

اثر محلول پاشی گلیسرول و سدیم نیتروپروساید بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیکی پسته در پایه‌های امیدبخش پسته تحت تنش شوری

الهه میرابی^{۱*}، اسماعیل سیفی^۲، حسین حکم آبادی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

چکیده:

شوری از مخرب‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاه را به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محدود می‌نماید. این پژوهش جهت بررسی اثر محلول پاشی گلیسرول و سدیم نیتروپروساید بر برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیکی پایه‌های امیدبخش پسته تحت تنش شوری، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه‌ای در شهرستان شاهرود انجام شد. پایه‌های مورد استفاده آتلانتیکا (*P. atlantica*)، اینتگریمما (*P. integririma*) و دو ژنوتیپ امیدبخش آروتا حاصل از تلاقی آتلانتیکا (والد ماده) و اینتگریمما (والد نر) بود. فاکتور اول سه سطح شوری (۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در پنج سطح (گلیسرول ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار در لیتر و شاهد) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح شوری از میزان وزن خشک ساقه و ریشه، قطر ساقه، طول میانگره و درصد برگ‌های سبز کاسته شد و بر درصد برگ‌های ریزش یافته و میزان قند محلول افزوده شد. طول و عرض برگ تحت تأثیر شوری قرار نگرفت. کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش بر صفات درصد برگ‌های سبز و ریزش یافته، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، قطر ساقه و میزان قند معنی‌دار بود. در تمام صفات مورد بررسی تیمار سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار کارایی بهتری داشت. در نهایت به نظر می‌رسد که سدیم نیتروپروساید در بهبود تحمل به تنش شوری موفق‌تر از گلیسرول بود.

واژه‌های کلیدی: آتلانتیکا، آروتا، اینتگریمما، کلرید سدیم

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* نویسنده مسئول: elahemirabi977@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

^۳ دانشیار موسسه آموزش و ترویج کشاورزی، گروه تخصصی علوم باغی.

مقدمه

شور و قلیائی نشان می‌دهد و از گیاهان سازگار با شرایط نامساعد محیطی به حساب می‌آید. با این وجود یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده تولید درخت پسته در کشور ایران تنش شوری می‌باشد که باعث کاهش کمی و کیفی عملکرد و همچنین برهم خوردن الگوی سال‌آوری آن می‌شود. وقوع تنش شوری با افزایش تجمع یون‌های سدیم، کلر و بور در بافت‌های چوبی و برگ‌های پسته باعث ایجاد مسمومیت در این گیاه شده که حاشیه سوختگی و ایجاد بافت مرده در بین رگبرگ‌ها و ایجاد اختلال در فرآیند فتوسنتز و از بین رفتن کامل یا بخشی برگ‌های درخت را به دنبال دارد. همچنین افزایش شوری در پسته باعث کاهش رشد ساقه و برگ می‌گردد و برگ حساسیت بالاتری نسبت به شوری دارد (سجادیان و هاشمی نسب، ۱۳۹۹).

یکی از راه‌کارهای کاهش میزان خسارت‌های ناشی از تنش شوری و حفظ عملکرد قابل‌قبول، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی است. گلیسرول یک الکل قندی ایمن، خوراکی، زیست‌تخریب‌پذیر و دوست‌دار محیط زیست است که از روغن‌های گیاهی از طریق استری شدن با متانول تولید می‌شود. علیرغم وجود مقدار کمی گلیسرول در گیاهان عالی، نشان داده شده است که کاربرد خارجی گلیسرول می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر رشد گیاه تأثیر بگذارد و تحمل به شوری را در گیاهان

پسته (*Pistacia vera*. L) متعلق به خانواده Anacardiaceae و دارای ۱۱ گونه درختی و درختچه‌ای است که در بین این گونه‌ها، *P. P. atlantica*، *P. P. terebinthus* و *integerrima* معمولاً به عنوان پایه برای کشت *P. vera* استفاده می‌شوند. پسته در مناطق گرم و خشک خاورمیانه، کشورهای مدیترانه و ایالات متحده پرورش داده می‌شود که در این بین، ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان آن می‌باشد (شهبازی منشادی و همکاران، ۱۳۹۸).

شوری یک تهدید جدی با اثرات مخرب فراوان در جهت کاهش عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان بشمار می‌آید که می‌تواند با تغییر روابط آبی و بر هم زدن تعادل یونی، گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS) تولید کند که باعث آسیب دیدن بافت‌های گیاه شده و در نتیجه تولید محصول را در گیاهان محدود می‌کند. همچنین، تنش‌های خشکی و شوری باعث القای تنش اسمزی و اکسیداتیو در بافت‌های گیاهی می‌شود. رادیکال‌های آزاد اکسیژن قادر به افزایش آسیب به غشاها، پروتئین‌ها و DNA هستند و بنابراین، درک مکانیسم‌های تحمل در گیاهان مقاوم می‌تواند در برنامه‌های اصلاح نباتات بسیار مفید باشد (Goharrizi *et al.*, 2020). درخت پسته نسبت به سایر درختان مقاومت بالاتری به آب‌وخاک

اکسید نیتریک سبب افزایش پرولین در گیاهچه‌های خیار تحت تنش شوری شده است (Fan et al., 2012). محمدی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی اثر سدیم نیتروپروساید در سیب‌زمینی تحت تنش شوری نشان دادند که این ماده باعث افزایش فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی و رشد گیاهچه‌ها تحت تنش گردید. همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث کاهش صدمات اکسایشی ناشی از تنش آبی در گیاه دارویی پونه گردید (نریمانی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات نشان می‌دهد که اکسید نیتریک اثرات محافظتی در گیاهان تحت تنش ایجاد می‌کند که مرتبط با دفاع آن‌تی‌اکسیدانی می‌باشد (Zhang et al., 2015). در بررسی اثرات کاربرد خارجی اکسید نیتریک در *Dendrobium huoshanense* مشخص شد کاربرد این ماده باعث افزایش آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی شد (Fan et al., 2012). سدیم نیتروپروساید با افزایش فعالیت آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدان و متابولیت‌های ثانوی باعث بهبود رشد گیاهان در شرایط وقوع تنش‌های زیستی می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به اینکه درختان پسته از طریق پیوند تکثیر می‌شوند استفاده از پایه‌های مناسب پسته که تحمل بالایی به تنش‌های محیطی از جمله شوری داشته باشند، اهمیت ویژه‌ای دارد. لذا این پژوهش باهدف بررسی پایه‌های مختلف از نظر تحمل به

تیمار شده بالا ببرد (Raoufi et al., 2020). کاربرد گلیسرول خارجی در جهش‌های آراییدوبسیس که با کمبود گلیسرول کیناز مواجه بودند باعث افزایش تحمل آن‌ها نسبت به شوری و یخ‌زدگی گردید (Eastmond, 2004). رئوفی و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی محلول‌پاشی گلیسرول روی پایه‌های UCB1 در پسته تحت تنش شوری، نشان دادند که این ماده باعث افزایش فاکتورهای رشدی و کلروفیل گردید. در ذرت‌های تیمار شده با گلیسرول تحت تنش شوری مقاومت بالایی نسبت به گیاهان شاهد مشاهده گردید (Kaya et al., 2013). یکی دیگر از مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهان سدیم نیتروپروساید (SNP) می‌باشد که یک ترکیب آزادکننده اکسید نیتریک (NO) است. اکسید نیتریک تحت شرایط تنش به‌عنوان یک مولکول فعال زیستی در اندام‌های مختلف گیاهان تولید می‌شود و باعث تنظیم پاسخ‌های دفاعی گیاه می‌گردد. کاربرد سدیم نیتروپروساید (SNP) به‌عنوان رهاکننده اکسید نیتریک مقاومت گیاه به تنش خشکی را از طریق بستن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش تعرق افزایش می‌دهد (Garcia et al., 2001). کاربرد سدیم نیتروپروساید فعالیت آنزیم‌های آن‌تی‌اکسیدان و میزان آب نسبی را در برگ‌های گندم که در معرض تنش خشکی قرار گرفته بودند افزایش داده است (Tan et al., 2008). همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید به‌عنوان رهاکننده

شوری و نیز امکان تعدیل اثرات مخرب شوری با گلیسرول و سدیم نیتروپروساید انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی اثر محلول پاشی گلیسرول و سدیم نیتروپروساید روی دانه‌های چهار پایه پسته تحت تنش شوری در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ در گلخانه مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان شاهرود و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم تعدیل‌کننده‌های تنش در ۵ سطح (شاهد، گلیسرول ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بودند. پایه‌های بذری پسته شامل آتلانتیکا، اینتگریمما، دو ژنوتیپ امیدبخش آروتا (تلاقی اینتگریمما و آتلانتیکا) از نهالستان شرکت زیست فناوری ایتا صدراي قزوین در اسفند ماه خریداری شده و به گلخانه منتقل شدند. نهال‌ها در گلدان‌های ۱۰ کیلویی حاوی مخلوطی از خاک معمولی و ماسه به نسبت مساوی انتقال یافتند. آزمایش آنالیز مخلوط حاکی گلدان‌ها قبل از عملیات کاشت انجام شد. طبق نتایج آنالیز، بافت خاک شنی-لومی با EC معادل ۲/۱۱ و pH معادل ۷/۳۱ بود.

دانه‌ها به منظور تولید برگ کافی تا اواخر خردادماه در گلخانه نگهداری شدند و طی این مدت هر ده روز یک‌بار با محلول کودی (N: P: K: 20: 20: 20) به ازای هر نهال یک گرم در لیتر آبیاری شدند. اعمال تیمارهای تعدیل‌کننده تنش شامل گلیسرول و سدیم نیتروپروساید در ۲۰ خردادماه و اعمال تیمارهای شوری در اول تیرماه آغاز شد.

تیمار شوری در سه سطح ۰، ۱۰۰ (۱/۱) دسی زیمنس بر متر، ۲۰۰ (۱۹/۵) دسی زیمنس بر متر (میلی مولار کلرید سدیم) به مدت ۹۰ روز اعمال شد و برای جلوگیری از بروز شوک شوری در نهال‌ها، غلظت نمک به تدریج اضافه شد و پس از گذشت دو هفته به غلظت مورد نظر رسید. بعد از هر سه مرتبه آبیاری با تیمار شوری، EC آب زیرگلدانی‌ها اندازه‌گیری شده و میزان شوری خاک به شیوه مناسب کنترل شد. تیمار محلول پاشی برگی با تعدیل‌کننده‌های تنش شامل گلیسرول ۳۰ و ۶۰ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار در لیتر و شاهد بود. محلول پاشی گلیسرول و سدیم نیتروپروساید به عنوان ماده تعدیل‌کننده تنش از ۱۰ روز قبل از تنش شوری در چهار مرحله و به ترتیب بافاصله زمانی هر ۱۵ روز یک‌بار انجام شد. در پایان آزمایش صفات مورفولوژیک نهال‌ها شامل طول و عرض برگ‌ها، درصد برگ‌های ریزش یافته، درصد برگ‌های سبز، قطر ساقه،

(۳/۱ سانتیمتر). همچنین تیمار تنش شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار بیشترین عرض برگ را سبب شد (۲/۱ سانتیمتر) و کمترین میانگین آن (۲ سانتیمتر) در تیمار کلرید سدیم ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان طول و عرض برگ در پایه اینتگریمما در تیمار تنش شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار (۵/۲ سانتیمتر و ۲/۳ سانتیمتر) و کمترین طول و عرض برگ در تیمار شوری ۲۰۰ و بدون تعدیل‌کننده (۵ سانتیمتر و ۲/۳ سانتیمتر) مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۱ نشان داد تیمار تنش شوری صفر و تعدیل‌کننده شاهد بیشترین طول و عرض برگ (۲/۷ سانتیمتر و ۲/۱ سانتیمتر) را سبب شد. کمترین میانگین عرض برگ (۱/۹ سانتیمتر) مربوط به تیمار تنش شوری شدید و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) بود. در پایه آروتا ۲ نیز بیشترین طول و عرض برگ (۲/۵ سانتیمتر و ۱/۸ سانتیمتر) در تیمار تنش شوری صفر و کاربرد سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار مشاهده شد و کمترین طول و عرض برگ (۲/۳ سانتیمتر و ۱/۷ سانتیمتر) مربوط به تیمار کلرید سدیم ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده شاهد بود.

وزن خشک‌ریشه، وزن خشک ساقه و طول میانگره اندازه‌گیری شده و نمونه‌های برداشت‌شده توسط تانک ازت به آزمایشگاه منتقل شدند و برای اندازه‌گیری قند در فریزر منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. میزان قندهای محلول با استفاده از روش Nelson (۱۹۴۴) اندازه‌گیری شد. برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم‌افزار SAS استفاده شد مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار انجام شد.

نتایج و بحث

طول و عرض برگ

جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که در هر چهار پایه آتلانتیکا، اینتگریمما، آروتا ۱ و آروتا ۲ هیچ‌کدام از اثرات اصلی و متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده‌های تنش در صفات طول و عرض برگ معنی‌دار نبودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که در پایه آتلانتیکا تیمار تنش شوری صفر و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) بیشترین میانگین طول برگ (۳/۳ سانتیمتر) را سبب شد در حالی که تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) کمترین میانگین طول برگ را نشان داد

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تنش شوری و تعدیل‌کننده‌های تنش بر برخی از صفات رشدی در چهار پایه پسته

میانگین مربعات											
رقم	منبع تغییرات	درجه	طول برگ	عرض برگ	درصد برگ‌های سبز	درصد برگ‌های	قطر ساقه	طول میان‌گره	وزن خشک ساقه	وزن خشک خشک‌ریشه	میزان قند
ریزش‌یافته											
آتلانتیکا	شوری	۲	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۵۲۳۷/۴ ^{**}	۶۰۸۶/۶ ^{**}	۶/۴ ^{**}	۷/۲ ^{**}	۳۹/۷ ^{**}	۲۶/۵ ^{**}	۳۲۸۹/۹ ^{**}
	تعدیل‌کننده	۴	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۱۳ ^{NS}	۲۹۰/۸ ^{**}	۱۹/۲ ^{**}	۰/۸۴ ^{**}	۰/۰۵ ^{NS}	۲/۶ ^{**}	۱/۷ ^{NS}	۲۱/۷ ^{NS}
	اثر متقابل	۸	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۱۷۴/۳ ^{**}	۲۸*	۰/۵۱ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۷۱ ^{**}	۱/۸ ^{NS}	۵/۵ ^{NS}
	خطا	۲۸	۰/۰۶	۰/۰۱	۳۶/۱	۸/۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۱/۹	۱۰/۷
	ضریب تغییرات		۸/۵	۷/۱	۹	۱۲/۸	۲/۴	۸/۵	۱/۹	۱۴/۵	۶/۷
ایننگریما	شوری	۲	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۰۸ ^{NS}	۱۸۵۲/۱ ^{**}	۲۵۹۱/۷ ^{**}	۸/۳ ^{**}	۹/۱ ^{**}	۴۱/۹ ^{**}	۲۷/۱ ^{**}	۳۰۲۹/۶ ^{**}
	تعدیل‌کننده	۴	۰/۰۳ ^{NS}	۰/۱۵ ^{NS}	۱۲۳/۸ ^{**}	۱۳/۶ ^{**}	۰/۹ ^{**}	۰/۵۸ ^{NS}	۴/۷ ^{**}	۱/۴ ^{**}	۲۰/۷ ^{NS}
	اثر متقابل	۸	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۰۸ ^{NS}	۴۳/۵ ^{**}	۳/۵ ^{**}	۰/۷۱ ^{NS}	۰/۷۰ ^{NS}	۰/۰۸ ^{NS}	۰/۰۲ ^{NS}	۷/۱ ^{NS}
	خطا	۲۸	۰/۱۰	۰/۰۹	۵/۵	۰/۷۸	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۰۷	۱۱/۱
	ضریب تغییرات		۶/۲	۱۱/۷	۳/۹	۴/۷۸	۴/۲	۷/۱	۳/۷۳	۲/۳	۹/۲
آروتا ۱	شوری	۲	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۰۴ ^{NS}	۶۶۲۳/۳ ^{**}	۸۶۹/۳ ^{**}	۷/۵ ^{**}	۸/۸ ^{**}	۳۸/۳ ^{**}	۲۵/۳ ^{**}	۳۳۷۹/۹ ^{**}
	تعدیل‌کننده	۴	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۱۱ ^{NS}	۳۱/۳ ^{**}	۱۶/۱ ^{**}	۰/۳۹ ^{**}	۰/۰۲ ^{NS}	۱/۸ ^{**}	۱/۲ ^{**}	۱۸/۶ ^{NS}
	اثر متقابل	۸	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۰۵ ^{NS}	۱۹/۴ ^{**}	۶/۱ ^{**}	۰/۵۶ ^{NS}	۰/۱۲ ^{NS}	۰/۳۴*	۰/۰۰۸ ^{NS}	۸/۵ ^{NS}
	خطا	۲۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۲/۳	۱/۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۸	۱۲
	ضریب تغییرات		۸/۷	۱۰/۵	۲/۹	۱۰/۱	۴/۹	۴/۱	۲/۸	۳/۹	۵/۶
آروتا ۲	شوری	۲	۰/۰۱ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۷۰۰۶/۴ ^{**}	۸۱۴/۹ ^{**}	۵/۹ ^{**}	۹/۱ ^{**}	۴۰/۱ ^{**}	۲۷/۶ ^{**}	۲۷۶۲/۵ ^{**}
	تعدیل‌کننده	۴	۰/۰۲ ^{NS}	۰/۱۰ ^{NS}	۴۲/۷ ^{**}	۱۳/۸ ^{**}	۰/۴۱ ^{NS}	۰/۱۴ ^{NS}	۲/۸ ^{**}	۱*	۴۰/۴ ^{**}
	اثر متقابل	۸	۰/۰۹ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۲۶ ^{**}	۶/۵ ^{**}	۰/۰۶ ^{NS}	۰/۱۷ ^{NS}	۰/۰۹ ^{NS}	۰/۰۱ ^{NS}	۱۲/۳*
	خطا	۲۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۴/۸	۱/۱	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۷	۴/۵
	ضریب تغییرات		۴	۶/۷	۲/۸	۱۲/۵	۶	۴	۳/۶	۳/۱	۳/۱

** و * به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و NS نشان‌دهنده عدم معنی‌داری

درصد برگ‌های سبز

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که در هر چهار پایه آتلانتیکا، اینتگریمما، آروتا ۱ و آروتا ۲، اثرات اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده‌ها و اثر متقابل آن‌ها بر درصد برگ‌های سبز در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که در پایه آتلانتیکا تیمار شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ با میانگین ۸۴/۳ درصد بیشترین درصد برگ‌های سبز را سبب شد، درحالی‌که تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) کم‌ترین درصد برگ‌های سبز را نشان داد (۱۰/۳ درصد). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) در پایه اینتگریمما نشان داد که تنش شوری صفر و مصرف بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید (۲۰۰ میکرومولار)، بیشترین درصد برگ‌های سبز را سبب شد (۸۳/۳ درصد). درحالی‌که تیمار کلرید سدیم ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) کم‌ترین درصد برگ‌های سبز را نشان داد (۳۰/۶ درصد). همچنین مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۱ نشان داد تیمار تنش شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار بیشترین درصد برگ‌های سبز را سبب شد و کمترین میزان آن مربوط به تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده

شاهد (بدون تعدیل‌کننده) بود (۴۲/۳ درصد). مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۲ نشان داد که تیمار تنش شوری صفر و مصرف بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید (۲۰۰ میکرومولار) و تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تعدیل‌کننده شاهد به ترتیب بیشترین و کم‌ترین درصد برگ‌های سبز را سبب شدند (۹۱ و ۴۶/۳ درصد). تنش شوری منجر به نکرور برگ‌های مسن‌تر و کاهش وزن تر و خشک در گیاهان می‌گردد (Akay Rastgeldi *et al.*, 2014). همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید در تنش خشکی روی ارقام مختلف انگور نشان داد که این ترکیب باعث کاهش اثرات سو تنش و بهبود شرایط رشدی در انگور گردید (عابدی و همکاران، ۱۳۹۸). مؤمن‌پور و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی اثر تنش شوری بر پایه‌های مختلف پسته، گزارش کردند که با افزایش غلظت نمک در آب آبیاری درصد برگ‌های سبز کاهش معنی‌داری یافت.

جدول ۲- اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده تنش بر درصد برگ‌های سبز و ریزش یافته در چهار پایه پسته

شوری (میلی‌مولار)	تعدیل‌کننده	درصد برگ‌های سبز				درصد برگ‌های ریزش یافته			
		آتلانیتیکا	اینترگريما	آروتا ۱	آروتا ۲	آتلانیتیکا	اینترگريما	آروتا ۱	آروتا ۲
	شاهد	۸۱/۶ ^{abc}	۸۲ ^{ab}	۸۴/۶ ^a	۸۸/۶ ^a	۱۱/۶ ^{ef}	۱۱ ^{de}	۷ ^c	۵ ^c
	گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار	۸۳/۶ ^{ab}	۷۸ ^{abc}	۸۵/۳ ^a	۸۹/۳ ^a	۱۰/۶ ^f	۱۰/۳ ^{de}	۶/۳ ^c	۴/۳ ^c
صفر	گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار	۸۳/۳ ^{ab}	۷۹ ^{abc}	۸۶/۶ ^a	۹۰/۶ ^a	۱۱ ^{ef}	۱۰/۶ ^{de}	۶ ^c	۴ ^c
	سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار	۸۳/۳ ^{ab}	۷۷/۶ ^{abc}	۸۶ ^a	۹۰ ^a	۱۰/۶ ^f	۱۰/۳ ^{de}	۶ ^c	۴ ^c
	سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار	۸۴/۳ ^a	۸۳/۳ ^a	۸۷ ^a	۹۱ ^a	۱۰/۳ ^f	۶/۳ ^e	۶ ^c	۴ ^c
	شاهد	۷۴/۳ ^f	۶۹/۶ ^{cd}	۸۵/۳ ^a	۸۹/۳ ^a	۱۲/۳ ^e	۱۶/۶ ^c	۶/۶ ^c	۴/۶ ^c
	گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار	۷۵/۳ ^{ef}	۷۳/۳ ^{bc}	۸۶ ^a	۹۰ ^a	۱۱/۳ ^{ef}	۱۴/۳ ^{cd}	۶/۶ ^c	۴/۶ ^c
۱۰۰	گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار	۷۷/۳ ^{ef}	۷۰/۶ ^{cd}	۸۶/۶ ^a	۹۰/۶ ^a	۱۱ ^{ef}	۱۴ ^{cd}	۵/۶ ^c	۳/۶ ^c
	سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار	۷۸/۶ ^{cde}	۷۶/۳ ^{abc}	۸۵/۶ ^a	۸۹/۶ ^a	۱۰/۳ ^f	۱۱/۶ ^{cd}	۶/۶ ^c	۴ ^c
	سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار	۸۰ ^{bcd}	۷۸/۳ ^{abc}	۸۵/۶ ^a	۸۹/۶ ^a	۱۰/۳ ^f	۱۳ ^{cd}	۶ ^c	۴ ^c
	شاهد	۱۰/۳ ^j	۳۰/۶ ^f	۴۲/۳ ^d	۴۶/۳ ^d	۳۷ ^a	۵۴ ^a	۲۲/۳ ^a	۲۰/۳ ^a
	گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار	۱۳/۳ ^j	۳۸ ^f	۴۳/۳ ^d	۴۷/۳ ^d	۳۵ ^b	۵۰ ^a	۲۲ ^a	۲۰ ^a
۲۰۰	گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار	۱۹/۶ ⁱ	۳۷/۳ ^f	۵۱/۳ ^c	۵۴ ^c	۳۳ ^c	۴۹ ^a	۱۷/۶ ^b	۱۵/۶ ^b
	سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار	۲۵ ^h	۵۶/۳ ^e	۵۱/۳ ^c	۵۵/۳ ^c	۳۲ ^{cd}	۳۹ ^b	۱۶/۶ ^b	۱۴/۶ ^b
	سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار	۲۹/۶ ^g	۶۳ ^d	۵۵/۳ ^b	۵۹/۳ ^b	۳۱ ^d	۴۰ ^b	۱۶/۳ ^b	۱۴/۳ ^b

حروف غیرمشابه در هر ستون بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

درصد برگ‌های ریزش یافته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که در هر چهار پایه آتلانتیکا، اینترگريما، آروتا ۱ و آروتا ۲ اثرات اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده شوری و اثر متقابل آن‌ها بر درصد برگ‌های ریزش یافته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که در پایه آتلانتیکا تیمار شوری ۲۰۰ و تعدیل‌کننده

شاهد (بدون تعدیل‌کننده) بیشترین درصد برگ‌های

ریزش یافته را سبب شد (۳۷ درصد)؛ در حالی که تیمار شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار کم‌ترین درصد برگ‌های ریزش یافته را نشان داد (۱۰/۳ درصد). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) در پایه اینترگريما نشان داد که تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده شاهد بیشترین درصد برگ‌های ریزش یافته

یون‌ها به‌ویژه سدیم در برگ و واکوئل، ظرفیت آن‌ها را کاهش داده و سبب خزان برگ‌ها گردید (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین کاربرد سدیم‌نیتروپروساید در شرایط تنش شوری از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی باعث رشد و عملکرد بهتر گیاه بامیه شد (Sundararajan et al., 2022).

قطر ساقه:

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که در هر چهار پایه آتلانتیکا، اینتگریمما، آروتا ۱ و آروتا ۲، اثرات اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده شوری (به‌استثنای پایه آروتا ۲) در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) در پایه آتلانتیکا نشان داد که تیمار تنش شوری صفر با میانگین ۳/۱ سانتیمتر و تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار با میانگین ۱/۹ سانتی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین قطر ساقه را سبب شدند. همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار باعث افزایش ۲۳/۵۲ درصدی قطر ساقه نسبت به تیمار تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) گردید. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) در پایه اینتگریمما نشان داد با افزایش تنش شوری از صفر به ۲۰۰ میلی‌مولار از میزان قطر ساقه به طرز معنی‌داری کاسته شد و کمترین قطر ساقه در تنش شوری شدید (۲۰۰ میلی‌مولار) مشاهده شد. همچنین کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش

(۵۴ درصد) را سبب شد، درحالی‌که تیمار تنش شوری صفر و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار کم‌ترین درصد برگ‌های ریزش یافته (۶/۳ درصد) را نشان داد. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۱ نشان داد که تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) نسبت به تیمار تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار باعث افزایش ۱۶/۶۷ درصدی برگ‌های ریزش یافته در این پایه پسته گردید. همچنین مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) در پایه آروتا ۲ نشان داد که تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و تعدیل‌کننده شاهد بیشترین (۲۰/۳ درصد) و تیمار تنش شوری ۱۰۰ و گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار کم‌ترین درصد برگ‌های ریزش یافته (۳/۶ درصد) را سبب شد. تنش شوری باعث علائم رنگ‌پریدگی، سوختگی نوک و حاشیه برگ، نکروزه و پپچش برگ‌ها و در نهایت خزان برگ در گیاه زیتون تلخ تحت تنش شوری شد، به‌طوری‌که افزایش تنش شوری از ۱۵ به ۲۰ ds/m باعث سوختگی نوک و حاشیه برگ تمام نهال‌ها و نهایتاً پهنک‌برگ گردید که علت آن را چنین بیان کردند که غلظت بالای نمک در اطراف ریشه و افزایش پتانسیل اسمزی محلول در خاک سبب شده که میزان نمک واردشده بیشتر از حد آستانه تحمل این‌گونه باشد و در نهایت منجر به انتقال یون‌های سمی به اندام‌های گیاه شده که با انباشت و تجمع این

معنی دار قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد گردید. مصرف گلیسرول اثری در افزایش قطر ساقه اینتگریمما نداشت. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۱ نشان داد بیشترین قطر ساقه در تیمار تنش شوری صفر و کمترین قطر در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. تیمارهای گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار و سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار باعث افزایش معنی دار قطر ساقه نسبت به تیمار شاهد (بدون تعدیل کننده) گردیدند. بیشترین قطر ساقه با میانگین ۴/۳ سانتیمتر مربوط به غلظت بالای سدیم نیتروپروساید بود. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۲ نشان داد تنها تنش شوری شدید (۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) باعث کاهش معنی دار قطر ساقه نسبت به شرایط بدون تنش گردید. همچنین کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در افزایش قطر ساقه این پایه مؤثر نبود (جدول ۳).

جدول ۳- اثرات ساده تنش شوری و تعدیل کننده تنش بر قطر ساقه و طول میانگره در چهار پایه پسته

طول میانگره (سانتی‌متر)				قطر ساقه (سانتی‌متر)				تیمار
آروتا ۱	آروتا ۲	اینترگریمما	آتلاتیکا	آروتا ۱	آروتا ۲	اینترگریمما	آتلاتیکا	
شوری (میلی‌مولار)								
۷/۱۰ ^a	۷/۱۰ ^a	۶/۰۲ ^a	۵/۷۶ ^a	۲/۸ ^a	۳/۲ ^a	۴/۱ ^a	۳/۱ ^a	صفر
۶/۸۶ ^b	۶/۴ ^b	۵/۴۵ ^b	۵/۷۱ ^a	۲/۱ ^b	۳/۱ ^a	۳/۸ ^b	۲/۶ ^b	۱۰۰
۵/۵۸ ^c	۵/۵ ^c	۴/۷۴ ^c	۴/۷۶ ^b	۱/۶ ^c	۲/۱ ^b	۲/۹ ^c	۱/۹ ^c	۲۰۰
تعدیل کننده								
۶/۴۳ ^a	۶/۴۸ ^a	۵/۸۱ ^a	۵/۵۳ ^a	۳/۴ ^c	۲/۹ ^a	۳/۴ ^b	۳/۹ ^c	شاهد
۶/۵۵ ^a	۶/۳۶ ^a	۵/۶۱ ^a	۵/۶۰ ^a	۳ ^a	۳/۵ ^c	۳/۳ ^b	۳/۸ ^c	گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار
۶/۴۸ ^a	۶/۴۳ ^a	۵/۵۲ ^a	۵/۲۶ ^a	۴/۱ ^{ab}	۳/۱ ^a	۳ ^b	۴/۲ ^{bc}	گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار
۶/۵۸ ^a	۶/۳۵ ^a	۵/۶۱ ^a	۵/۳۳ ^a	۳/۸ ^{bc}	۳ ^a	۳/۹ ^a	۴/۹ ^{ab}	سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار
۶/۴۵ ^a	۶/۶۶ ^a	۵/۶۲ ^a	۵/۳۱ ^a	۴/۳ ^a	۳/۱ ^a	۴/۲ ^a	۵/۱ ^a	سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار

حروف غیر مشابه در هر ستون از هر تیمار بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

طبق بررسی‌های Sezer et al. (۲۰۲۱) کاربرد پایین‌ترین سطح تنش شوری ($0/27 \text{ dsm}^{-1}$) سبب بیشترین قطر ساقه با میانگین ۶/۴ میلی‌متر در ذرت شیرین شد. همچنین با بررسی اثر سدیم نیتروپروساید در شرایط تنش شوری در آفتابگردان بیشترین قطر ساقه در گیاه با کاربرد بالاترین سطح سدیم نیتروپروساید

بالاترین سطح تنش شوری (۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) نسبت به تیمار تنش شوری صفر باعث کاهش ۲۷ درصدی طول میان‌گره شد. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۱ نشان داد که تیمارهای تنش شوری صفر و تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب بیشترین و کم‌ترین طول میانگره با میانگین‌های ۷/۱ و ۵/۵ سانتی‌متر را سبب شدند. مقایسه میانگین‌ها در پایه آروتا ۲ نشان داد که تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به تنش شوری صفر باعث کاهش ۲۷،۲۷ درصدی طول میانگره گردید (جدول ۳). تنش شوری ممکن است با کاهش فشار تورژسانس در گیاه و در نتیجه کاهش رشد و نمو بیشتر سلول، ریشه، اندام هوایی و برگ را کاهش دهد (Sirousmehr et al., 2014). تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ و طول میان‌گره در ارقام مختلف (*Cucurbita* sweet gourd) (*Khatoon et al., 2022*) شد. همچنین وزن تر و خشک‌ریشه و اندام هوایی، تعداد گره، طول میانگره، تعداد ساقه، ارتفاع بوته و قطر ساقه با افزایش غلظت نمک از ۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار در ارقام مختلف زیتون کاهش یافت (Poury et al., 2022).

وزن خشک ساقه:

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و تعدیل‌کننده‌های تنش در هر چهار پایه در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد

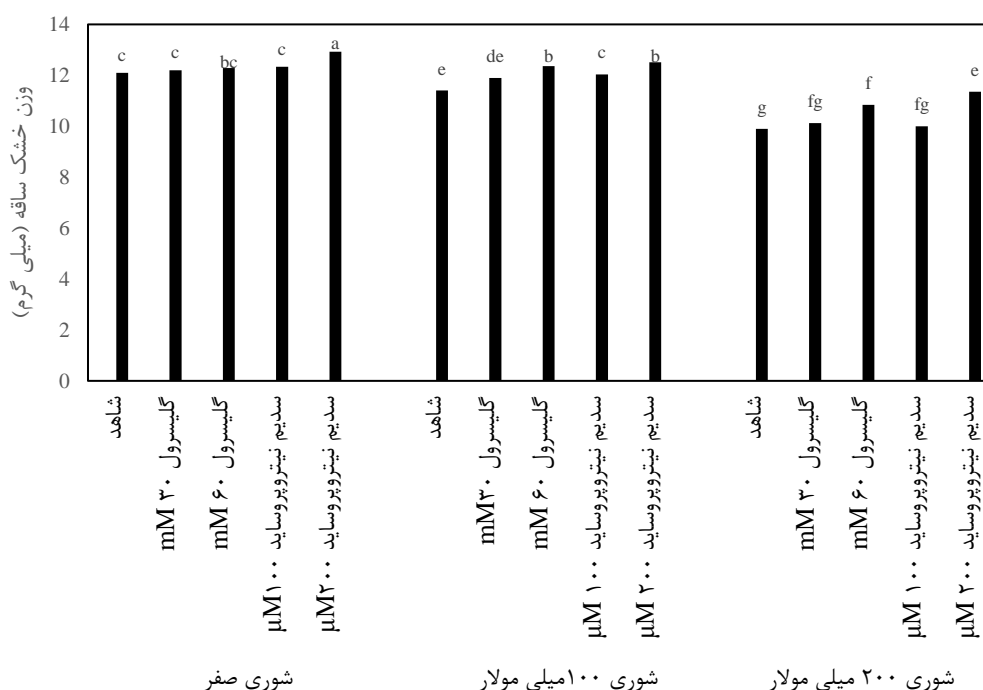
(۵/۰ میلی‌مولار) در شرایط عدم تنش شوری با میانگین ۳/۶ سانتی‌متر به دست آمد (Ramadan et al., 2019). استفاده از تیمار ۱۰۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید نسبت به سایر تیمارها (۰، ۵۰ و ۲۰۰ میکرومولار) بیشترین قطر ساقه آلسترومیریا را حاصل کرد (صادقی و جبارزاده، ۱۴۰۱). برخلاف نتایج این آزمایش مشاهده شد که کاربرد سدیم نیتروپروساید بر قطر ساقه گیاه گلرنگ اثر معنی‌داری نداشت (عرب و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین در بررسی‌های (Mirfattahi et al., 2017) تنش شوری باعث کاهش بیوماس، ارتفاع و قطر ساقه و تعداد برگ‌های پسته شد.

طول میان‌گره

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) در چهار پایه آتلانتیکا، اینتگریمما، آروتا ۱ و آروتا ۲ نشان داد که تنها اثرات اصلی تنش شوری در سطح احتمال آماری یک درصد بر میزان طول میانگره معنی‌دار بودند. اثر کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در هیچ‌یک از پایه‌ها تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۳) نشان داد که در پایه آتلانتیکا تیمار تنش شوری صفر و ۱۰۰ میلی‌مولار اختلاف معنی‌داری از نظر طول میانگره نداشتند اما تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار باعث کاهش ۱۶/۴۹ درصدی طول میانگره نسبت به تیمار شاهد گردید. مقایسه میانگین‌ها در پایه اینتگریمما نشان داد

(بدون تعدیل‌کننده) کمترین میزان وزن خشک ساقه را نشان داد. همچنین در شرایط تنش شوری متوسط و شدید کاربرد غلظت بالای گلیسرول نیز اختلاف معنی‌داری با تیمار بدون تعدیل‌کننده داشت.

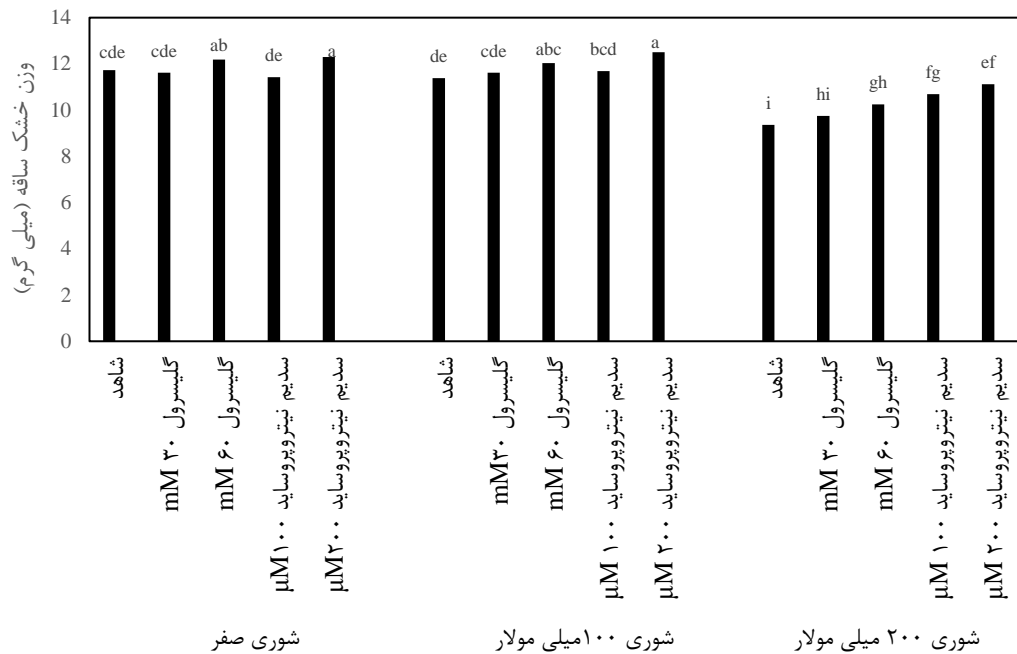
و اثرات متقابل تیمارها فقط در پایه آتلانتیکا و آروتا ۱ معنی‌دار شد. در پایه آتلانتیکا تیمار تنش شوری صفر و کاربرد غلظت بالای سدیم نیتروپروساید بیشترین وزن خشک ساقه را سبب شد (شکل ۱) و تیمار تنش شوری شدید (۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و تعدیل‌کننده شاهد



شکل ۱- اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده تنش بر وزن خشک ساقه در پایه آتلانتیکا

کلرید سدیم) کاهش معنی‌داری در وزن خشک ساقه مشاهده شد (شکل ۲).

تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل تنش شوری و تعدیل‌کننده‌های تنش بر وزن خشک ساقه در پایه آروتا ۱ معنی‌دار بود. در این پایه میزان وزن خشک ساقه در شرایط تنش متوسط اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون تنش نداشت؛ اما در شرایط تنش شدید (۲۰۰ میلی‌مولار



شکل ۲- اثر متقابل تنش شوری و تعدیل کننده تنش بر وزن خشک ساقه در پایه آروتا ۱

حال تعرق مسن تر می‌رسد و در نهایت منجر به تنش اکسیداتیو در سیستم‌های فتوسنتزی و جلوگیری از رشد گیاه می‌شود (Adams *et al.*, 2019). نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده تنش شوری و تعدیل کننده‌های تنش بر صفت وزن خشک ساقه در پایه‌های اینتگریمما و آروتا ۲ معنی‌دار بود. در پایه اینتگریمما میانگین وزن خشک ساقه در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کاهش ۲۲/۲۷ درصدی نسبت به تیمار شوری صفر داشت. همچنین تیمار گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار و هردو غلظت سدیم نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک

طی گزارشی Raoufi *et al.* (۲۰۲۰) بیان نمودند که افزایش سطح تنش شوری باعث کاهش وزن خشک برگ، ساقه و ریشه در پسته شد. با افزایش غلظت کلرید سدیم از ۳۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار در درخت مرکبات Citrus 'US-942' باعث کاهش وزن خشک ساقه و ریشه شد که علت آن را چنین بیان کردند که نمک از طریق سیگنال دهی بر واکنش‌های هورمونی و تنظیم تنش اسمزی بر رشد گیاه تأثیرگذار است. در ابتدا، کاهش زیست‌توده گیاهی به دلیل سیگنال‌های هورمونی تولیدشده توسط ریشه صورت می‌گیرد. متعاقباً، هنگامی که مقادیر بیش از حد نمک وارد گیاه شود و به سطوح سمی در برگ‌های در

ساقه نسبت به تعدیل‌کننده شاهد (بدون تعدیل‌کننده) شدند. بیشترین وزن خشک ساقه با میانگین ۱۴/۶۴ میلی گرم مربوط به تیمار تنش شوری صفر بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد در پایه آروتا ۲ با افزایش تنش شوری کاهش معنی‌داری در وزن خشک ساقه مشاهده شد و کمترین وزن خشک مربوط به تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بود. همچنین کاربرد غلظت بالای گلیسرول (۶۰ میلی‌مولار) و هردو غلظت سدیم نیتروپروساید باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک ساقه نسبت به تعدیل‌کننده شاهد (نبود تعدیل‌کننده) شدند. بیشترین وزن خشک در بین سه گیاه (Rose,)

Lisianthus, Sunflower و سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید (۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میکرومول)، در گیاه (Rose) و کاربرد ۲۰ میکرومول سدیم نیتروپروساید به دست آمد (Naziri Moghaddam *et al.*, 2021). برخلاف نتایج این آزمایش، اثر متقابل عدم تنش شوری وعدم مصرف سدیم نیتروپروساید باعث بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در گیاه بامیه شد (Sundararajan *et al.*, 2022). کاربرد ۱۰ میکرومول سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن خشک ریشه، ساقه و بیوماس سویا تحت تنش شوری نسبت به عدم مصرف سدیم نیتروپروساید شد (Jabeen *et al.*, 2021).

جدول ۴- اثرات ساده تنش شوری و تعدیل‌کننده تنش بر وزن خشک ساقه در پایه‌های اینتگریمما و آروتا ۲

وزن خشک ساقه (میلی‌گرم)		تیمار
آروتا ۲	اینتگریمما	
شوری (میلی‌مولار)		
۱۰/۲۲ ^a	۱۴/۶۴ ^a	صفر
۱۰/۰ ^b	۱۲/۹۵ ^b	۱۰۰
۸/۶۶ ^c	۱۱/۳۸ ^c	۲۰۰
تعدیل‌کننده		
۸/۰۹ ^c	۱۲/۳۵ ^c	شاهد
۸/۲۲ ^c	۱۲/۵۹ ^c	گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار
۸/۹۶ ^b	۱۳/۰۴ ^b	گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار
۹/۲۳ ^{ab}	۱۳/۲۸ ^b	سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار
۹/۵۴ ^a	۱۳/۷۰ ^a	سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار

حروف غیرمشابه در هر ستون از هر تیمار بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

وزن خشک‌ریشه:

می‌تواند ناشی از کمبود کلسیم ناشی از نمک باشد، در واقع، غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی، فعالیت کلسیم را کاهش می‌دهد که در نهایت رشد ریشه می‌تواند به شدت و به سرعت تحت تأثیر قرار گیرد (Adams *et al.*, 2019). در گیاه سویا تنش شوری باعث کاهش وزن خشک‌ریشه، ساقه و بیوماس نسبت به تیمار شاهد به ترتیب با میانگین‌های ۴۰٪، ۴۶٪ و ۵۲٪ شد (Jabeen *et al.*, 2021). سدیم نیتروپروساید یک رادیکال نسبتاً پایدار است که در فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی، پاتوفیزیولوژیکی و تکاملی مانند جوانه‌زنی، بسته شدن روزنه، پاسخ پاتوژن و رشد ریشه نقش دارد (Alipour *et al.*, 2018). تنش شوری باعث کاهش وزن خشک‌ریشه در گیاه سرخارگل شد، در حالی که کاربرد تیمار ۰/۲ میلی‌مولار سدیم نیتروپروساید سبب افزایش وزن خشک‌ریشه در این شرایط تنشی گردید (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). کاربرد سدیم نیتروپروساید در گیاه دارویی سیاه‌دانه باعث افزایش وزن خشک‌ریشه ۰/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف سدیم نیتروپروساید) شد (کبیری و همکاران، ۱۴۰۰). کاربرد سدیم نیتروپروساید باعث افزایش وزن خشک‌ریشه و برگ در گیاه (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش شوری شد (Asadi-Sanam *et al.*, 2018).

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) در هر چهار پایه آتلانتیکا، اینترگیمما، آروتا ۱ و آروتا ۲ نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری و تعدیل‌کننده شوری (به‌استثنای آتلانتیکا) در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار بودند. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) در پایه آتلانتیکا نشان داد که بالاترین سطح تنش شوری (۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) باعث کاهش ۲۰/۷۲ درصدی وزن خشک‌ریشه نسبت به تیمار تنش شوری صفر گردید. مقایسه میانگین‌ها در پایه اینترگیمما نشان داد که با افزایش تنش شوری از میزان وزن خشک‌ریشه کاسته شد به طوری که کمترین وزن خشک‌ریشه با میانگین ۱۰/۱ میلی‌گرم مربوط به تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بود. همچنین کاربرد تمام تیمارهای تعدیل‌کننده باعث افزایش معنی‌داری در وزن خشک‌ریشه نسبت به شاهد گردید و تیمار سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار بیشترین میزان وزن خشک ریشه را سبب شد (۱۲ میلی‌گرم). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) در پایه آروتا ۱ و آروتا ۲ نیز نشان داد با افزایش تنش شوری از میزان وزن خشک‌ریشه به‌طور معنی‌داری کاسته شد و کمترین وزن خشک در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش نیز باعث افزایش میانگین وزن خشک‌ریشه در هر دو پایه گردید و بیشترین میزان وزن خشک‌ریشه مربوط به تیمار سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار بود. کاهش رشد ریشه

میزان قند:

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده تنش شوری در هر چهار پایه در سطح احتمال آماری یک درصد معنی دار بود. اثرات ساده تعدیل کننده‌های تنش تنها در پایه آروتا ۲ معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد در هر چهار پایه با افزایش تنش شوری در حد متوسط (۱۰۰ میلی مولار) میزان قند نسبت به تیمار تنش صفر افزایش معنی داری یافت. با شدت یافتن تنش و افزایش غلظت نمک از میزان قند هر چهار پایه کاسته شد به طوری که بیشترین میزان قند در غلظت ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم (تنش متوسط) مشاهده شد. در پایه آروتا ۲، کاربرد تعدیل کننده‌های تنش باعث افزایش میزان قند شد به طوری که غلظت بالای گلیسرول باعث افزایش ۴/۴۷ درصدی میزان قند و غلظت بالای سدیم نیتروپروساید باعث افزایش ۸/۶۲ درصدی میزان قند گردید (جدول ۵). تجمع کربوهیدرات‌ها احتمالاً توانایی گیاهان را برای جلوگیری از

مرگ بافت تحت تنش شوری از طریق افزایش تنظیم اسمزی، محافظت از مولکول‌ها و متعادل کردن یون‌های انباشته شده در واکوئل‌ها بهبود می‌بخشد (Raoufi et al., 2020b). در بررسی‌های Mascellani et al. (۲۰۲۱) مشاهده شد که تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم نسبت به عدم تنش شوری باعث کاهش کربوهیدرات‌های محلول در گیاه شد، به نحوی که در تیمار ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم میزان کربوهیدرات محلول با میانگین ۴۹۰/۹ میلی گرم بر گرم و در تیمار عدم تنش شوری با میانگین ۵۱۱/۶ میلی گرم بر گرم به ترتیب بیشترین و کم‌ترین میزان کربوهیدرات محلول حاصل شد. با افزایش سطح تنش شوری (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار) در گیاه صنوبر (*Silver Fir (Abies alba Mill)* میزان کل قندهای محلول افزایش یافت (Todea et al., 2020). در پژوهشی دیگر کاربرد ۱ میلی مولار آرژنین توأم با ۵۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید در گیاه پسته باعث بیشترین میزان قند شد (Eslami & Nasibi, 2019).

جدول ۵- اثرات ساده تنش شوری و تعدیل‌کننده تنش بر وزن خشک ریشه و میزان قند در چهار پایه پسته

تیمار	وزن خشک ریشه (میلی‌گرم)				میزان قند (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)			
	آتلاتیکا	اینترگريما	آروتا ۱	آروتا ۲	آتلاتیکا	اینترگريما	آروتا ۱	آروتا ۲
شوری (میلی‌مولار)								
صفر	۱۱/۱ ^a	۱۲/۶ ^a	۱۰/۵ ^a	۱۱/۸ ^a	۳۶/۷ ^c	۲۸/۳ ^c	۴۸/۵ ^c	۵۱/۸۰۵ ^c
۱۰۰	۱۰/۱ ^b	۱۲/۱ ^b	۸/۵ ^b	۱۰ ^b	۶۵/۳ ^a	۵۴/۷ ^a	۷۷/۶ ^a	۷۶/۳۰۰ ^a
۲۰۰	۸/۸ ^c	۱۰/۱ ^c	۷/۱ ^c	۸/۹ ^c	۴۴/۳ ^b	۳۳/۸ ^b	۵۶/۵ ^b	۷۴/۱۷۸ ^b
تعدیل‌کننده								
شاهد	۱۰/۴۴ ^a	۱۱ ^d	۶/۹ ^c	۸ ^d	۴۷/۱۱۷ ^a	۳۸/۵۸۷ ^a	۵۸/۴۲۴ ^a	۶۴/۸۲۰ ^c
گلیسرول ۳۰ میلی‌مولار	۱۰/۴۵۸ ^a	۱۱/۴ ^c	۷ ^c	۸/۸ ^c	۴۸،۹۸۷ ^a	۳۸/۰۳۸ ^a	۶۱/۰۶۰ ^a	۶۶/۱۰۰ ^{bc}
گلیسرول ۶۰ میلی‌مولار	۱۰/۸۸۵ ^a	۱۱/۷ ^b	۸/۳ ^b	۹/۳ ^{bc}	۴۹،۴۴۱ ^a	۳۹/۸۵۳ ^a	۶۱/۷۵۶ ^a	۶۷/۷۲۹ ^b
سدیم نیتروپروساید ۱۰۰ میکرومولار	۱۰/۲۰۸ ^a	۱۱/۹ ^{ab}	۸/۵ ^b	۱۰ ^{ab}	۴۹،۶۳۳ ^a	۴۰/۲۱۸ ^a	۶۱/۸۴۸ ^a	۶۸/۷۴ ^b
سدیم نیتروپروساید ۲۰۰ میکرومولار	۱۰/۴۹۱ ^a	۱۲ ^a	۹/۹ ^a	۱۰/۸ ^a	۴۹،۹۴۳ ^a	۴۰/۱۶۷ ^a	۶۱/۶۲۶ ^a	۷۰/۴۱۶ ^a

حروف غیرمشابه در هر ستون از هر تیمار بیان‌گر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

هم‌چنین باعث افزایش صفات مورفولوژیکی مثل وزن خشک ساقه و ریشه و قطر ساقه در برخی پایه‌ها شد. علاوه بر این، مشخص شد که اثربخشی تعدیل‌کننده سدیم نیتروپروساید در گیاه پسته تحت شرایط تنش شوری، بیشتر و بهتر از هر دو غلظت گلیسرول بود.

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل تنش غیرزیستی است که بر رشد و بهره‌وری پسته تأثیرگذار است. با بررسی برخی صفات مورفولوژیک-فیزیولوژیک در این آزمایش، به نظر می‌رسد که استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث جبران اثرات منفی تنش شوری شده است، به نحوی که در شرایط تنش شوری کاربرد غلظت بالای این تعدیل‌کننده (۲۰۰ میکرومولار) باعث افزایش میزان تولید و تجمع قند گردید و

منابع

۱. سجادیان، ح، و هاشمی نسب، ح. (۱۳۹۹). ارزیابی پایه‌ها و دو رگ‌های بین‌گونه‌ای جنس پسته (*Pistacia sp.*) در شرایط تنش شوری بر

- هربان بر صفات مورفولوژیکی نهال زیتون تلخ (*Melia azedarach* L.) مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱ (۲۸)، ۳۶-۲۱.
۸. مومن‌پور، ع، رسولی، م، ایمانی، ع. (۱۳۹۵). اثر تنش شوری بر خصوصیات رشدی، تغییرات فلورسانس کلروفیل و غلظت عناصر غذایی در رقم ۱۴ پسته. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۳ (۲)، ۹۱-۱۲۱.
۹. نریمانی، ر، مقدم، م، و شکوهی، د. (۱۳۹۶). بررسی غلظت‌های مختلف سدیم نیتروپروساید بر تخفیف صدمات اکسایشی ناشی از تنش آبی حاصل از پلی اتیلن گلیکول در گیاه دارویی پونه بی کرک. مجله تولیدات گیاهی، ۴۰ (۳): ۷۷-۸۹.
10. Adams, S.N., Ac-Pangan, W.O. & Rossi, L. (2019). Effects of soil salinity on citrus rootstock 'US-942' physiology and anatomy. HortScience, 54(5), 787-792.
11. Akay Rastgeldi, Z.H., Pakyürek A.Y., & Söylemez S. (2014). Effect of different salt concentration on some plant growth parameters and content of Na, K, Ca and Mg in pepper. 10. Vegetable Agriculture Symposium, 2-4 September 2014. Namik Kemal University, Agricultural Faculty, Tekirdag/Turkey, pp 226-232 (in Turkish).
12. Alipour, H., Kafi, M., Nezami, A. & Mohammadi, A.H. (2018). Effects of the Timing of Foliar Application and Concentrations of Growth Regulators on the Mineral Content of Pistachio Leaves. Journal of Nuts, 9(2), 93-103.
13. Aras, S., Keles, H. & Eşitken, A. (2020). SNP mitigates malignant salt effects on apple plants. Erwerbs-Obstbau, 62(1), 107-115.
14. Asadi-Sanam, S., Mohammadi, S.M., Rameeh, V. & Gerami, M. (2018). Effect of sodium nitroprusside (SNP) on some of biochemical characteristics of purple coneflower [*Echinacea purpurea* (L.) Moench] under salinity stress. Journal of Plant Process and Function, 7(23), 123-138.
- اساس برخی شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک در شرایط گلخانه. مجله علوم و فناوری پسته، ۵ (۹)، ۱۵۲-۱۷۱.
۲. شهبازی منشادی، ش، کمالی علی‌آبادی، ک. و تاج آبادی‌پور، ع. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی تغذیه پسته رقم احمد آقایی با استفاده از روش تاگوچی. مجله علوم و فناوری پسته، ۴ (۸)، ۱۰۵-۱۱۹.
۳. صادقی، س، و جبارزاده، ز. (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد برگ‌های سدیم نیتروپروساید بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک آلسترومریا (*Alstroemeria aurea*) رقم Queen Orange در شرایط کشت هیدروپونیک. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۵۱ (۱۱)، ۳۵-۵۱.
۴. عابدی، ب، آران، م، تهرانی فر، ع، پارسا، م، داورپناه، س، و مزارعی، ایوب. (۱۳۹۸). تأثیر سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک سه رقم انگور در شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های میوه کاری، ۴ (۲)، ۱۷-۱.
۵. عرب، ص. (۱۳۹۱). تأثیر محلول پاشی اسید اسکوربیک و سدیم نیتروپروساید بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گلرنگ تحت شرایط کم آبیاری. پایان‌نامه ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۹۲ صفحه.
۶. محمدی، م، رامنه، و ا، گرامی، م، اسدی‌صنم، و خوش‌روز، س. (۱۳۹۷). اثر سدیم نیتروپروساید (NSP) بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) تحت تنش شوری. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۲۳ (۷)، ۱۳۹-۱۲۴.
۷. محمدی، ه، پیام‌نور، نظری، ج، و آتشی، ص. (۱۴۰۰). بررسی اثر تنش شوری و کود معدنی

22. Khatoon, R., Hossain, M.M., Rahim, M.A., Rahman, M.H. & Akter, L. (2022). Genotypic differences in plant growth responses and ion accumulations to salt stress conditions of sweet gourd (*Cucurbita moschata*). *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2), 373-384.
23. Mascellani, A., Natali, L., Cavallini, A., Mascagni, F., Caruso, G., Gucci, R., Havlik, J. & Bernardi, R. (2021). Moderate salinity stress affects expression of main sugar metabolism and transport genes and soluble carbohydrate content in ripe fig fruits (*Ficus carica* L. cv. Dottato). *Plants*, 10(9), 48-61.
24. Mirfattahi, Z., Karimi, S. & Roozban, M.R. (2017). Salinity induced changes in water relations, oxidative damage and morpho-physiological adaptations of pistachio genotypes in soilless culture. *Acta agriculturae Slovenica*, 109(2), 291-302.
25. Naziri Moghaddam, N., Hashemabadi, H., Kaviani, B., Safari Motlagh, M.R. & Khorrami Raad, M. (2021). Effect of sodium nitroprusside on the vase life of cut rose, lisianthus, and sunflower. *Journal of Ornamental Plants*, 11(3), 185-195.
26. Nelson, N. (1944). Photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. *Journal of Biological Chemistry* 153: 375 -380
27. Pours, N., Seifi, E. & Alizadeh, M. (2022). Effects of Salinity and Proline on Growth and Physiological Characteristics of Three Olive Cultivars. *Gesunde Pflanzen*, pp 1-12.
28. Ramadan, A.A., Abd Elhamid, E.M. & Sadak, M.S. (2019). Comparative study for the effect of arginine and sodium nitroprusside on sunflower plants grown under salinity stress conditions. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-12.
29. Raoufi, A., Rahemi, M., & Akbari, M. (2020). Glycerol foliar application improves salt tolerance in three pistachio rootstocks. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(6), 426-437.
30. Raoufi, A., Rahemi, M., Salehi, H. & Javanshah, A. (2020). Selecting high performance rootstocks for pistachio
15. Eslami, M., Nasibi, F., Manouchehri Kalantari, K., Khezri, M. & Oloumi, H. (2019). Effect of exogenous application of l-arginine and sodium nitroprusside on fruit abscission and physiological disorders of pistachio (*Pistacia vera* L.) Scions. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 6(1), 51-62.
16. Eastmond, P.J. (2004). Glycerol-insensitive Arabidopsis mutants: glil seedlings lack glycerol kinase, accumulate glycerol and are more resistant to abiotic stress. *The Plant Journal*, 37(4), 617-625.
17. Fan, H., Du, C. & Guo, S. (2012). Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, 137(2), 127-133.
18. Garcia, S.F., Martinez, V., Jifon, J., Syvertsen, J.P., & Grosser, J.W. (2001). Salinity reduces growth, gas exchange, chlorophyll and nutrient concentration in diploid sour orange and related allotetraploid somatic hybrids. *Journal of Horticulture Science and Biotechnology*. 77: 379-386.
19. Goharrizi, K.J., Baghizadeh, A., Kalantar, M. & Fatehi, F. (2020). Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae*. 261:108970.
20. Jabeen, Z., Fayyaz, H.A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M.N., Li, J., Rehman, S., Haider, W., Yasmin, H., Mumtaz, S. & Bukhari, S.A.H. (2021). Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *PLoS One*, 16(4), e0248207.
21. Kaya, C., Aydemir, S., Sonmez, O., Ashraf, M. & Dikilitas, M. (2013). Regulation of growth and some key physiological processes in salt-stressed maize (*Zea mays* L.) plants by exogenous application of asparagine and glycerol. *Acta Botanica Croatica*. 72 (1), 157-168.

- cultivars under salinity stress based on their morpho-physiological characteristics. *International Journal of Fruit Science*, 20(2), S29-S47.
31. Sezer, I., Kiremit, M.S., Öztürk, E., Subrata, B.A.G., Osman, H.M., Akay, H. & Arslan, H. (2021). Role of melatonin in improving leaf mineral content and growth of sweet corn seedlings under different soil salinity levels. *Scientia Horticulturae*, 288, 110376.
 32. Sirousmehr, A., Arbabi, J. & Asgharipour, M.R. (2014). Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Adv. Environ. Biol*, 8(4), 880-885.
 33. Sundararajan, S., Shanmugam, R., Sivakumar, H.P. & Ramalingam, S. (2022). Exogenous supplementation with sodium nitroprusside, a nitric oxide donor, mitigates the effects of salinity in *Abelmoschus esculentus* L. seedlings. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 9(3), 51-63.
 34. Tan, J., Zhao, H., Y. Hong, Y., Li, H. & Zhao, W. (2008). Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedling subjected to osmotic stress. *World journal of Agriculture Science*. 4(3), 307-313.
 35. Todea, I.M., González-Orenga, S., Boscaiu, M., Plazas, M., Sestras, A.F., Prohens, J., Vicente, O. & Sestras, R.E. (2020). Responses to water deficit and salt stress in silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings. *Forests*, 11(4), 395.
 36. Zhang, L., Xuwei, L., Xifeng, L., Zhou, W., Mingyu, H., Lixin, Z. & Bingzhi, L. (2015). Exogenous nitric oxide protects against drought-induced oxidative stress in *Malus* rootstocks. *Turkish Journal of Botany*. 9(40), 17-27

The Effect of Foliar Application of Glycerol and Sodium nitroprusside on Morphological and Physicochemical Characteristics of Pistachio Promising Rootstocks under Salinity Stress

Elahe Mirabi^{1*}, Esmail Seifi², Hossein Hokmabadi³

Abstract

Salinity as one of the most destructive abiotic stresses retards plant growth and performance, especially in arid and semi-arid areas. Sodium nitroprusside is a nitric oxide donor playing an important role in the growth and productivity of plants under normal conditions or under stress. Glycerol is one of the chemical pre-treatments used to enhance the tolerance of plants against environmental stress, especially salt stress. In order to investigate the possible effects of foliar application of glycerol and sodium nitroprusside on some morphological and physicochemical traits of promising pistachio rootstocks under salt stress, a factorial experiment was conducted as a completely randomized design in three replications in a greenhouse in shahrood in 2022. The rootstocks included Atlantica (*P. atlantica*), Integrima (*P. integririma*) and two promising genotypes of Arota. The experiment included two factors. Salinity in three levels (0, 100, 200 mM of sodium chloride) and stress moderators at five levels (30 and 60 mM of glycerol and 100 and 200 μ M of sodium nitroprusside and control). It was found that as the salinity levels increased, there was a decrease in the dry weight of the stem and root, stem diameter, internode length, and the percentage of green leaves. On the other hand, the percentage of fallen leaves and the amount of soluble sugar increased. On the other hand, the percentage of fallen leaves and the amount of soluble sugar increased. Leaf length and width remained unaffected by salinity; however, the application of stress modifiers had a significant impact on other traits such as the percentage of green and fallen leaves, stem dry weight, root dry weight, stem diameter, and sugar content. Out of the treatments investigated, it was found that the Sodium nitroprusside 200 μ M treatment was the most efficient in improving all of the aforementioned traits. It is concluded that effect of sodium nitroprusside was more pronounced in improving salt stress tolerance than glycerol.

Keywords: Arota, Atlantica, Integrima, Sodium chloride

¹ Ph.D. student at Agricultural Science and Natural Resource of Gorgan University.

* Corresponding author: elahemirabi977@yahoo.com

² Associate Professor at Agricultural Science and Natural Resource of Gorgan University.

³ Associate Professor at Agricultural Extension & Education Institute.