثیر نیتریک‌اکسید بر سازگاری فیزیولوژیکی دو پایه گلابی تحت تنش شوری بود. در این پژوهش تیمار سدیم نیتروپروساید به‌عنوان رها کننده نیتریک‌اکسید از طریق سیستم ریشه‌ای پایه‌های گلابی اروپایی (*P. communis*) دو رقم Pyrodwarf و OHF69 در شرایط تنش شوری کلرید سدیم، استفاده و اعمال شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان در سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. پایه‌های حاصل از تکثیر ریزازدیادی OHF69 و Pyrodwarf هر کدام به یک گلدان پلاستیکی محتوی محیط کشت پرلیت و ورمیکولیت به نسبت حجمی (۱:۱) تحت شرایط سیستم گلخانه هیدروپونیک انتقال داده شد. بعد از حدود سه ماه رشد رویشی به اندازه ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر ارتفاع گیاهان و گسترش سیستم ریشه‌ای پایه‌های گلابی در گلدان، گیاهان آماده اعمال تیمار شدند. طرح آزمایشی مورد استفاده، به‌صورت

(1973) انجام شد. بدین منظور، پودر منجمد شده برگ در میکروتیوب، با محلول آبی اسید سولفوسالیسیلیک هموزن گردید و بعد از سانتیفریژ، به آن معرف نین هیدرین و اسید استیک گلاسیال افزوده و میکروتیوب‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم قرار داده شدند. در انتها جذب نور توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Spectronic 20D) در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید. برای سنجش محتوای H_2O_2 ، بعد از ساییدن نمونه برگی با نیتروژن مایع، با هیدروکسیل آمین و بافر فسفات پتاسیم (pH=۶/۵) در حمام یخ مخلوط گردید و سانتیفریژ شد. سپس ۱۰۰ میکرومولار از عصاره با ۱۰۰ میکرومولار سولفات آمونیوم فریک، ۲۵ میلی‌مولار اسیدسولفوریک، ۲۵۰ میکرومولار زایلنول نارنجی و ۱۰۰ میلی‌مولار سوربیتول در حجم کل دو میلی‌لیتر افزوده شد. بعد از ۳۰ دقیقه میزان جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت گردید (Gay et al., 1999). به منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی سدیم و پتاسیم، در پایان آزمایش نمونه‌های خشک شده و پودر شده برگی با اسید نیتریک عصاره‌گیری شدند. عناصر سدیم و پتاسیم به روش نشر شعله آبی توسط دستگاه فلیم فتومتر (Flame photometer, 410 اندازه‌گیری شد (Waling et al., 1989). تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع پایه‌های گلابی، محتوای نسبی آب برگ، مالون دی آلدئید، پرولین و H_2O_2

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای شوری کلریدسدیم، نیتریک اکسید و پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf تفاوت معنی‌داری را در محتوای نسبی آب برگ، مالون دی آلدئید، پرولین و H_2O_2 نشان دادند (جدول ۱).

فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. فاکتور اول دو نوع پایه گلابی OHF69 و Pyrodwarf، فاکتور دوم شوری در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم و فاکتور سوم تیمارهای نیتریک‌اکسید که از سدیم‌نیتروپروساید (آزادکننده نیتریک‌اکسید) در چهار سطح ۰، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار همراه با محلول غذایی هوگلند استفاده شدند. مرحله اول تیمار نیتریک‌اکسید حدود دو ماه بعد از استقرار گیاهان در گلدان، ۴۸ ساعت قبل از اعمال تیمار شوری کلریدسدیم و مراحل بعد با فاصله دو هفته‌ای در سه مرحله اعمال شدند. تیمارهای شوری کلریدسدیم همراه با محلول غذایی اعمال شدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع پایه‌های گلابی، ارتفاع گیاهان داخل گلدان قبل از اعمال تیمارها در شروع آزمایش و نیز پس از خاتمه اعمال تیمارها در پایان آزمایش در گلخانه اندازه‌گیری شدند و اختلاف ارتفاع به صورت افزایش ارتفاع پایه‌های گلابی بیان شد. برداشت نمونه‌های گیاهی به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در هفته هفتم بعد از اعمال شوری انجام گرفت. محتوای نسبی آب برگ بر اساس روش Repellin و همکاران (1997) اندازه‌گیری شد. بدین منظور وزن تر (FW) دیسک‌های برگ اندازه‌گیری شد، سپس وزن آنها در حالت تورم کامل (TW) به دست آمد. وزن خشک دیسک‌ها (DW) پس از قرار دادن آنها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد و در نهایت محتوای نسبی آب برگ، بر اساس رابطه $RWC = [(FW-DW)/(TW-DW)] \times 100$ به دست آمد. سنجش پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء با اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید (MDA) به‌عنوان فرآورده نهایی پراکسیداسیون لیپیدی انجام شد (Heath and Packer, 1968) و در نهایت کمپلکس رنگی حاصل از واکنش مالون دی آلدئید و اسید تیوباریبوتیک، به‌وسیله اسپکتروفوتومتر در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. اندازه‌گیری میزان پرولین آزاد برگ، بر اساس روش Bates و همکاران

جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر سطوح مختلف شوری کلرید سدیم و تیمار سدیم نیتروپروساید بر ارتفاع و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و عناصر سدیم و پتاسیم برگ‌ها

Table 1- Analysis of variance the effect of different levels of NaCl and SNP treatment on height increment and some physiological characteristics and Na⁺ and K⁺ of leaves

Average of squares									
S.O.V	DF	Height increment	RWC	MDA	Proline	H ₂ O ₂	Na	K	K/Na
Rootstock	1	525.00**	240.45**	47.35**	89.71**	0.06**	15.93**	7.04**	46.48**
NaCl	3	1207.80**	2306.16**	44.61**	916.04**	0.42**	135.10**	38.09**	171.74**
NO	3	199.04**	425.29**	14.11**	65.95**	0.02**	8.12**	9.52**	10.08**
Rootstock×NaCl	3	37.43*	30.76*	0.36**	1.96*	0.00*	1.06*	0.10 ^{ns}	13.74**
Rootstock×SNP	3	1.28 ^{ns}	6.58 ^{ns}	0.11**	0.13 ^{ns}	0.01**	0.12 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.80 ^{ns}
NaCl×NO	9	1.38 ^{ns}	42.33**	0.11**	1.68**	0.00 ^{ns}	0.66*	0.40 ^{ns}	1.30 ^{ns}
Rootstock×NaCl×NO9		2.47 ^{ns}	8.22 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.20 ^{ns}
Error	64	9.29	9.50	0.00	0.52	0.00	0.32	0.40	0.95
CV.(%)		20.36	4.49	0.58	3.57	1.57	12.63	5.67	26.65

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪
ns, * and ** are non-significant, significant at 5% and 1%

آسیب‌پذیری بیشتر پایه‌های Pyrodwarf در مقایسه با پایه‌های OHF69 تحت تنش شوری می‌باشد. کاربرد نیتریک‌اکسید در پایه‌های سبب (Aras et al., 2020) و مرکبات (Khoshbakht et al. 2018) منجر به افزایش طول شاخساره گیاهان تحت تنش شوری گردید (Aras et al., 2020). در تحقیق حاضر، تیمار نیتریک‌اکسید در غلظت یک میلی مولار، کاهش رشد پایه‌های گلابی را به خصوص در غلظت‌های شوری کلرید سدیم ۵۰ میلی مولار تا حدودی جبران نمود بطوریکه تفاوت معنی داری با گیاهان شاهد نشان ندادند (شکل ۱).

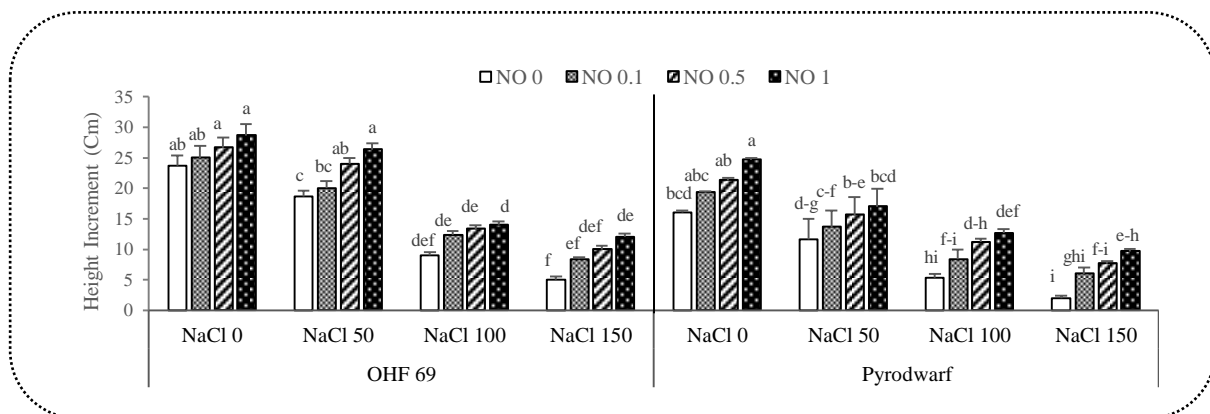
با افزایش سطوح شوری، محتوای نسبی آب برگ در پایه‌های گلابی کاهش یافت. تیمار نیتریک‌اکسید منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ‌ها گردید (شکل ۲). با افزایش سطح نیتریک‌اکسید محتوای نسبی آب برگ تحت تنش افزایش یافت، و اعمال نیتریک‌اکسید در غلظت یک میلی مولار در گیاهان تیمار شوری ۵۰ میلی مولار تفاوت معنی داری را با گیاهان شاهد نشان ندادند. محتوای نسبی آب برگ به طور معنی داری در پایه‌های OHF69 بیشتر از پایه‌های پیرووراف بود (شکل ۲)

تنش کلرید سدیم، رشد ارتفاع پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf را کاهش داد. ارتفاع پایه‌های OHF69 در همه تیمارها در مقایسه با پایه‌های Pyrodwarf بیشتر بود (شکل ۱). کاربرد نیتریک‌اکسید از طریق سیستم ریشه‌ای به طور معنی داری رشد پایه‌های گلابی را در مقایسه با گیاهان بدون تیمار نیتریک‌اکسید در هر دو پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf افزایش داد و با افزایش غلظت نیتریک‌اکسید میزان رشد و ارتفاع پایه‌های گلابی در هر دو پایه بیشتر شد (شکل ۱).

در تحقیقات گذشته، پایه‌های گلابی آسیایی *Pyrus betulifolia* تحت تنش کلرید سدیم در مقایسه با پایه‌های گلابی *P. pyrifolia* تحمل تنش بیشتری نشان دادند (Tamura, 2012). پایه‌های گلابی درگزی (*P. communis*) سطوح پایین شوری را برای دوره کوتاه تا حدودی متحمل بودند (Zafari et al., 2018). همچنین Mirabdulbaghi (2017) نشان داد که ارقام گلابی پیوند شده روی پایه‌های گلابی OHF69 تا سطوح شوری چهار دسی زیمنس بر متر کاهش رشد شاخساره نشان ندادند، روی پایه‌های Pyrodwarf، ارتفاع شاخساره کاهش یافت که نشان‌دهنده

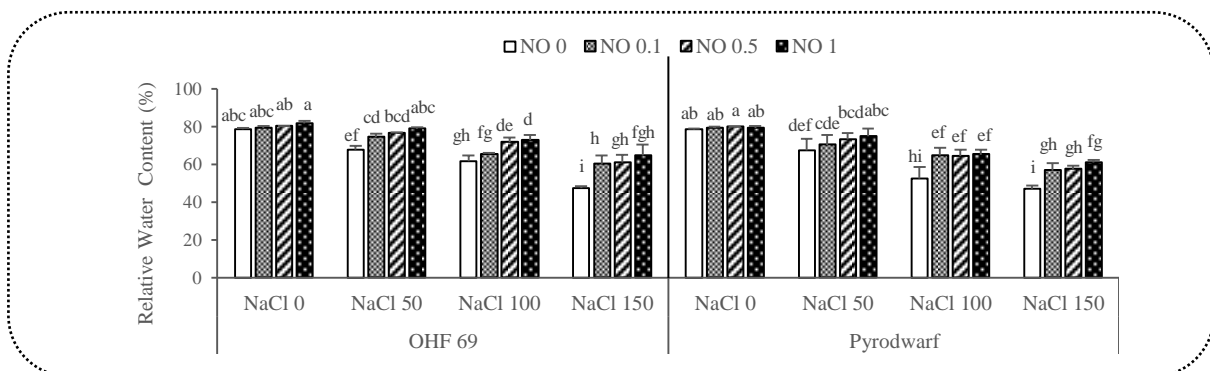
افزایش داد (Khoshbakht et al., 2018). محتوای نسبی آب برگ در پایه‌های سیب تحت تنش شوری کاهش یافت و اعمال تیمار نیتریک‌اکسید در این پایه‌ها محتوای نسبی آب برگ را افزایش داد (Aras et al., 2020). تیمار نیتریک‌اکسید با تأثیر بر جذب عناصر غذایی (Hayat et al., 2013) و القای انباشت پرولین (Ahmad et al., 2016) منجر به کاهش پتانسیل آب سلول‌ها، جذب آب بیشتر و در نتیجه افزایش محتوای نسبی آب برگ در گیاه می‌شود.

کاهش محتوای نسبی آب، ناشی از تنش و دهیدراسیون در سطح سلولی است و دلیل آن کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه و کاهش توان گیاه در جذب آب می‌باشد (Liu et al., 2013). توانایی حفظ آب نسبی در شرایط شوری بیانگر استحکام دیواره سلولی و تحمل گیاه در برابر آسیب‌های ناشی از تنش است (Ahmad et al., 2016). اعمال تیمار سدیم نیتروپروساید در پایه‌های مرکبات تحت تنش شوری منجر به افزایش محتوای نسبی آب برگ گردید و تحمل درختان مرکبات تحت تنش شوری را



شکل ۱- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر ارتفاع پایه‌های گلایی تحت تنش کلریدسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 1. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the height increment of pear rootstocks under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).



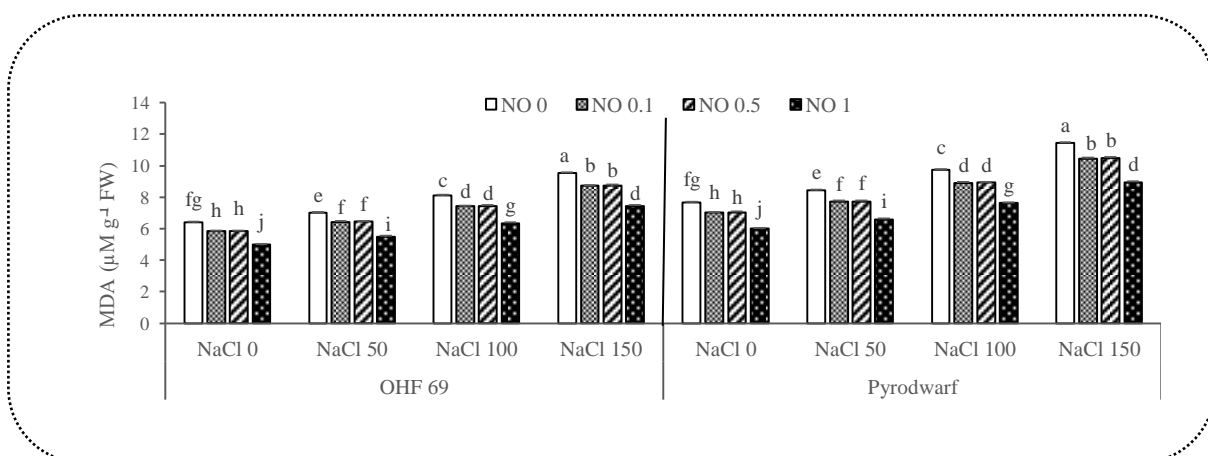
شکل ۲- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر محتوای نسبی آب برگ پایه‌های گلایی تحت تنش کلریدسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 2. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the leaf relative water content of pear rootstocks under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

است، تنش شوری نفوذپذیری دیواره سلولی را افزایش می دهد در حالیکه تیمار نیتریک اکسید نقش حفاظتی برای سلول داشته و از افزایش نفوذپذیری دیواره سلولی، تولید رادیکال های آزاد و مالون دی آلدئید جلوگیری می کند و با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی نقش حفاظتی برای گیاه دارد (Khan et al., 2015). محتوای مالون دی آلدئید در گلابی (*P. communis* L. Ballard) تحت تنش کلریسدیم به عنوان شاخصی برای آسیب پذیری و میزان تحمل به تنش کلریسدیم در دو تیپ وحشی و ترازیخته گلابی، مورد مطالعه قرار گرفت (Wen et al., 2011). اعمال تیمار سدیم نیترو پروساید آسیب ایجاد شده به وسیله پراکسیداسیون و محتوای مالون دی آلدئید را در برگ های مرکبات (Yang et al., 2018; Khosbakht et al., 2012)، سیب (Aras et al., 2020)، توت فرنگی (Kaya et al., 2019) و گوجه فرنگی (Manai et al., 2014) تحت شرایط تنش شوری کاهش داد. در این آزمایش نیز پایه های OHF69 در مقایسه با Pyrodwarf محتوای مالون دی آلدئید کمتر و در نتیجه پراکسیداسیون لیپید کمتری را نشان دادند (شکل ۳).

با افزایش تنش کلریسدیم محتوای مالون دی آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء به طور معنی داری در پایه های گلابی افزایش یافت. پایه های Pyrodwarf در مقایسه با OHF69 به طور معنی داری محتوای مالون دی آلدئید بیشتری داشتند که نشانگر آسیب پذیری بیشتر پایه های Pyrodwarf در برابر تنش شوری نسبت به OHF69 می باشد (شکل ۳). تیمار نیتریک اکسید تأثیر معنی داری روی کاهش محتوای مالون دی آلدئید برگ های گیاهان تحت تنش کلریسدیم داشت و با افزایش غلظت نیتریک اکسید محتوای مالون دی آلدئید نیز کاهش یافت (شکل ۳).

تیمار نیتریک اکسید می تواند اثرات مضر تنش شوری روی رشد را به وسیله کاهش تولید رادیکال آزاد ناشی از شوری، آسیب غشاء و نشت الکترولیت کاهش دهد که در نتیجه تحمل تنش شوری را بهبود می بخشد (Ahmad et al., 2016). افزایش در محتوای مالون دی آلدئید در سلول های گیاهی منجر به کاهش سیالیت غشاء، افزایش منافذ سلولی، آسیب به پروتئین ها و کانال های غشایی

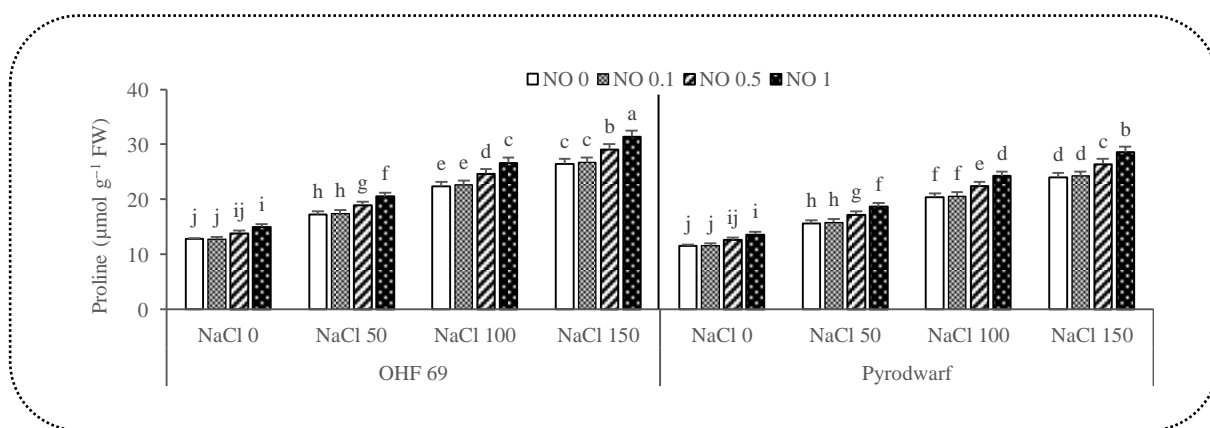


شکل ۳- تاثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر محتوای مالون دی آلدئید پایه های گلابی تحت تنش کلریسدیم در غلظت های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 3. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the malondialdehyde content of leaves of pear rootstocks under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

می‌کند که منجر به حفظ سلول در برابر آسیب اکسیداتیو می‌شود (Ahmad et al., 2016; Jogaiah et al., 2013). محتوای پرولین در گیاهان گلایی تحت تنش شوری به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (Wen et al., 2011). تأثیر نیتریک‌اکسید بر انباشت پرولین در گیاه تحت تنش شوری مرتبط با کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت پرولین دهیدروژناز، آنزیمی که محدودیت تغییر پرولین را کاتالیز می‌کند، نیز نشان داده شده است (Poór et al., 2015). نیتریک‌اکسید با تجمع پرولین نقش مهمی در حفاظت از آنزیم‌های سیستم آنتی‌اکسیدان دارد و اعمال تیمار نیتریک‌اکسید محتوای پرولین را تحت شرایط تنش کلریسدیم در گیاهان گوجه‌فرنگی (Hayat et al., 2013)، فلفل (Shams et al., 2019) و نخود (Ahmad et al., 2016) افزایش داد و منجر به افزایش تحمل گیاهان تحت تنش گردید.

تنش کلریسدیم منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پرولین در برگ‌های گیاهان گردید و محتوای پرولین برگ‌ها با افزایش سطوح تنش در هر دو پایه افزایش یافت. پایه‌های OHF69 محتوای پرولین بیشتری را نسبت به پایه‌های Pyrodwarf تحت تنش کلریسدیم نشان دادند. اعمال نیتریک‌اکسید منجر به افزایش معنی‌دار پرولین برگ‌های پایه‌های گلایی OHF69 و Pyrodwarf تحت تنش کلریسدیم گردید و همچنین محتوای پرولین گیاهان تحت تنش با افزایش سطوح نیتریک‌اکسید افزایش بیشتری نشان داد. کمترین محتوای پرولین در تیمار شاهد پایه Pyrodwarf و بیشترین محتوای پرولین در تیمار یک میلی‌مولار نیتریک‌اکسید تحت تنش کلریسدیم ۱۵۰ میلی‌مولار در پایه OHF69 مشاهده شد (شکل ۴). پرولین یکی از عمومی‌ترین اسمولیت‌ها در گیاهان تحت تنش و به‌عنوان حذف‌کننده رادیکال آزاد عمل



شکل ۴- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵، و ۱ میلی‌مولار بر محتوای پرولین پایه‌های گلایی تحت تنش کلریسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد (مقایسه پایه‌ها مستقل از هم انجام شده است).

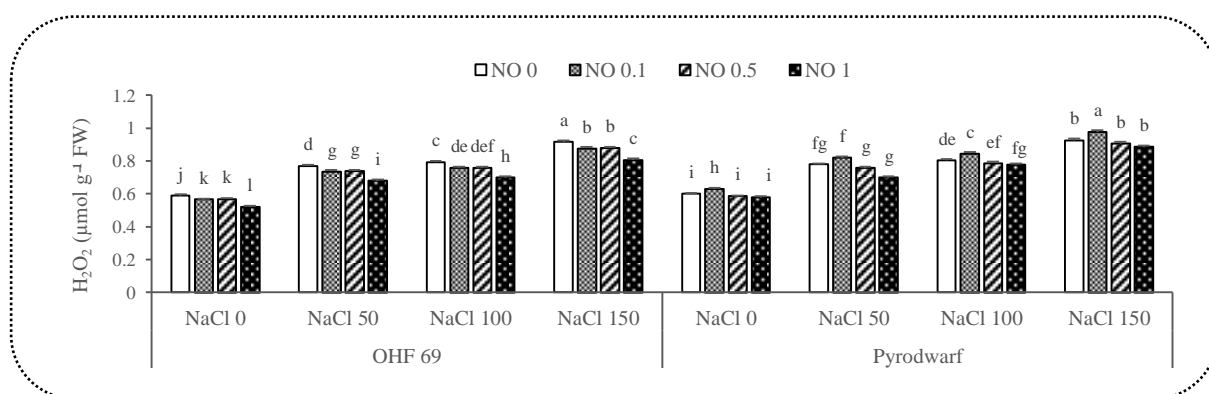
Figure 4. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the proline content in leaves of pear rootstocks under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

OHF69 بود. اعمال تیمار نیتریک‌اکسید در غلظت یک میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش محتوای H_2O_2 در گیاهان گردید (شکل ۵). تنش شوری کلریسدیم منجر به افزایش محتوای

شوری کلریسدیم سبب افزایش معنی‌داری در محتوای H_2O_2 در برگ‌های هر دو پایه OHF69 و Pyrodwarf گردید و پایه Pyrodwarf به‌طور معنی‌داری دارای محتوای H_2O_2 بیشتری در مقایسه با پایه‌های

et al., 2014). با افزایش نیتریک اکسید درون‌زاد، آنیون سوپراکسید با نیتریک اکسید ترکیب شده و پراکسی نیتريت (ONOO⁻) تولید می‌شود در نتیجه آنیون سوپراکسید به H₂O₂ تبدیل نمی‌شود. بنابراین با اعمال تیمار نیتریک اکسید میزان H₂O₂ کاهش می‌یابد (Fazelian et al., 2012). محتوای H₂O₂ در مرکبات تحت تنش شوری افزایش یافت و اعمال تیمار سدیم نیترو پروساید منجر به کاهش محتوای H₂O₂ در برگ‌های گیاهان و افزایش تحمل گیاهان تحت تنش شوری گردید و پارامترهای رشد گیاهان در معرض شوری را بهبود بخشید (Khoshbakht et al., 2018). شوری در توت فرنگی نیز محتوای H₂O₂ را افزایش داد و با اعمال تیمار نیتریک اکسید منجر به کاهش محتوای H₂O₂ گردید (Kaya et al., 2019).

H₂O₂ در گیاهان گردید و اعمال نیتریک اکسید فعالیت آنزیم‌های حذف‌کننده گونه‌های اکسیژن فعال را القاء کرد و تجمع H₂O₂ را در گیاهان تحت تنش کلرید سدیم کاهش داد (Lin et al., 2012). نقش اساسی نیتریک اکسید در شرایط تنش با تأثیر بر القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و حذف رادیکال‌های اکسیژن مانند H₂O₂ می‌باشد (Egbichi et al., 2014). مسیر سیگنال‌دهی H₂O₂ و نیتریک اکسید در تحمل به شوری مرکبات مرتبط هستند (Tanou et al., 2012). اعمال تیمار نیتریک اکسید محتوای H₂O₂ را در گیاهان تحت تنش کاهش داد و در نتیجه آن، تحمل گیاهان به تنش شوری افزایش یافت (Ahmad et al., 2016). نقش اساسی نیتریک اکسید در شرایط تنش با تأثیر بر القای فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جاروب کردن رادیکال‌های اکسیژن مانند H₂O₂ می‌باشد (Egbichi



شکل ۵- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر محتوای H₂O₂ پایه‌های گلابی تحت تنش کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار (P ≤ 0.05) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 5. Effect of SNP treatment at levels 0 , 0.1, 0.5 and 1 mM on the H₂O₂ content of pear rootstocks under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences (P ≤ 0.05) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

غلظت سدیم در برگ‌های پایه‌های گلابی شد. پایه‌های گلابی OHF69 به‌طور معنی‌داری در مقایسه با پایه‌های Pyrodwarf تجمع سدیم کمتری را تحت تنش کلرید سدیم نشان دادند (شکل ۶). اعمال تیمار نیتریک اکسید از طریق سیستم ریشه‌ای به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش غلظت سدیم در برگ‌های پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf

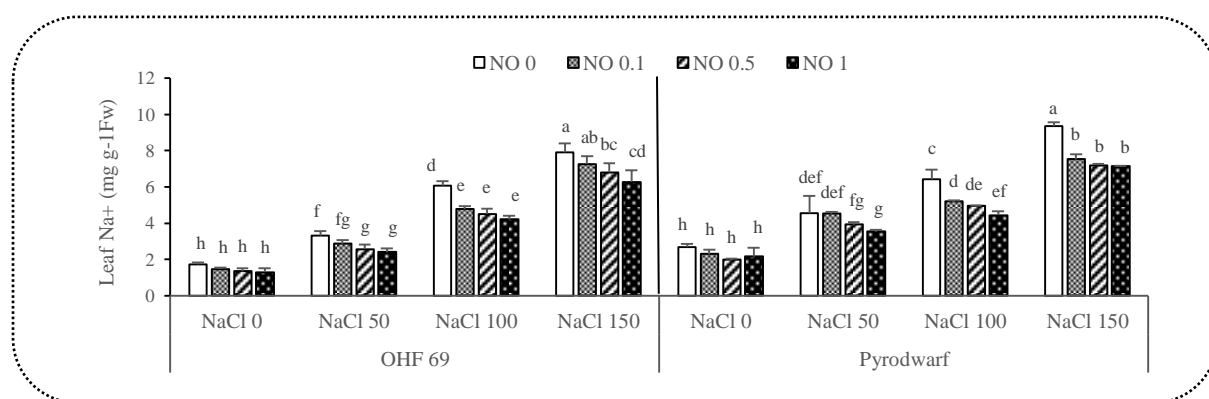
عناصر سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم

تنش شوری کلرید سدیم، تیمار نیتریک اکسید، نوع پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ‌ها تأثیر معنی‌داری نشان دادند (جدول ۱). شوری کلرید سدیم به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش

افزایش تحمل تنش شوری با افزایش فعالیت پمپ پروتونی و آنتی پورت Na^+/H^+ تونوپلاست شد (Ziogas and Molassiotis, 2015). تیمار نیتریک‌اکسید جذب یون‌های سدیم را هم در برگ‌ها و هم ریشه انگور کاهش داد (Amiri and Eshghi, 2015). غلظت سدیم در برگ‌های پایه‌های مرکبات تحت تنش کلریدسدیم افزایش یافت و اعمال نیتریک‌اکسید غلظت سدیم را برگ‌های گیاهان کاهش داد (Khoshbakht et al., 2018). کاربرد نیتریک‌اکسید در گیاهان توت‌فرنگی (Jamali et al., 2019; Kaya et al., 2015) و فلفل (Shams et al., 2019) تحت تنش کلریدسدیم منجر به کاهش انباشت سدیم در گیاهان گردید. در این آزمایش اعمال تیمار نیتریک‌اکسید با بهبود شرایط فیزیولوژیکی رشد پایه‌های گلایی OHF69 و Pyrodwarf، منجر به کاهش غلظت سدیم در برگ‌های گیاهان گردید.

تحت تنش کلریدسدیم گردید (شکل ۶). همچنین پایه‌های گلایی OHF69 و Pyrodwarf تحت تنش شوری کلریدسدیم ۵۰ میلی‌مولار با اعمال نیتریک‌اکسید در غلظت‌های ۱ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری را با گیاهان شاهد خود نشان ندادند. بیشترین غلظت سدیم در گیاهان تحت تنش کلریدسدیم ۱۵۰ میلی‌مولار بدون کاربرد نیتریک‌اکسید و کمترین غلظت سدیم نیز در گیاهان شاهد مشاهده گردید (شکل ۶).

تشخیص یون‌های سدیم و پتاسیم به دلیل شباهت یون هیدراته آن‌ها، توسط ناقل غشای سلولی دشوار است که باعث تجمع و سمیت سدیم در سلول‌های گیاه تحت شرایط شوری می‌شود (Amiri and Eshghi, 2015). نیتریک‌اکسید به عنوان مولکول پیام‌رسان در شرایط تنش شوری، فعالیت پمپ‌های H^+/ATPase و H^+/PPase را القاء نمود که منجر به افزایش انتقال H^+ ، تبادل Na^+/H^+ و



شکل ۶- تاثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بر غلظت سدیم پایه‌های گلایی تحت تنش شوری کلریدسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد (مقایسه پایه‌ها مستقل از هم انجام شده است).

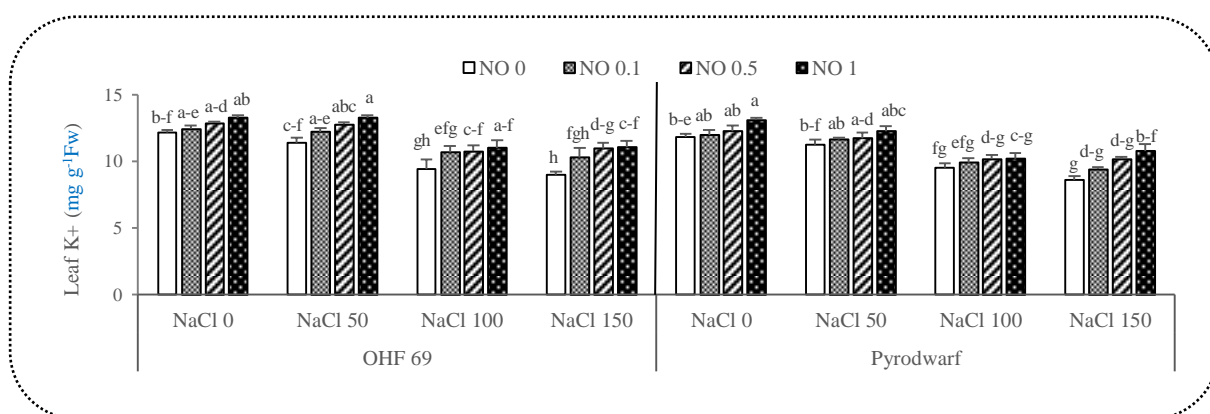
Figure 6. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the Na^+ concentration of OHF69 and Pyrodwarf pear rootstocks leaves under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

و با افزایش سطوح نیتریک‌اکسید غلظت پتاسیم در برگ‌ها نیز در هر دو پایه افزایش یافت (شکل ۷). کمترین غلظت پتاسیم در گیاهان تحت تنش کلریدسدیم ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. غلظت پتاسیم در برگ‌های پایه‌های سیب تحت تنش

تنش کلریدسدیم غلظت پتاسیم برگ‌های گیاهان را در پایه‌های OHF69 و Pyrodwarf کاهش داد و با افزایش تنش کلریدسدیم محتوای پتاسیم در برگ‌ها کاهش یافت (شکل ۷). اعمال تیمار نیتریک‌اکسید منجر به افزایش غلظت پتاسیم در برگ‌های تحت تنش کلریدسدیم گردید

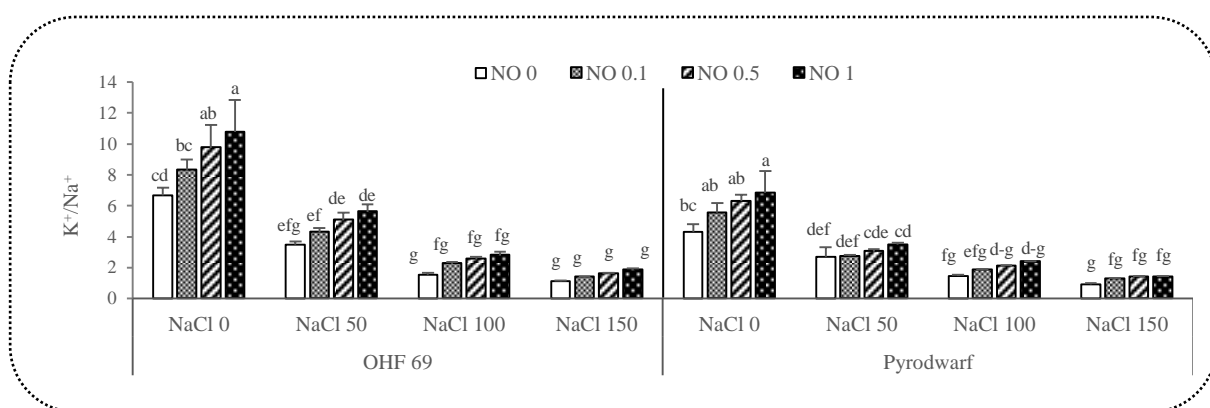
افزایش داد. تنش کلریسدیم تأثیر معنی‌داری بر نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌های پایه‌های گلابی داشت و با افزایش تنش کلریسدیم نسبت پتاسیم به سدیم کاهش یافت (شکل ۸). همچنین برگ‌های پایه‌های گلابی OHF69 در مقایسه با Pyrodwarf تحت تنش کلریسدیم ۵۰ میلی مولار، نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری نشان دادند (شکل ۸).

شوری کاهش یافت و تیمار نیتریک‌اکسید، پارامترهای رشدی را بهبود داده و غلظت پتاسیم را در برگ‌های گیاهان افزایش داد (Khoshbakht et al., 2018). کاربرد تیمار نیتریک‌اکسید در گیاهان انگور (Amiri and Eshghi, 2015)، توت فرنگی (Jamali et al., 2015; Kaya et al., 2019) و لفل (Shams et al., 2019) با بهبود پارامترهای رشدی، غلظت پتاسیم را در گیاهان تحت تنش کلریسدیم



شکل ۷- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر غلظت پتاسیم پایه‌های گلابی تحت تنش شوری کلریسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 7. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on K⁺ concentration of OHF69 and Pyrodwarf pear rootstocks leaves under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).



شکل ۸- تأثیر تیمار سدیم نیتروپروساید در سطوح صفر، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی مولار بر نسبت پتاسیم به سدیم پایه‌های گلابی تحت تنش شوری کلریسدیم در غلظت‌های صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار. حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار ($P \leq 0.05$) بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن می باشد (مقایسه پایه ها مستقل از هم انجام شده است).

Figure 8. Effect of SNP treatment at levels 0, 0.1, 0.5 and 1 mM on the K⁺/Na⁺ ratio of OHF69 and Pyrodwarf pear rootstocks leaves under NaCl stress at 0, 50, 100 and 150 mM concentrations. The same letter indicates no significant differences ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test (comparisons of rootstocks are independent of each other).

شرایط غیر شور شود و آنزیم فعال‌کننده آنتی پورت Na^+/H^+ که به وسیله شوری القاء می‌شود منجر به حذف سدیم سیتوزول می‌شود (Khan et al., 2015). نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌های پایه‌های سیب تحت تنش شوری کلریدسدیم کاهش یافت و اعمال تیمار نیتریک‌اکسید منجر به افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌ها شد (Khoshbakht et al., 2018).

نیتریک‌اکسید سبب محافظت در مقابل آسیب‌های ناشی از شوری می‌شود، به‌خصوص هنگامی که قبل و یا حداقل به‌طور هم‌زمان با شروع تنش اعمال می‌شود (Siddiqui et al., 2011)، در نتیجه سبب افزایش در محتوا و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها می‌شود (Jamali et al., 2015) و با ایجاد تعادل در جذب عناصر غذایی، جذب سدیم و کلر را کاهش داده و باعث افزایش تحمل گیاهان به شوری می‌شود. اعمال تیمار سدیم نیتروپروکساید غلظت یون سدیم، نشت الکترولیت و محتوای H_2O_2 در برگ‌های گیاهان را کاهش داد و منجر به افزایش محتوای پرولین و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ‌ها و متعاقباً بهبود پارامترهای رشدی گردید و تحمل گیاهان تحت تنش شوری را افزایش داد (Campos et al., 2019; Aras et al., 2016; Ahamd et al., 2018; Khoshbakht et al., 2020).

نتیجه‌گیری

اعمال تیمار نیتریک‌اکسید آسیب‌های ناشی از شوری را کاهش داد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه تحت تنش شوری کلریدسدیم را بهبود بخشید که متعاقباً باعث کاهش غلظت یون‌های سدیم در برگ‌ها و افزایش پتاسیم در برگ‌های پایه‌های گلابی OHF69 و Pyrodwarf و در نتیجه کاهش صدمات ناشی از تنش شوری گردید. پایه‌های گلابی OHF69 در مقایسه با پایه‌های گلابی Pyrodwarf، تحمل نسبی بیشتری در مقابل تنش شوری کلریدسدیم نشان دادند. همچنین اعمال تیمار نیتریک‌اکسید در غلظت یک میلی‌مولار تحت تنش شوری کلریدسدیم ۵۰

گیاهان تحت تنش شوری به منظور جلوگیری از آسیب سلولی و کمبود مواد مغذی، غلظت پتاسیم را در سطوح بالا و سدیم را در سطح پایین نگه می‌دارند (Misra et al., 2011). اعمال تیمار نیتریک‌اکسید در گیاهان انگور تحت تنش شوری، نسبت پتاسیم به سدیم را در برگ‌های گیاهان انگور افزایش داد (Amiri and Eshghi, 2015). کاربرد نیتریک‌اکسید تجمع سدیم را کاهش و پتاسیم را افزایش داد و سبب افزایش عملکرد گیاه گندم شد (Kausar et al., 2013). تفاوت در تحمل شوری گونه‌های مختلف درختان ممکن است ناشی از تفاوت رشد مشاهده‌شده در پایه‌ها باشد که تعادل عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نیز مرتبط با توانایی آن‌ها در کنترل جذب سدیم و کلر و توانایی آوند چوبی در بارگیری و انتقال به برگ‌های گیاه باشد (Lu et al., 2013). در این تحقیق پایه‌های OHF69 نسبت پتاسیم به سدیم بیشتری داشتند و تحمل نسبی بیشتری را در مقایسه با پایه‌های پیرودواف نشان دادند (جدول ۱).

نیتریک‌اکسید سازگاری بیوشیمیایی را طی رشد دانه‌های کاهو تحت شرایط شوری ایجاد کرد و منجر به کاهش غلظت سدیم و افزایش سطح پتاسیم در گیاهان گردید (Campos et al., 2019). با استفاده از آنزیم‌های درگیر در سنتز نیتریک‌اکسید یا مواد بازدارنده سنتز آن، مشاهده شد که نیتریک‌اکسید تحمل گیاهان تحت تنش را افزایش می‌دهد و منجر به افزایش نسبت پتاسیم به سدیم و کاهش سطح H_2O_2 در شاخساره و در نتیجه کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (Siddiqui et al., 2011; Poór et al., 2015). غلظت‌های بالاتر پتاسیم و کلسیم در شاخساره‌های گیاهان تیمار شده با نیتریک‌اکسید در نهایت می‌تواند برخی از صدمات القاء شده توسط شوری را کاهش دهد. نیتریک‌اکسید به‌طور معنی‌داری فعالیت واکوئلی H^+ -ATPase و H^+ -Ppase که نیروهای محرک برای تبادل Na^+/H^+ هستند را افزایش داد که می‌تواند سبب نسبت بالاتر پتاسیم به سدیم در شاخساره‌های تحت

سپاسگزاری

میلی مولار از لحاظ اغلب پارامترهای فیزیولوژیکی، آنتی اکسیدانی و تعادل عناصر غذایی تفاوت معنی داری را با گیاهان شاهد نشان نداد که در نتیجه می تواند برای تحمل تنش در شرایط شوری کوتاه مدت مورد توجه باشد.

از گروه محترم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به خاطر نهایت همکاری، تقدیر و تشکر می گردد.

منابع

- Abdollahi, H. 2011. Pear, botany, cultivars and rootstocks. Publication of Agricultural Education, Iranian Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. 196. (In Persian).
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Hashem, A., Abd Allah, E. F., Gucel, S. and Tran, L. S. P. 2016. Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea. *Frontiers in Plant Science*. 7: 347.
- Amiri, J. and Eshghi, S. 2015. Ion and mineral concentrations in roots and leaves of two grapevine cultivars as affected by nitric oxide foliar application under NaCl stress. *OENO One*. 49(3): 155-164.
- Aras, S., Keles, H. and Eşitken, A. 2020. SNP mitigates malignant salt effects on apple plants. *Erwerbs-Obstbau*. 62: 107-115.
- Bates, L., Waldren, R. and Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. 39: 205-207.
- Campos, F. V., Oliveira, J. A., Pereira, M. G. and Farnese, F. S. 2019. Nitric oxide and phytohormone interactions in the response of *Lactuca sativa* to salinity stress. *Planta*. 250(5): 1475-1489.
- Egbichi, I., Keyster, M. and Ludidi, N. 2014. Effect of exogenous application of nitric oxide on salt stress responses of soybean. *South African Journal of Botany*. 90: 131-136.
- Fancy, N.N., Bahlmann, A.K. and Loake, G.J. 2017. Nitric oxide function in plant abiotic stress. *Plant, Cell and Environment*. 40(4): 462-472.
- Fazelian, N., Nasibi, F. and Rezazadeh, R. 2012. Comparison the effects of nitric oxide and spermidin pretreatment on alleviation of salt stress in chamomile plant (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*. 8(3).
- Fu, M., Li, C. and Ma, F. 2013. Physiological responses and tolerance to NaCl stress in different biotypes of *Malus prunifolia*. *Euphytica*. 189(1): 101-109.
- Gay, C., Collins, J. and Gebicki, J.M. 1999. Hydroperoxide assay with the ferric-xylene orange complex. *Analytical Biochemistry*. 273: 149-155.
- Hasanuzzaman, M. and Fujita, M. 2013. Exogenous sodium nitroprusside alleviates arsenic-induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by enhancing antioxidant defense and glyoxalase system. *Ecotoxicology*. 22(3): 584-596.
- Hayat, S., Yadav, S., Nasser Alyemeni, M., Irfan, M., Wani, A. S. and Ahmad, A. 2013. Alleviation of salinity stress with sodium nitroprusside in tomato. *International Journal of Vegetable Science*. 19(2): 164-176.
- Heath, R. L. and Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*. 125(1): 189-198.

- Kaya, C., Akram, N. A. and Ashraf, M. 2019. Influence of exogenously applied nitric oxide on strawberry (*Fragaria× ananassa*) plants grown under iron deficiency and/or saline stress. *Physiologia plantarum*. 165(2): 247-263.
- Jamali, B., Eshghi, S. and Tafazoli, E. 2015. Mineral composition of 'Selva' strawberry as affected by time of application of nitric oxide under saline conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 56(3): 273-279.
- Jogaiah, S., Govind, S. R. and Tran, L. S. P. 2013. Systems biology-based approaches toward understanding drought tolerance in food crops. *Critical reviews in biotechnology*. 33(1): 23-39.
- Khan, M. N., Mobin, M., Mohammad, F. and Corpas, F. J. Eds. 2015. *Nitric oxide action in abiotic stress responses in plants*, 51-52. Basel, Switzerland: Springer International Publishing.
- Khoshbakht, D., Asghari, M. R. and Haghghi, M. 2018. Effects of foliar applications of nitric oxide and spermidine on chlorophyll fluorescence, photosynthesis and antioxidant enzyme activities of citrus seedlings under salinity stress. *Photosynthetica*. 56(4): 1313-1325.
- Kausar, F., Shahbaz, M. and Ashraf, M. 2013. Protective role of foliar-applied nitric oxide in *Triticum aestivum* under saline stress. *Turkish Journal of Botany*. 37(6): 1155-1165.
- Liang, W., Ma, X., Wan, P. and Liu, L. 2018. Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and biophysical research communications*. 495(1): 286-291.
- Lin, Y., Liu, Z., Shi, Q., Wang, X., Wei, M. and Yang, F. 2012. Exogenous nitric oxide (NO) increased antioxidant capacity of cucumber hypocotyl and radicle under salt stress. *Scientia horticulturae*. 142: 118-127.
- Liu, S., Dong, Y. J., Xu, L. L., Kong, J. and Bai, X. Y. 2013. Roles of exogenous nitric oxide in regulating ionic equilibrium and moderating oxidative stress in cotton seedlings during salt stress. *Journal of soil science and plant nutrition*. 13(4): 929-941.
- Lu, Y., Li, N., Sun, J., Hou, P., Jing, X., Zhu, H. and Chen, S. 2013. Exogenous hydrogen peroxide, nitric oxide and calcium mediate root ion fluxes in two non-secretor mangrove species subjected to NaCl stress. *Tree physiology*. 33(1): 81-95.
- Manai, J., Kalai, T., Gouia, H., and Corpas, F. J. 2014. Exogenous nitric oxide (NO) ameliorates salinity-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Journal of soil science and plant nutrition*. 14(2): 433-446.
- Mirabdulbaghi, M. 2017. The effect of salinity on physiological aspects of some grafted-pear rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Science*. 48(2): 347-356. (In Persian)
- Misra, A. N., Misra, M., and Singh, R. 2011. Nitric oxide ameliorates stress responses in plants. *Plant, Soil and Environment* 57(3): 95-100.
- Poór, P., Laskay, G., and Tari, I. 2015. Role of nitric oxide in salt stress-induced programmed cell death and defense mechanisms. In *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants*, 193-219. Springer, Cham.
- Repellin, A., Thi, A.P., Tashakorrie, A., Sahseh, Y., Daniel, C. and Zuily-Fodil, Y. 1997. Leaf membrane lipids and drought tolerance in young coconut palms (*Cocos nucifera* L.). *European Journal of Agronomy*. 6(1-2): 25-33.
- Shams, M., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Agar, G., Kul, R., and Yildirim, E. 2019. Nitric oxide mitigates salt stress effects of pepper seedlings by altering nutrient uptake, enzyme activity and osmolyte accumulation. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 25(5): 1149-1161.
- Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., and Basalah, M. O. 2011. Role of nitric oxide in tolerance of plants to abiotic stress. *Protoplasma*. 248(3): 447-455.

Tamura, F. 2012. Recent advances in research on Japanese pear rootstocks. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 81(1): 1-10.

Tanou, G., Filippou, P., Belghazi, M., Job, D., Diamantidis, G., Fotopoulos, V. and Molassiotis, A. 2012. Oxidative and nitrosative based signaling and associated post translational modifications orchestrate the acclimation of citrus plants to salinity stress. *The Plant Journal*. 72(4):585-599.

Waling, I., VanVark, W., Houba, V. J. G., and Vanderlee, J. J. 1989. *Soil and plant analysis, a series of syllabi*. 7: 712-717.

Wang, H., Lin, J., Li, X. G., and Chang, Y. 2015. Genome-wide identification of pear HD-Zip gene family and expression patterns under stress induced by drought, salinity, and pathogen. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37(9): 1-19.

Wen, X. P., Ban, Y., Inoue, H., Matsuda, N., Kita, M., and Moriguchi, T. 2011. Antisense inhibition of a spermidine synthase gene highlights the role of polyamines for stress alleviation in pear shoots subjected to salinity and cadmium. *Environmental and Experimental Botany*. 72(2): 157-166.

Yang, L. T., Qi, Y. P., Chen, L. S., Sang, W., Lin, X. J., Wu, Y. L., and Yang, C. J. 2012. Nitric oxide protects sour pummelo (*Citrus grandis*) seedlings against aluminum-induced inhibition of growth and photosynthesis. *Environmental and experimental botany*. 82: 1-13.

Zafari, F., Amiri, M. E., Noroozisharaf, A., and Almasi, P. 2018. Physiological and Morphological Responses of the 'Dargazi' Pear (*Pyrus communis*) to in vitro Salinity. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 83(2): 169-174.

Ziogas, V., and Molassiotis, A. 2015. Nitric oxide action in the improvement of plant tolerance to nutritional stress. In *Nitric Oxide Action in Abiotic Stress Responses in Plants*, 169-180. Springer, Cham.