

ارزیابی تحمل به شوری دانه‌های پسته با بررسی رشد، آسیب‌های اکسیداتیو و ترکیب

عناصر معدنی

زهرا میرفتاحی^۱، محمودرضا روزبان^۲، سهیل کریمی^{۳*}، وحید توللی^۴ و ساسان علی نیایی فرد^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- نویسنده مسئول: استادیار، گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران (skarimi@ut.ac.ir)

۴- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۵- استادیار، گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۸

چکیده

شور شدن زمین‌های مناطق مرکزی ایران سبب محدود شدن کشت و تولید پسته در طی دهه اخیر شده است. در این پژوهش دانه‌های پسته قزوینی و اکبری و یک هیبرید بین گونه‌ای قزوینی × آتلانتیکا تحت تیمار غلظت‌های کلرید سدیم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در محلول غذایی هوگلند نیم غلظت قرار داده شدند. در انتهای دوره آزمایش، شاخص‌های رشد، غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، شاخص پایداری غشاء، و عناصر معدنی غذایی مورد بررسی قرار گرفتند. تنش شوری به صورت معنی‌داری رشد گیاهان را محدود نمود. بیشترین و کمترین حجم ریشه و میانگین تعداد برگ به ترتیب در دانه‌های پسته اکبری و قزوینی × آتلانتیکا مشاهده شد. سطح برگ دانه‌های اکبری در مقایسه با دیگر دانه‌ها بیشتر بود. همچنین در اثر تنش شوری غلظت کلروفیل کل، شاخص پایداری غشاء، نسبت کلروفیل به کاروتنوئیدها و شاخص سبزیگی برگ به صورت معنی‌داری کاهش یافت. به گونه‌ای که در مقایسه با شاهد، کمترین میزان این شاخص‌ها در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار تنش کلرید سدیم مشاهده شد. با افزایش غلظت کلرید سدیم، غلظت سدیم در شاخساره و ریشه به صورت معنی‌داری افزایش یافت و کاهش معنی‌داری در غلظت پتاسیم و کلسیم در اندام‌های گیاه مشاهده گردید. از طرفی در این شرایط، نسبت سدیم به پتاسیم و نسبت سدیم به کلسیم در شاخساره و ریشه دانه‌های پسته افزایش یافت. کمترین نسبت سدیم به پتاسیم و کمترین نسبت سدیم به کلسیم در دانه‌های قزوینی × آتلانتیکا مشاهده شد. در مجموع، پسته اکبری با توجه به حفظ قدرت رشد، ریزش برگ کمتر و آسیب‌های محدودتر، متحمل‌ترین ژنوتیپ معرفی شد.

کلید واژه‌ها: پتاسیم، سدیم، سطح برگ، کاروتنوئیدها، کلسیم، کلروفیل کل، هوگلند

مقدمه

آبیاری شده در مناطق خشک و نیمه خشک در جهان در اثر تجمع بیش از حد املاح غیرقابل کشت می‌شوند (Qadir et al., 2014; Saadatmand et al., 2007). اصلاح زمین‌های شور پرهزینه و زمان‌بر است، هر چند که معرفی گیاهان متحمل به شوری گزینش شده راهکاری کارآمد و در راستای اهداف کشاورزی پایدار است که می‌تواند به حفظ عملکرد در چنین محیط‌هایی

تنش‌های غیرزیستی و زیستی، عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان هستند. شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که حدود ۷ درصد از کل زمین‌های کشاورزی جهان را تحت تأثیر قرار داده است (Munns, 2005). تخمین زده می‌شود که سالانه حدود ۴-۲ هزار هکتار از زمین‌های

کمک نماید (Ondrasek et al., 2012).

تنش شوری می‌تواند تنش‌های اسمزی و یونی را در گیاه القاء کند که این تنش‌ها به نوبه خود اثراتی ویرانگر بر رشد و نمو گیاه دارند (Parida and Dos, 2005). گیاه در این شرایط دچار تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود که از جمله این تغییرات می‌توان به کاهش رشد، بسته‌شدن روزنه‌ها، تنظیم اسمزی، جداسازی و خروج یون‌های مضر از سیتوسول و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اشاره نمود. در این شرایط اختلال در کارکرد دستگاه فتوسنتز، افزون بر محدودیت تثبیت کربن، منجر به تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن نیز می‌گردد که آسیب‌های اکسیداتیو را در پی دارد (Munns and Tester, 2008). (Pang and Wang, 2008).

پسته مهم‌ترین محصول اقتصادی بخش کشاورزی ایران است. در سال‌های اخیر ایران همراه با آمریکا و ترکیه بیشترین میزان تولیدات پسته را داشتند، به گونه‌ای که در مجموع بیش از ۸۳ درصد از تولیدات جهان را به خود اختصاص دادند (Anonymous, 2013). درختان پسته به دلیل سازگاری با شرایط نامناسب محیطی از جمله شوری آب و خاک، و تحمل نسبی که به خشکی دارند از محدود محصولات باغبانی قابل کشت در بخش‌های خشک مرکزی ایران هستند. کم‌آبی و شوری خاک در این مناطق امری طبیعی است، ولی پدیده تغییر اقلیم جهانی در سال‌های اخیر موجب کاهش بارندگی و تشدید شوری آب و خاک در این مناطق گردیده است که ادامه این روند می‌تواند به‌عنوان یک تهدید جدی برای گسترش پسته در سال‌های آتی مطرح باشد.

در چنین شرایطی، شناسایی و ایجاد پایه‌ها و ارقام متحمل به شوری پسته اهمیت دوچندان می‌یابد. به این ترتیب، پژوهش حاضر با هدف شناسایی سازوکارهای تحمل به شوری در درختان پسته و مقایسه تحمل به شوری دانه‌های ارقام پسته قزوینی و اکبری و هیبرید بین

گونه‌ای پسته قزوینی \times گونه آتلانتیکا در راستای دستیابی به پایه‌های متحمل، در محیط کنترل‌شده و بستر کشت بدون خاک انجام شد. حذف خاک از محیط کشت امکان کنترل دقیق عناصر غذایی را فراهم نموده و با حذف برهمکنش‌های پیچیده بین گیاه، عامل تنش و خاک، سبب بهبود دقت و یکنواختی آزمایش می‌گردد. در بسیاری از پژوهش‌ها، دانه‌های پسته قزوینی تحمل بالایی نسبت به شوری نشان داده‌اند (Hokmabadi et al., 2005; Karimi et al., 2009; Tajabadipour, 2005). گونه آتلانتیکا نیز به‌عنوان یکی از متحمل‌ترین گونه‌های جنس پسته نسبت به شوری شناخته شده است (Ferguson and Benhassaini et al., 2012). Zhang, 2002). از این رو، دانه‌های هیبرید این دو گیاه شاید بتوانند تحمل بالایی نسبت به تنش شوری داشته باشند. افزون بر این، استفاده از دانه‌های اکبری به دلیل قدرت و سرعت رشد زیاد، به‌عنوان پایه در حال گسترش است، در حالی که در خصوص تحمل به شوری این گیاه، گزارش دقیقی در منابع علمی وجود ندارد. ولی در صورت تأیید تحمل به شوری، قدرت رشد زیاد دانه‌های این رقم می‌تواند آن را به یک پایه ارزشمند برای پسته تبدیل نماید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۹۴-۱۳۹۳ در گلخانه پژوهشی و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران انجام شد. بذرهاى مورد استفاده در این پژوهش ارقام قزوینی، اکبری و قزوینی \times آتلانتیکا ($G \times A$) از مؤسسه تحقیقاتی پسته دامغان تهیه شدند. بذر هیبرید قزوینی \times آتلانتیکا ($G \times A$) نیز به وسیله تلاقی‌های کنترل‌شده بین درختان قزوینی به‌عنوان والد مادری و آتلانتیکا به‌عنوان والد پدری به‌دست آمد (Morovati, 2015). بذرها در گلدان‌هایی حاوی ۳/۵ کیلوگرم آمیخته کوکوپیت و پرلاپت به نسبت ۲:۱ حجمی کشت شد. دانه‌ها به مدت ۶۰ روز در این شرایط با محلول

از قسمت بالای گیاه با استفاده از دستگاه کلروفیل متر SPAD 502 (Konica Minolta, Japan) ارزیابی شد. برای اندازه گیری غلظت کلروفیل در این برگ ها، ابتدا تعداد ۱۰ دیسک برگي تهیه شد و با ۵ میلی لیتر DMSO در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه عصاره گیری شدند (Netto et al., 2005). میزان جذب محلول، در طول موج های ۴۸۰، ۶۴۹ و ۶۶۵ ثبت و غلظت کلروفیل a و b و غلظت کاروتنوئیدها (C_{X+C}) محاسبه شد.

$$\text{Chl. a} = 12.25A_{665} - 2.79A_{649}$$

$$\text{Chl. b} = 21.51A_{649} - 510A_{665}$$

$$C_{X+C} = (1000A_{480} - 1.8c_a - 85.02c_b) / 198$$

در انتهای آزمایش پس از خارج کردن دانهال ها از گلدان، گیاهان به اجزای مختلف شاخساره و ریشه تقسیم شدند. پس از یادداشت وزن تر، در پاکت های کاغذی قرار داده شده و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آن ها نیز یادداشت شد. برای اندازه گیری حجم ریشه، از روش جابجایی آب استفاده گردید. بدین منظور، ابتدا مقداری از استوانه مدرج را با آب پر کرده و پس از قرار دادن ریشه ها درون آن، میزان تغییر سطح آب که نشانگر میزان حجم ریشه بود، یادداشت گردید. سطح برگ های گیاهان با استفاده از دستگاه (WinDIAS 3, Delta-T Devices, UK) Delta-T اندازه گیری شد.

غلظت عناصر معدنی سدیم، کلسیم و پتاسیم در شاخساره (برگ و ساقه) و ریشه دانهال های پسته اندازه گیری شد. برای این منظور بافت ها خشک و پودر شدند و یک گرم از پودر خشک به خاکستر تبدیل شد. پس از عصاره گیری با ۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال و آب داغ (Chapman and Pratt, 1961)، غلظت عناصر با فلیم فتومتر (Jenway, PFP7, UK) ارزیابی شد.

این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح

غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) نیم غلظت تغذیه شدند. عمل تغذیه دانهال ها متناسب با نیاز آبی آن ها، هر دو روز یک بار انجام شد. پس از آماده شدن دانهال ها، تنش شوری با کاربرد سطوح مختلف کلرید سدیم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار) در محلول غذایی هوگلند نیم غلظت اعمال گردید. برای جلوگیری از بروز شوک، تیمار کلرید سدیم در سه مرحله و به صورت تدریجی همراه با مواد غذایی به گیاهان داده شد. جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان ها، میزان محلول غذایی که هر گلدان دریافت می نمود، به گونه ای بود که ۲۰ درصد از محلول غذایی دریافت شده از زهکش گلدان خارج می شد. میانگین دمای شب و روز در طول دوره آزمایش به ترتیب ۲۰ و ۳۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی محیط در حد ۶۵ درصد حفظ گردید. گیاهان به مدت ۹۰ روز در این شرایط نگه داشته شدند و در انتهای دوره آزمایش، شاخص های زیر ارزیابی شد.

برای اندازه گیری شاخص پایداری غشاء (MSI)، پس از شستن برگ ها با آب مقطر پنج بار تقطیر و دیونیزه شده، تعداد ۱۵ عدد دیسک برگي تهیه گردید. پس از قرار گیری دیسک های برگي درون ظرف های درب دار و اضافه نمودن ۲۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه شده و انتقال آن ها به حمام آب گرم با دمای ۴۰ درجه سانتی گراد هدایت الکتریکی محلول حاوی دیسک های برگي (C_1) اندازه گیری شد. سپس ظروف حاوی دیسک ها به حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد منتقل شدند و دوباره هدایت الکتریکی آن (C_2) یادداشت شد. اعداد به دست آمده در فرمول یک قرار داده شده و میزان پایداری غشاء محاسبه گردید (Sairam and Srivastava, 2000).

$$\text{MSI} = 1 - C_1 / C_2 \times 100 \quad (1) \text{ فرمول}$$

شاخص سبزیگی چهارمین و پنجمین برگ توسعه یافته

دانه‌های پسته کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۱) و بیشترین و کمترین سطح برگ به ترتیب در تیمارهای شاهد (۶۴۶/۹ سانتی متر مربع) و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم (۲۸۵/۷ سانتی متر مربع) مشاهده شد. میانگین سطح برگ دانه‌های پسته تحت شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی مولار به صورت معنی‌داری نسبت به شاهد کم شد. میزان سطح برگ در دانه‌های اکبری در مقایسه با سایر دانه‌ها، کمتر تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. از سوی دیگر اثر متقابل ژنوتیپ و تنش شوری بر سطح برگ دانه‌ها نیز معنی‌دار بود (شکل ۱). همچنین مشاهده شد که با افزایش شدت تنش شوری، میانگین تعداد برگ به صورت معنی‌داری تغییر کرد. بیشترین تعداد برگ در شاهد و کمترین آن در سطح ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم وجود داشت. در بین دانه‌ها نیز بیشترین و کمترین تعداد برگ به ترتیب در اکبری و قزوینی × آتلانتیکا مشاهده شد (جدول ۱). کاهش رشد برگ یکی از اولین واکنش‌های گیاه به تنش شوری است (Wang and Nii, 2000). این مهم به همراه افزایش ریزش برگ موجب کاهش سطح برگ کل گیاه و از دست رفتن بخش قابل ملاحظه‌ای از زیست توده شاخساره در شرایط تنش شوری می‌شود (Karimi et al., 2009)؛ در شرایط تنش شوری (Levy and Syvertsen, 2004). با کاهش سطح برگ گیاه در اثر تنش شوری، تولید و تجمع تولیدات فتوسنتزی در گیاه کاهش می‌یابد که این امر به کاهش رشد عمومی گیاه می‌انجامد (Karimi et al., 2009). گزارش شده است که گسترش برگ‌ها در شرایط تنش شوری، کاهش و تا مدتی این کاهش ادامه می‌یابد. زمانی که سرعت زوال برگ‌ها بیش از سرعت گسترش آن‌ها باشد، مقدار ذخیره کربوهیدرات گیاه به نسبت کاهش سطح برگ کم می‌شود. در نهایت گیاه نمی‌تواند کربوهیدرات مورد نیاز برای ادامه رشد کل را فراهم کند، در نتیجه گسترش سطح برگ متوقف شده و در نهایت گیاه ضعیف خواهد شد (Kingsbury et al., 1984).

کاملاً تصادفی شامل دو فاکتور ژنوتیپ و چهار سطح تنش شوری کلرید سدیم با سه تکرار و سه گلدان در هر تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) انجام شد. پس از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های رشد

اثر تنش شوری و ژنوتیپ بر حجم ریشه با ضریب تغییرات ۳۶/۱ درصد، معنی‌دار بود (جدول ۱)، به گونه‌ای که کمترین حجم ریشه در دانه‌های قزوینی × آتلانتیکا (۷/۲۰ میلی لیتر مکعب) و بیشترین حجم در دانه‌های اکبری (۱۲/۱۲ میلی لیتر مکعب) مشاهده شد. از سوی دیگر تنش شوری باعث کاهش حجم ریشه شد، بیشترین حجم ریشه در تیمار شاهد (۱۱/۰۵ میلی لیتر) و کمترین آن در سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد (به ترتیب ۸/۶۰ و ۸/۴۵ میلی لیتر مکعب).

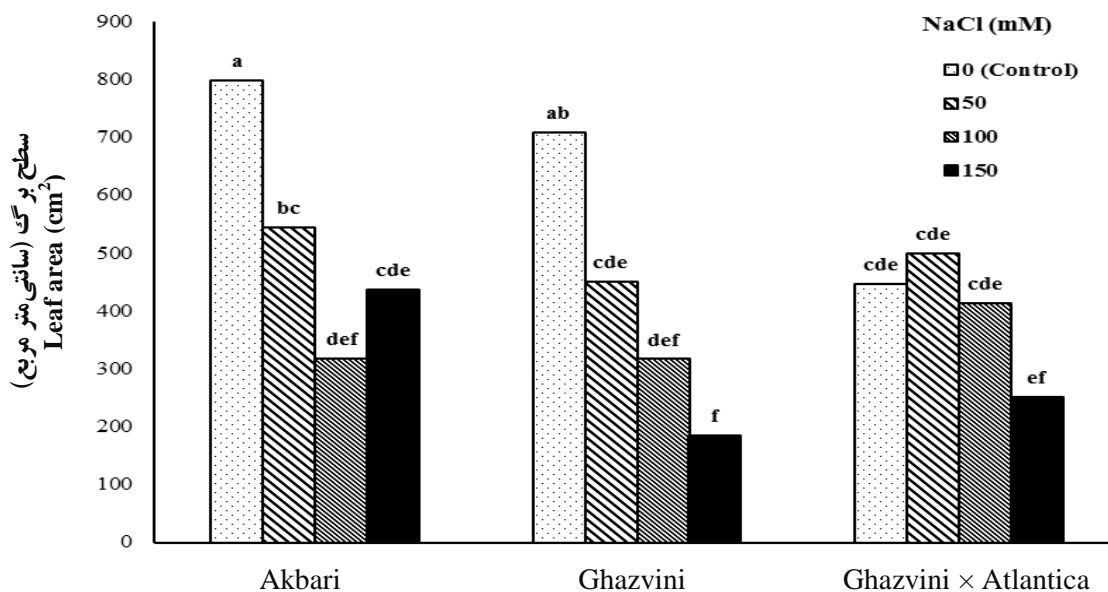
حجم بیشتر ریشه امکان جذب آب و مواد غذایی از فضای بیشتری از بستر رشد را فراهم می‌آورد و از این رو یکی از ویژگی‌هایی است که در ایجاد تحمل به تنش شوری مؤثر است (Garratt et al., 2002). در آزمایش صورت گرفته روی تأثیر شوری محیط کشت بر توسعه ریشه *Panicum antidotale* مشاهده شد که حجم ریشه با افزایش سطح شوری خاک کاهش می‌یابد (Eshghizadeh et al., 2011). در این پژوهش نیز تنش شوری باعث کاهش در حجم ریشه دانه‌های پسته شد و از سوی دیگر دانه‌های اکبری حجم ریشه بیشتری داشتند که این مهم یک ویژگی مطلوب است، زیرا از یک سو قدرت رشد بیشتر این گیاه را در شرایط تنش شوری نشان می‌دهد و از طرف دیگر قابلیت دسترسی گیاه به حجم گسترده‌تری از خاک را برای دستیابی به آب و مواد غذایی در چنین شرایطی فراهم می‌نماید.

با افزایش سطح کلرید سدیم، مجموع سطح برگ

جدول ۱- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر شاخص های رشد دانهال های پسته
Table 1. The effects of salt stress and plant genotype on growth indices of pistachio seedlings

سطح برگ (سانتی متر مربع) Leaf area (cm ²)	تعداد برگ Leaf No.	حجم ریشه (میلی متر مکعب) Root Vol. (mm ³)	شاخساره: ریشه (وزن خشک) Shoot: Root (DM)	تیمار Treatments	
524.6 ^a	20.6 ^a	12.12 ^a	22.4 ^{a†}	اکبری Akbari	ژنوتیپ Genotype
416.7 ^b	17.0 ^b	8.76 ^b	19.6 ^b	قزوینی Ghazvini	
402.9 ^b	16.6 ^b	7.20 ^c	19.6 ^b	قزوینی × آتلانتیکا G × A	
612.0	20.4 ^a	11.05 ^a	25.0 ^a	0	کلرید سدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
498.1 ^b	18.8 ^{ab}	9.34 ^b	22.1 ^b	50	
352.0 ^c	17.3 ^{bc}	8.60 ^b	18.3 ^c	100	
278.0 ^c	15.7 ^c	8.45 ^b	16.3 ^c	150	
448.0 [*]	18.0 ^{**}	9.36 ^{**}	37.0 ^{**}	ژنوتیپ Genotype	ANCOVA تجزیه واریانس
435.0 [*]	18.5 ^{**}	9.36 ^{**}	161.5 [*]	کلرید سدیم NaCl	
441.5 ^{**}	17.59 ^{ns}	70.1 ^{ns}	31.9 ^{**}	ژنوتیپ × کلرید سدیم Genotype × NaCl	
20.0	31.1	36.1	23.9	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	

معنی دار در سطح احتمال یک (***) و پنج (*) درصد؛ فاقد اثر معنی دار (ns). میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.
** and *: significant at P ≤ 1% and 5%, respectively. ns: non-significant effect. †Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P ≤ 5%.



شکل ۱- اثر برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ بر سطح برگ دانهال های پسته
Figure 1. The interaction effect of salinity and plant genotype on leaf area of pistachio seedlings

غشاء در شاهد و کمترین آن در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (جدول ۲).

در شرایط تنش شوری غشاء سلول دچار تغییراتی می‌شود که در اثر آن محتویات درون سلول به خارج نشت می‌کند. بنابراین محاسبه شاخص پایداری غشاء از جمله مهم‌ترین ویژگی‌ها برای بررسی آسیب‌های وارد شده به بافت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Blokхина *et al.*, 2003). کاهش شاخص پایداری غشاء در اثر تنش شوری در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Azizpour *et al.*, 2010؛ Farooq and Azam, 2006). در این پژوهش نیز مشاهده شد که در شدیدترین سطح تنش شوری پایداری غشاء بیش از ۲۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بروز تنش اکسیداتیو در شرایط تنش شوری منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها شده و سبب آسیب دیدن غشاء و کاهش شاخص پایداری غشاء می‌گردد (Farooq and Azam, 2006).

با افزایش شدت تنش شوری غلظت کلروفیل کل در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم تا ۴۵ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. همچنین تنش شوری منجر به کاهش کاروتنوئیدها در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و همچنین کاهش نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل شد. همچنین با توجه به داده‌های SPAD، رنگ سبز برگ که معرف سلامت کلی برگ است، در شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و شاهد به صورت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها کاهش یافت (جدول ۲). سایر پژوهشگران نیز نشان داده‌اند که افزایش شدت تنش شوری منجر به کاهش میزان کلروفیل در برگ پسته می‌شود (Karimi *et al.*, 2009). گزارش شده است که با افزایش تنش شوری غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ کم شده، برگ‌ها سریع‌تر کلروز و پیر می‌شوند و با طولانی شدن دوره تنش شوری، ریزش

نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه با افزایش سطح تنش شوری به صورت معنی‌داری کاهش یافت. تنش شوری شدید (۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) باعث کاهش ۶۹ درصدی نسبت شاخساره به ریشه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۱).

Munns and Tester (2008) عنوان کردند که ریشه اولین اندامی است که با تنش شوری مواجه می‌شود و با توجه به تنظیم اسمزی و مکانیسم‌های اجتنابی که در جهت کاهش اثر شوری انجام می‌دهد، بخش زیادی از انرژی که از اندام‌های هوایی جهت رشد خود دریافت می‌کند، صرف مقابله با تنش شوری می‌نماید. این عمل باعث کاهش کارایی ریشه در تأمین عناصر غذایی و آب برای سایر اندام‌ها می‌شود و مجموع این عوامل ممکن است کاهش وزن خشک ریشه را به دنبال داشته باشند. همچنین کاهش رشد و عملکرد گیاه در اثر شوری می‌تواند در اثر تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش ارتفاع و یا به دلیل بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها باشد (Gorai *et al.*, 2010). کاهش نسبت شاخساره به ریشه دانه‌های پسته، محدودیت بیشتر رشد شاخساره نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری را نشان می‌دهد. در این راستا دانه‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا بیشتر از سایرین تحت اثر تنش شوری قرار گرفتند، هر چند تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. کاهش در وزن خشک شاخساره و ریشه در دیگر پژوهش‌های انجام شده در پسته نیز گزارش شده است (Behboudian *et al.*, 1986؛ Adish *et al.*, 2010)؛ Karimi *et al.*, 2009؛ Fekri *et al.*, 2016؛ Saadatmand *et al.*, 2007؛ Picchioni *et al.*, 1990؛ Tavallali *et al.*, 2009).

آسیب‌های اکسیداتیو

شاخص پایداری غشاء با افزایش شدت تنش شوری به صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان پایداری

ساختار کلروپلاست و یا محدودیت در بیوسنتز و یا تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلز باشد (Orabi *et al.*, 2010). Lawler (1995) گزارش کردند که حفظ کلروفیل برگ و تداوم فتوسنتز در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل به تنش هستند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. بنابراین کاهش پارامترهای رویشی را می‌توان به کاهش میزان مواد فتوسنتزی برای تامین رشد رویشی نسبت داد (Qasim *et al.*, 2003).

تشدید می‌شود که کاهش تعداد برگ دانهال-های پسته را می‌توان مرتبط با این امر دانست (Parida and Dos, 2005).

کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار در میزان ظرفیت فتوسنتز گیاه به شمار می‌رود که با افزایش غلظت کلرید سدیم موجب عملکرد ضعیف برگ‌ها در فتوسنتز و تشدید آسیب‌های تنش می‌شود. کاهش غلظت کلروفیل و رنگ سبز برگ در شرایط تنش شوری می‌تواند نشان‌دهنده شدت آسیب‌های تنش اکسیداتیو به

جدول ۲- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر شاخص پایداری غشاء (MSI)، غلظت کلروفیل (Chl.) و کاروتنوئیدها (Crt.) و شاخص سبزیگی در برگ دانهال‌های پسته

Table 2. The effects of salt stress and plant genotype on plasma membrane stability index (MSI), concentration of chlorophylls (Chl.) and carotenoids (Crt.), and greenness (SPAD) in the leaves of pistachio seedlings

SPAD	کاروتنوئیدها: کلروفیل (Crt.:Chl.)	کاروتنوئیدها (میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع) Crt (mg/cm ²)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در سانتی‌متر مربع) Total Chl. (mg/cm ²)	پایداری غشاء (درصد) MSI (%)	تیمار Treatments	
57.3	0.012	13.8	29.2	62.1	اکبری Akbari	
55.6	0.011	12.4	25.4	65.0	قزوینی Ghazvini	
57.2	0.012	14.1	23.6	66.7	قزوینی × آتلانتیکا G × A	
59.1 ^a	0.013 ^a	14.0 ^a	27.80 ^a	70.2 ^{a†}	0	کلرید سدیم (مولی‌مولار) NaCl (mM)
59.1 ^a	0.012 ^a	14.2 ^a	29.10 ^a	67.7 ^a	50	
56.1 ^{ab}	0.011 ^a	14.8 ^a	27.91 ^a	64.9 ^{ab}	100	
53.9 ^b	0.008 ^b	10.8 ^b	14.02 ^b	55.8 ^b	150	
56.7 ^{ns}	0.02 ^{ns}	13.4 ^{ns}	26.0 ^{ns}	64.6 ^{ns}	ژنوتیپ Genotype	ANOVAs تجزیه واریانس
57.0 [*]	0.04 ^{**}	14.2 ^{**}	24.70 [*]	65.0 [*]	کلرید سدیم NaCl	
20.63 ^{ns}	0.07 ^{ns}	4.9 ^{ns}	25.9 ^{ns}	57.8 ^{ns}	ژنوتیپ × کلرید سدیم Genotype × NaCl	
8.5	20.0	24.0	20.1	19.0	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	

معنی‌دار در سطح احتمال یک (***) و پنج (*) درصد؛ فاقد اثر معنی‌دار (ns). † میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند. ** and *: significant at P ≤ 1% and 5%, respectively. ns: non-significant effect. † Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P ≤ 5%.

بود. این یافته‌ها نشان داد که می‌توان با توجه به داده‌های کلروفیل متر و غلظت کلروفیل در بافت، حد آستانه بروز تنش اکسیداتیو را در شرایط تنش شوری مشخص نمود. افزون بر این، نتایج نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری از نظر شدت آسیب‌های تنش اکسیداتیو در شرایط تنش شوری وجود ندارد و آستانه بروز این آسیب‌ها در شرایط تیمار کلرید سدیم ۱۵۰ میلی مولار است که بیانگر تحمل نسبی بالای دانه‌های مورد بررسی به شرایط تنش اکسیداتیو می‌باشد.

عناصر معدنی

نتایج نشان داد که اثرات ویرانگر تنش شوری بر شاخص‌های رشد دانه‌های پسته احتمالاً به دلیل اثرات مستقیم تجمع یون‌ها در بافت‌های گیاه باشد. با افزایش سطح کلرید سدیم، عنصر سدیم شاخساره و ریشه افزایش یافت ولی عناصر کلسیم و پتاسیم کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین میزان پتاسیم و کلسیم شاخساره و ریشه در دانه‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا بود (جدول ۳). نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره و ریشه و نسبت سدیم به کلسیم شاخساره و ریشه در دانه‌های پسته افزایش یافت. همچنین نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره و ریشه و نسبت سدیم به کلسیم شاخساره و ریشه در دانه‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا در مقایسه با دیگر دانه‌ها کمتر بود (جدول ۴). همچنین تغییرات نسبت سدیم به پتاسیم تحت تأثیر برهمکنش ژنوتیپ در تنش شوری قرار گرفت (شکل ۲).

غلظت زیاد نمک در منطقه ریشه باعث ایجاد تنش اسمزی و برهم خوردن هموستازی یون‌های سلول به دلیل جلوگیری از جذب عناصر غذایی ضروری مانند K^+ ، Ca^{2+} ، NO_3^- و تجمع Na^+ و Cl^- می‌شود، و از طرفی جذب زیاد یون‌های کلر و سدیم سبب ایجاد مسمومیت می‌شود (Chartzoulakis, 2005). بنابراین شوری ابتدا منجر به کاهش جذب آب و در ادامه منجر به اختلال در جذب مواد غذایی در گیاه می‌شود که همین امر منجر به ایجاد مشکلات و آسیب در گیاه

کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم تأثیرگذار در میزان ظرفیت فتوسنتز گیاه به شمار می‌رود که با افزایش غلظت کلرید سدیم موجب عملکرد ضعیف برگ‌ها در فتوسنتز و تشدید آسیب‌های تنش می‌شود. کاهش غلظت کلروفیل و رنگ سبز برگ در شرایط تنش شوری می‌تواند نشان‌دهنده شدت آسیب‌های تنش اکسیداتیو به ساختار کلروپلاست و یا محدودیت در بیوسنتز و یا تشدید فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز باشد (Orabi et al., 2010). Lawler (1995) گزارش کردند که حفظ کلروفیل برگ و تداوم فتوسنتز در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شاخص‌های فیزیولوژیک تحمل به تنش هستند که ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. بنابراین کاهش پارامترهای رویشی را می‌توان به کاهش میزان مواد فتوسنتزی برای تامین رشد رویشی نسبت داد (Qasim et al., 2003).

کاروتنوئیدها گروهی از رنگدانه‌های زرد و نارنجی هستند که در بیشتر موجودات فتوسنتز کننده وجود دارند. به نظر می‌رسد کاروتنوئیدها در گیاهان دارای دو نقش اصلی جذب نور و محافظت نوری هستند (Demming and Adams, 1996). در پژوهش حاضر مشخص گردید که نسبت کاروتنوئیدها به کلروفیل با افزایش شدت تنش شوری کاهش یافت، بنابراین احتمالاً می‌توان پیشنهاد نمود که در دانه‌های پسته کاروتنوئیدها در راستای حذف برخی از رادیکال‌های آزاد در جهت محافظت از کلروفیل‌ها مصرف شده‌اند.

Taiz and Zeiger (1998) افزایش غلظت کلروفیل در تنش ملایم را به افزایش وزن مخصوص برگ نسبت دادند، که این اثر در خصوص افزایش داده‌های SPAD در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم مشاهده شد. نتایج کاهش میانگین سطح برگ و عدم تغییر میزان کلروفیل در واحد وزن برگ این پدیده را در دانه‌های پسته تایید می‌کند. با توجه به داده‌های مقدار کلروفیل در واحد وزن برگ، کاهش داده‌های SPAD در سطح ۱۵۰ میلی مولار مشخصاً به دلیل از دست رفتن کلروفیل برگ

سدیم معمولاً با کاهش جذب پتاسیم و در نتیجه منجر به افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می شود (Ashraf and Oleary, 1996).

در پژوهش حاضر نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره قزوینی × آتلانتیکا کمتر از سایر دانهال ها بود. با یک نتیجه گیری سطحی می توان عنوان نمود که این گیاهان قادرند غلظت سدیم را در شرایط تنش شوری در حد کمتری نگه دارند و از طرفی در شرایط تنش کارایی بیشتری در جذب پتاسیم دارند. این امر نیز با بررسی عناصر مشاهده شد. مطابق با نتایج میزان سدیم موجود در ریشه دانهال های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا کمتر از سایر دانهال ها بود که شاید به دلیل محدود نکردن این عنصر در ریشه ها باشد.

می شود (Levitt, 1980). از این رو جلوگیری از جذب کلرید سدیم و به دنبال آن کاهش تجمع در گیاهان می تواند یکی از بهترین راهکارهای فیزیولوژیک برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان باشد. از این رو گزارش های بسیاری پیرامون اهمیت مکانیزم های جذب اختصاص دادن یون ها در بافت ها در ارقام متحمل به شوری وجود دارد (Gorham et al., 1990).

در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش مقدار کلرید سدیم در محلول مواد غذایی، نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره و ریشه دانهال های پسته افزایش یافت. که این امر به علت افزایش سدیم در بافت ها رخ می دهد (Karimi et al., 2009). افزایش جذب

جدول ۳- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر غلظت عناصر معدنی در اندام هوایی و ریشه دانهال های پسته

Table 3. The effect of salt stress and plant genotype on concentration of mineral nutrients in shoot and root of pistachio seedlings

						تیمار	ANOVA نتیجه واریانس
سدیم شاخساره	سدیم ریشه	پتاسیم شاخساره	پتاسیم ریشه	کلسیم شاخساره	کلسیم ریشه	Genotype	
Na shoot	Na root	K shoot	K root	Ca shoot	Ca root		
						(درصد ماده خشک)	
						% DM	
0.22	0.18 ^{at}	0.13 ^b	0.88 ^b	0.44 ^b	0.36 ^b	اکبری Akbari	ژنوتیپ
0.22	0.19 ^a	0.12 ^b	0.84 ^b	0.45 ^b	0.36 ^b	قزوینی Ghazvini	
0.19	0.15 ^b	0.14 ^a	1.03 ^a	0.49 ^a	0.42 ^a	قزوینی × آتلانتیکا G × A	
0.02 ^{ct}	0.044 ^c	0.14 ^a	1.22 ^a	0.53 ^a	0.47 ^a	0	کلرید سدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
0.13 ^b	0.083 ^c	0.14 ^a	1.05 ^b	0.48 ^b	0.42 ^b	50	
0.23 ^a	0.18 ^b	0.12 ^b	0.78 ^c	0.44 ^c	0.35 ^c	100	
0.37 ^a	0.38 ^a	0.11 ^b	0.61 ^c	0.40 ^c	0.27 ^c	150	
0.9 ^{ns}	0.17 ^{**}	0.7 ^{**}	0.12 ^{**}	0.10 ^{**}	0.06 ^{**}	ژنوتیپ Genotype	ANOVA نتیجه واریانس
0.2 ^{**}	0.06 ^{**}	0.1 ^{**}	0.04 ^{**}	0.20 ^{**}	0.012 ^{**}	کلرید سدیم NaCl	
0.1 ^{**}	0.01 [*]	0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.05 ^{ns}	ژنوتیپ × کلرید سدیم Genotype × NaCl	
29	23	12.5	27	13	20	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	

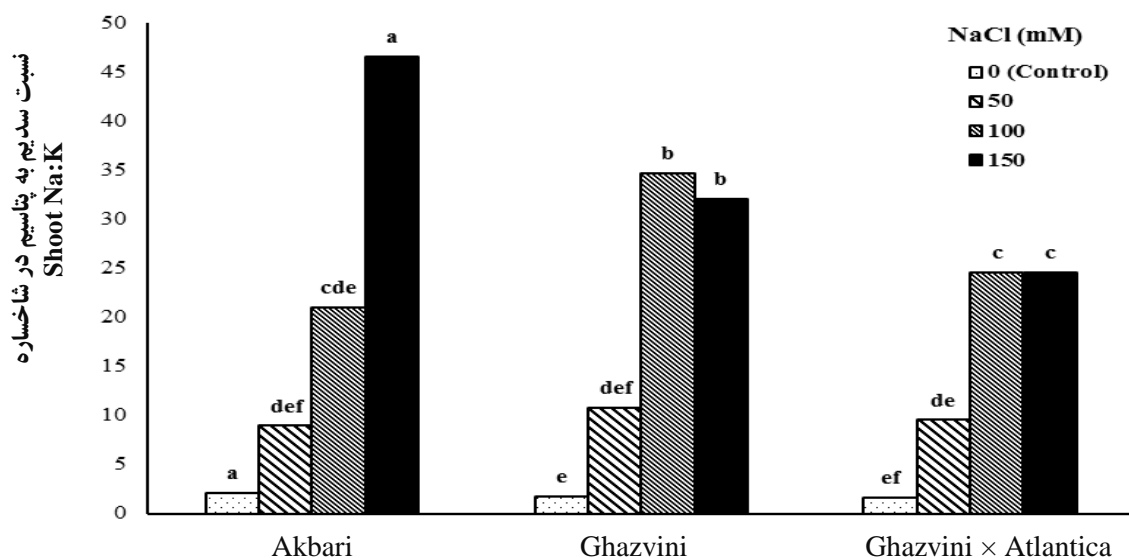
معنی دار در سطح احتمال یک (***) و پنج (*) درصد؛ فاقد اثر معنی دار (ns). † میانگین های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

** and *: significant at $P \leq 1\%$ and 5% , respectively. ns: non-significant effect. † Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 5\%$.

جدول ۴- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر نسبت سدیم: پتاسیم و سدیم: کلسیم در اندام هوایی و ریشه دانه‌های پسته
 Table 4. The effects of salt stress and plant genotype on ratios of Na:K and Na:Ca in shoot and root of pistachio seedlings

سدیم: کلسیم ریشه Na:Ca root	سدیم: کلسیم شاخساره Na:Ca shoot	سدیم: پتاسیم ریشه Na:K root	سدیم: پتاسیم شاخساره Na:K shoot	تیمار Treatments	
0.62 ^a	0.56 ^a	0.26 ^a	0.2 ^{a†}	اکبری Akbari	ژنوتیپ Genotype
0.63 ^a	0.53 ^a	0.30 ^a	0.2 ^a	قزوینی Ghazvini	
0.42 ^b	0.40 ^b	0.18 ^b	0.1 ^b	قزوینی × آتلانتیکا G × A	
0.09 ^d	0.04 ^d	0.03 ^c	0.01 ^d	0	کلرید سدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
0.19 ^c	0.27 ^c	0.08 ^c	0.09 ^c	50	
0.53 ^b	0.73 ^b	0.24 ^b	0.26 ^b	100	
1.4 ^a	0.94 ^a	0.65 ^a	0.34 ^a	150	
3.2 ^{**}	1.53 ^{**}	0.24 ^{ns}	0.6 [*]	ژنوتیپ Genotype	ANNOVA تجزیه واریانس
0.17 ^{**}	0.09 ^{**}	0.25 [*]	0.9 ^{**}	کلرید سدیم NaCl	
0.053 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.3 ^{**}	ژنوتیپ × کلرید سدیم Genotype × NaCl	
12	20	14	19	ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	

معنی دار در سطح احتمال یک (***) و پنج (*) درصد؛ فاقد اثر معنی دار (ns). میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد آزمون دانکن ندارند.
 ** and *: significant at P ≤ 1% and 5%, respectively. ns: non-significant effect. †Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at P ≤ 5%.



شکل ۲- اثر برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ بر نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره دانه‌های پسته
 Figure 2. The interaction effect of salinity and plant genotype on sodium to potassium ratio in the shoot of pistachio seedlings

شرایط تنش شوری ادامه یافته و این امر سبب رقیق شدن پتاسیم در بافت گردیده و از طرف دیگر، برگ‌ها با وجود سطح بالای سدیم همچنان روی گیاه باقی مانده‌اند که این امر نیز منجر به استخراج مقدار بیشتری سدیم از بافت شده است (Malakshah *et al.*, 2007).

کلسیم از کاتیون‌های مورد نیاز گیاه است و معلوم شده است که در حفظ دیواره سلولی گیاه و نفوذپذیری آن نقش دارد. برخی از پژوهشگران بر این باورند که افزایش غلظت سدیم در محیط ریشه موجب کاهش فعالیت و قابلیت دسترسی کلسیم در غشاء سلول ریشه شده و در نتیجه افزایش انتقال سدیم به اندام هوایی را به دنبال خواهد داشت (Tavallali *et al.*, 2009). از این رو در این پژوهش مشاهده شد که با تشدید تنش شوری، نسبت سدیم به کلسیم در شاخساره دانه‌های پسته افزایش یافت. افزایش نسبت سدیم به کلسیم در بافت‌های گیاه و جایگزین شدن کلسیم توسط سدیم و در نهایت برهم خوردن کارآیی غشاء و دیواره سلولی می‌تواند باعث نشت الکترولیت و آب و در نهایت کاهش فشار آماس سلول‌ها شود و به این ترتیب رشد گیاهان تحت تاثیر خواهد گرفت (Bush, 1995). در پژوهش حاضر نیز کم شدن رشد دانه‌های پسته و کاهش شاخص پایداری غشاء در راستای افزایش میزان سدیم در شاخساره و افزایش نسبت سدیم به کلسیم بود. Karimi *et al.* (2009) نیز نتایج مشابهی را در پسته گزارش نمودند. اگرچه در پژوهش حاضر مشاهده شد که دانه‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا تجمع بیشتری در برخی از عناصر مشاهده شد، ولی از سوی دیگر نیز مشاهده شد که در مقایسه با دیگر دانه‌ها وزن خشک گیاه بیشتر کاهش یافت که در این خصوص می‌توان افزایش در برخی عناصر را به کاهش ماده خشک گیاه و تغلیظ عناصر در گیاه ارتباط داد (Marschner, 1995). بنابراین می‌توان احتمال داد که افزایش در برخی عناصر در دانه‌های قزوینی × آتلانتیکا ناشی از کاهش بیشتر وزن خشک آن در مقایسه با دیگر دانه‌ها باشد.

یکی از سازوکارهای تحمل به تنش شوری، نسبت سدیم به پتاسیم پایین در اندام‌های گیاه در محیط‌های شور است که از طریق توانایی گیاهچه در جذب فعال پتاسیم و جلوگیری از ورود سدیم به ریشه حاصل می‌شود. در این راستا مشخص شده است که ارقام متحمل به شوری در مقایسه با ارقام حساس به شوری نسبت سدیم به پتاسیم پایین‌تری دارند (Khan *et al.*, 2003).

Ashraf and Mc Neilly (1990) نیز عنوان کردند که در ژنوتیپ‌های متحمل به شوری تجمع کمتری از سدیم و کلر وجود دارد ولی از سوی دیگر غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم بیشتر است، در نتیجه نسبت کلسیم به سدیم و پتاسیم به سدیم در آن‌ها بالاتر خواهد بود.

Sutcliffe and Baker (1981) نیز ارتباط نسبت پتاسیم به سدیم بافت‌ها یا تحمل به تنش شوری را به‌عنوان یکی از قوی‌ترین شاخص‌ها برای اصلاح تحمل به شوری عنوان کرده‌اند، اگرچه در بسیاری از پژوهش‌ها عنوان کرده‌اند که ارقام متحمل به شوری در مقایسه با ارقام حساس غلظت کمتری از سدیم را درون برگ‌های خود انباشته می‌کنند، ولی اظهارات ضد و نقیضی در این خصوص وجود دارد. Munns *et al.* (2000)، در این خصوص عنوان کردند که ارقام متحمل به شوری در مقایسه با ارقام حساس غلظت سدیم بیشتری را در برگ‌های خود تجمع دادند. بنابراین بدون توجه به این مطلب که سدیم دقیقاً به کدام قسمت اجزاء سلول اختصاص پیدا می‌کند، نمی‌توان از غلظت یون‌ها به‌عنوان معیار مناسب جهت تفکیک ارقام مقاوم و حساس به کلرید سدیم استفاده نمود (Gorham *et al.*, 1990). احتمالاً در خصوص دانه‌های پسته هیبرید، نسبت سدیم به پتاسیم کمتر می‌تواند به دلیل زیست‌توده کمتر، ریزش برگ‌های پیر و باقی ماندن برگ‌های جوان با محتوای سدیم کمتر، و محدود شدن رشد و گسترش ریشه‌ها اتفاق افتاده باشد. که با نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در زیتون مطابقت دارد (Ben-ahmed *et al.*, 2006). در حالی که در دانه‌های اکبری و قزوینی، رشد گیاه در

است (Ferguson and Zhang, 2002). ولی بر اساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که ژنتیک گیاه بر توانایی محدود نمودن انتقال سدیم به شاخساره اثر دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که دانه‌های اکبری می‌توانند پتانسیل مناسبی جهت تحمل به تنش شوری داشته باشند ولی این نتیجه‌گیری مستلزم آزمایش‌ها و تکرارهای بیشتر است. چراکه بذر اکبری به دلیل رشد بالا و جوانه‌زنی زود در مقایسه با سایر بذرها در سال‌های اخیر مورد توجه بوده و از سوی دیگر همین امر سبب افزایش عملکرد و کارایی تولید در باغات پسته ایران به عنوان پایه مناسب خواهد شد.

ریش برگ نوعی پاسخ حساسیت است که به گیاه این امکان را می‌دهد تا بخشی از سدیم جذب کرده را از اندام هوایی خارج کند ولی متعاقباً از دست رفتن زیست توده و کاهش رشد گیاه را در پی دارد. این اتفاق در دانه‌های هیبرید نیز به وقوع پیوست و سبب شد تا مقدار سدیم کمتری از بافت‌های باقی مانده روی شاخساره دانه‌ها استخراج گردد. از طرفی نسبت سدیم به پتاسیم و کلسیم در ریشه‌های دانه‌های این گیاهان به روشنی نشان می‌دهد که این گیاه نسبت به دانه‌های قزوینی و اکبری توانایی کمتری در نگه‌داشتن سدیم در ریشه دارد و بخش اعظم سدیم پس از جذب به اندام هوایی ارسال می‌نماید. نگهداری سدیم در ریشه یک مکانیسم تحمل به شوری مؤثر در پایه‌های درختان میوه‌است که پیش از این در گونه پسته نیز گزارش شده

References

- Adish, M., Fekri, M. and Hokmabadi, M. (2010). Response of Badami-Zarand pistachio rootstock to salinity stress. *International Journals of Nuts and Related Sciences*, 1(1), 1-11.
- Anonymous. (2013). FAOSTAT. Retrieved from <http://www.faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- Ashraf, M. and Mc Neilly, T. (1990). Responses of four Brassica species to sodium chloride. *Environmental and Experimental Botany*, 30(4), 475-487.
- Ashraf, M. and O'leary, J. W. (1996). Responses of some newly developed salt tolerant genotypes of spring wheat to salt stress: 1. yield components and ion distribution. *Journal of Agronomy and Crop Science*; 176(2), 91-101.
- Azizpour, K., Shakiba, M. R., Sima, N. K. K., Alyari, H., Mogaddam, M., Esfandiari, E. and Pesarakli, M. (2010). Physiological response of spring durum wheat genotypes to salinity. *Journal of Plant Nutrition*, 33(6), 859-873.
- Behboudian, M. H., Walker, R. R. and Torokfalvy, E. (1986). Effects of water stress and salinity on photosynthesis of pistachio. *Scientia Horticulturae*, 29(3), 251-261.
- Ben-Ahmed, C., Boukhriss, M., Athar, H. and Boukhriss, M. (2006). Olive tree (*Olea europaea* L. cv. "Chemlali") under salt stress: Water relations and ions content. *Pakistan Journal Botany*, 38(5), 1477-1484.
- Benhassaini, H., Fetati, A., Hocine, A. K. and Belkhodja, M. (2012). Effect of salt stress on growth and accumulation of proline and soluble sugars on plantlets of *Pistacia*

- atlantica* Desf. subsp. *atlantica* used as rootstocks. Biotechnologie, Agronomie, Societe et Environnement, 16(2), 159-165.
- Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: A review. Annals of Botany, 91(2), 179-194.
- Bush, D. S. (1995). Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. Annual Review of Plant Biology, 46(1), 95-122.
- Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (1961). Methods of analysis of soil, plants and water. USA: University of California, Division of Agricultural.
- Chartzoulakis, K. S. (2005). Salinity and olive: Growth, salt tolerance, photosynthesis and yield. Agricultural Water Management, 78(1), 108-121.
- Demming, B. and Adams, W. W. (1996). Xanthophyll cycle and light stress in nature: Uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. Planta; 198(3), 460-470.
- Eshghizadeh, H. R., Kafi, M. and Nezami, A. (2011). Effect of NaCl salinity on the pattern and rate of root development of blue panic grass (*Panicum antidotale* retz.). Quarterly Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 2(5), 13-27. [In Farsi].
- Farooq, S. and Azam, F. (2006). The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties. Journal of Plant Physiology, 163(6), 629-637.
- Fekri, M., Gharanjig, L. and Soliemanzadeh, A. (2016). Effects of salinity and pistachio waste application on growth and physiological responses of pistachio seedlings. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47(1), 112-120.
- Ferguson, B. and Zhang, X. C. (2002). Materials for terahertz science and technology. Nature Materials, 1(1), 26-33.
- Garratt, L. C., Janagoudr, B. S., Lowe, K. C., Anthony, P., Power, J. B. and Davey, M. R. (2002). Salinity tolerance and antioxidant status in cotton cultures. Free Radical Biology and Medicine, 33(4), 502-511.
- Gorai, M., Ennajeh, M., Khemira, H. and Neffati, M. (2010). Combined effect of NaCl salinity and hypoxia on growth, photosynthesis, water relations and solute accumulation in *Phragmites australis* plants. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants; 205(7), 462-470.
- Gorham, J., Bristol, A., Young, E. M., Jonesh, R. W. and Kashour, G. (1990). Salt tolerance in the Triticeae: K/Na discrimination in barley. Journal of Experimental Botany, 41(9), 1095-1101.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950). The water culture method for growing plants without soil (2nd ed.). California, United States: Circular. California Agricultural Experiment Station.

- Hokmabadi, H., Arzani, K. and Grierson, P. F. (2005). Growth, chemical composition, and carbon isotope discrimination of pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings in response to salinity. *Crop and Pasture Science*, 56(2), 135-144.
- Karimi, S., Rahemi, M., Maftoun, M. and Tavallali, V. (2009). Effects of long-term salinity on growth and performance of two Pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 1630-1639.
- Khan, M. H., Singha, K. L. and Panda, S. K. (2002). Changes in antioxidant levels in *Oryza sativa* L. roots subjected to NaCl salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 24(2), 145-148.
- Kingsbury, R. W., Epstein, E. and Percy, R. W. (1984). Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. *Plant Physiology Journal*, 74(2), 417-423.
- Lawler, D. W. (1995). The effect of water deficit on photosynthesis. In: N. Smirnoff (Ed.). *Environment and Plant Metabolism*. Milton Park, England: Bios Scientific Publishers.
- Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. (2 Vol.). *Water, Radiation, Salt, and Other Stresses* (2nd ed.). Cambridge, Massachusetts, United States: Academic Press.
- Levy, Y. and Syvertsen, J. P. (2004). Irrigation water quality and salinity effects in citrus trees. *Horticultural Reviews*, 30, 37-82.
- Malakshah, S. N., Rezaei, M. H., Heidari, M. and Hosseini Salekdeh, G. (2007). Proteomics reveals new salt responsive proteins associated with rice plasma membrane. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 71(9), 2144-2154.
- Marschner, H. (1995). Functions of mineral nutrients: macronutrients. *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). New York: Academic Press.
- Morovati, I. (2015). Controlled pollinations to breeding of pistachio rootstock for salinity tolerance. M.Sc. Thesis of Engineering of plant products - Re-protection of Gardening Plants, University of Tehran, Tehran. [In Farsi]
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167(3), 645-663.
- Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology*, 59, 651-681.
- Munns, R., Hare, R. A., James, R. A. and Rebetzke, G. J. (2000). Genetic variation for improving the salt tolerance of durum wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*; 51(1), 69-74.
- Netto, A. T., Campostrini, E., De Oliveira, J. G. and Bressan-Smith, R. E. (2005). Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. *Scientia Horticulturae*, 104(2), 199-209.

- Ondrasek, G., Rengel, Z., Romic, D. and Savic, R. (2012). Salinity decreases dissolved organic carbon in the rhizosphere and increases trace element phytoaccumulation. *European Journal of Soil Science*, 63(5), 685-693.
- Orabi, S.A., Salman, S. R. and Shalaby, M. A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6(3), 252-259.
- Pang, C. H. and Wang, B. S. (2008). Progress in botany. Oxidative stress and salt tolerance in plants (pp. 231-245). New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349.
- Picchioni, G. A., Miyamoto, S. and Storey, J. B. (1990). Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(4), 647-653.
- Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J. and Noble, A. D. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. In *Natural Resources Forum*, 38(4), 282-295.
- Qasim, M., Ashraf, M., Ashraf, M. Y., Rehman, S. U. and Rha, E. S. (2003). Salt induced changes in two canola cultivars differing in salt tolerance. *Biologia Plantarum*, 46(4), 629-632.
- Saadatmand, A. R., Banihashemi, Z., Maftoun, M. and Sepaskhah, A. R. (2007). Interactive effect of soil salinity and water stress on growth and chemical compositions of pistachio nut tree. *Journal of Plant Nutrition*, 30(12), 2037-2050.
- Sairam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163(5), 1037-1046.
- Sutcliffe, J. F. and Baker, D. A. (1981). *Plants and mineral salts*, institute of biologist studies in biology (2nd ed.). London, England: Edward Arnold Pub., Comelot Press Ltd.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (1998). *Plant physiology* (2nd ed.). Sunderland, Massachusetts, United States: Sinauer Associates Publishers.
- Tajabadipour, A., Panahi, B. and Zadehparizi, R. (2005). The effects of rootstock and scion on early splitting and cracked hull of pistachio. *International Society for Horticultural Science*, 726, 193-198.
- Tavallali, V., Rahemi, M., Maftoun, M., Panahi, B., Karimi, S., Ramezani, A. and Vaezpour, M. (2009). Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Scientia Horticulturae*, 123(2), 272-279.
- Wang, Y. and Nii, N. (2000). Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus*

tricolor leaves during salt stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 75(6), 623-627.

Screening Salt Tolerance in Pistachio Seedlings by Evaluating Growth, Oxidative Damages and Mineral Composition

Z. Mirfattahi¹, M.R. Roozban², S. Karimi^{3*}, V. Tavallali⁴ and S. Aliniaiefard⁵

- 1- M.Sc. student of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
- 2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
- 3- ***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Horticultural Science, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran (skarimi@ut.ac.ir)
- 4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
- 5- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 8 August, 2016

Accepted: 7 March, 2018

Abstract

Background and Objectives

Salinization of the central lands of Iran has had limited pistachio cultivation and production during the recent decade.

Materials and Methods

In this study, seedlings of *Pistacia vera* 'Akbari' and 'Ghazvini', and an interspecific hybrid of *P. vera* 'Ghazvini' × *P. atlantica* (G × A) were subjected to different NaCl concentrations (0, 50, 100 and 150 mM) in half strength Hoagland's solution for 90 days.

Results

Salt stress significantly reduced growth of the plants. The highest and the lowest root volumes were observed in 'Akbari' and G×A respectively. The leaf area of 'Akbari' seedlings was significantly higher than the other genotypes under salt stress. Moreover, salt stress significantly reduced total chlorophylls, membrane stability index, the ratio of chlorophyll: carotenoid and greenness of the leaves. In comparison to the control, the lowest values of the mentioned parameters were observed under 150 mM NaCl stress. By increasing NaCl concentration in the growing medium, concentration of Na⁺ significantly increased in shoot and root and significant decrease in K⁺ and Ca²⁺ concentration was observed in the shoot and root. Accordingly, Na⁺: K⁺ and Na⁺:Ca²⁺ ratios in the root and shoot were increased. The lowest Na⁺: K⁺ and Na⁺:Ca²⁺ ratios were found in G×A.

Discussion

According to the capability of preserving vigor, and the lowest leaf abscission and oxidative damages under salt stress, pistachio 'Akbari' was introduced as the most salt tolerant genotype among the studied genotypes.

Keywords: Calcium, Carotenoids, Hoagland's solution, Leaf area, Potassium, Sodium, Total chlorophylls