ارزیابی تحمل به شوری دانهال‌های 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 نیایی‌فرد[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 دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

شور شدن زمین‌های مناطق مرکزی ایران سبب محدود شدن کشت و تولید پسته در طی دهه اخیر شده است. در این پژوهش دانهال‌های پسته قزوینی و اکبری و یک هیبرید بین گونه‌ای قزوینی × آتلانتیکا تحت تیمار غلظت‌های کلریدسدیم (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 به‌صورت معنی‌داری رشد گیاهان را محدود نمود. بیشترین و کمترین حجم ریشه و میانگین تعداد برگ به ترتیب در دانهال‌های پسته اکبری و قزوینی × آتلانتیکا مشاهده شد. سطح برگ دانهال‌های اکبری در مقایسه با دیگر دانهال‌ها بیشتر بود. همچنین در اثر تنش شوری غلظت کلروفیل کل، شاخص پایداری غشاء، نسبت کلروفیل به کاروتنوئیدها و شاخص سبزینگی برگ به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. به گونه‌ای که در مقایسه با شاهد، کمترین میزان این شاخص‌ها در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار تنش کلریدسدیم مشاهده شد. با افزایش غلظت کلرید سدیم، غلظت سدیم در شاخساره و ریشه به‌صورت 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 دانهال‌های پسته افزایش یافت. کمترین نسبت سدیم به پتاسیم و کمترین نسبت سدیم به کلسیم در دانهال‌های 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

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 آبیاری‌شده 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 گزینش‌شده راهکاری کارآمد و در راستای اهداف کشاورزی پایدار است که می‌تواند به حفظ عملکرد در چنین محیط‌هایی

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 معدود محصولات باغبانی قابل کشت در بخش‌های خشک مرکزی ایران هستند. کم آبی 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 اهمیتی دو چندان می‌یابد. به این ترتیب، پژوهش حاضر با هدف شناسایی سازوکارهای تحمل به شوری در درختان پسته و مقایسه تحمل به شوری دانهال‌های ارقام پسته قزوینی و اکبری و هیبرید بین گونه‌ای پسته قزوینی × 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، دانهال‌های 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 (Benhassaini *et al.*, 2012؛ Ferguson and Zhang, 2002). از این رو، دانهال‌های هیبرید این دوگیاه شاید بتوانند تحمل بالایی نسبت به تنش شوری داشته باشند. افزون بر این، استفاده از دانهال‌های 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 دانهال‌های این رقم می تواند 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. بذرهای مورد استفاده در این پژوهش ارقام قزوینی، اکبری و قزوینی × آتلانتیکا (G × A) از مؤسسه تحقیقاتی پسته دامغان تهیه شدند. بذر هیبرید قزوینی × آتلانتیکا (G × 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 پرلایت به نسبت ۲:۱ حجمی کشت شد. دانهال‌ها به مدت ۶۰ روز در این شرایط با محلول

غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) نیم غلظت تغذیه شدند. عمل تغذیه دانهال‌ها متناسب با نیاز آبی آن‌ها، هر دو روزیک بار انجام شد. پس از آماده شدن دانهال‌ها، تنش شوری با کاربرد سطوح مختلف کلرید سدیم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) در محلول غذایی هوگلند نیم غلظت اعمال گردید. برای جلوگیری از بروز شوک، تیمار کلریدسدیم در سه مرحله و به‌صورت تدریجی همراه با مواد غذایی به گیاهان داده شد. جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها، میزان محلول غذایی که هر گلدان دریافت می‌نمود، به گونه‌ای بود که ۲۰ درصد از محلول غذایی دریافت‌شده از زهکش گلدان خارج می‌شد. میانگین دمای شب و روز در طول دوره آزمایش به‌ترتیب ۲۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد 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، شاخص‌های زیر ارزیابی شد.

برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء (MSI)، پس از شستن برگ‌ها با آب مقطر پنج بار تقطیر و دیونیزه‌شده، تعداد ۱۵ عدد دیسک برگی تهیه گردید. پس از قرارگیری دیسک‌های برگی درون ظرف‌های درب‌دار و اضافه نمودن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر دیونیزه‌شده و انتقال آن‌ها به حمام آب گرم با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد هدایت الکتریکی محلول حاوی دیسک‌های برگی (C_1) اندازه‌گیری شد. سپس ظروف حاوی دیسک‌ها به حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و دوباره هدایت الکتریکی آن (C_2) یادداشت شد. اعداد به‌دست آمده در فرمول یک قرار داده شده و میزان پایداری غشاء محاسبه گردید (Sairam and Srivastava, 2000).

فرمول (۱) $MSI=1-C_1/C_2 \times 100$

شاخص سبزینگی چهارمین و پنجمین برگ توسعه‌یافته از قسمت بالای گیاه با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD 502 (Konica Minolta, Japan) ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل در این برگ‌ها، ابتدا تعداد ۱۰ دیسک برگی تهیه شد و با ۵ میلی‌لیتر DMSO در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه عصاره‌گیری شدند (Netto *et al.*, 2005). میزان جذب محلول، در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۴۹ و ۶۶۵ ثبت و غلظت کلروفیل a و b و غلظت کاروتنوئیدها (C_{X+C}) محاسبه شد.

$$Chl.\ a=12.25A_{665} - 2.79A_{649}$$
$$Chl.\ b = 21.51A_{649} - 510A_{665}$$
$$C_{X+C} = (1000A_{480} - 1.8_{ca} - 85.02_{cb})/198$$

در انتهای آزمایش پس از خارج کردن دانهال‌ها از گلدان، گیاهان به اجزای مختلف شاخساره و ریشه تقسیم شدند. پس از یادداشت وزن تر، در پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و وزن خشک آن‌ها نیز یادداشت شد. برای اندازه‌گیری 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 ریشه‌ها درون آن، میزان تغییر سطح آب که نشانگر میزان حجم ریشه بود، یادداشت گردید. سطح برگ‌های گیاهان با استفاده از دستگاه Delta-T (WinDIAS 3, Delta-T Devices, UK) اندازه‌گیری شد.

غلظت عناصر معدنی سدیم، کلسیم و پتاسیم در شاخساره (برگ و ساقه) و ریشه دانهال‌های پسته اندازه‌گیری شد. برای این منظور بافت‌ها خشک و پودر شدند و یک گرم از پودر خشک به خاکستر تبدیل شد. پس از عصاره‌گیری با ۵ میلی‌لیتر 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

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 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 دانهال‌های قزوینی × آتلانتیکا (۷/۲۰ میلی لیتر مکعب) و بیشترین حجم در دانهال‌های اکبری (۱۲/۱۲ میلی‌لیتر مکعب) مشاهده شد. از سوی دیگر تنش شوری باعث کاهش حجم ریشه شد، بیشترین حجم ریشه در تیمار شاهد (۱۱/۰۵ میلی‌لیتر) و کمترین آن در سطح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد (به‌ترتیب ۸/۶۰ و ۸/۴۵ میلی‌لیتر مکعب).

حجم بیشتر ریشه امکان جذب آب و مواد غذایی ازفضای 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 دانهال‌های پسته شد و از سوی دیگر دانهال‌های 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 کلریدسدیم، مجموع سطح برگ دانهال‌های پسته کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۱) و بیشترین و کمترین سطح برگ به‌ترتیب در تیمارهای شاهد (۶۴۶/۹ سانتی‌متر مربع) و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (۲۸۵/۷ سانتی‌متر مربع) مشاهده شد. میانگین سطح برگ دانهال‌های پسته تحت شرایط تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌صورت معنی‌داری نسبت به شاهد کم شد. میزان سطح برگ در دانهال‌های اکبری در مقایسه با سایر دانهال‌ها، کمتر تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت. از سوی دیگر اثر متقابل ژنوتیپ و تنش شوری بر سطح برگ دانهال‌ها نیز معنی‌دار بود (شکل ۱). همچنین مشاهده شد که با افزایش شدت تنش شوری، میانگین تعداد برگ به‌صورت معنی‌داری تغییر کرد. بیشترین تعداد برگ در شاهد و کمترین آن در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم وجود داشت. در بین دانهال‌ها نیز بیشترین و کمترین تعداد برگ به‌ترتیب 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 زیست‌توده شاخساره در شرایط تنش شوری می شود (Karimi *et al.*, 2009؛ 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 متوقف‌شده و درنهایت گیاه ضعیف خواهد شد (Kingsbury *et al.*, 1984).

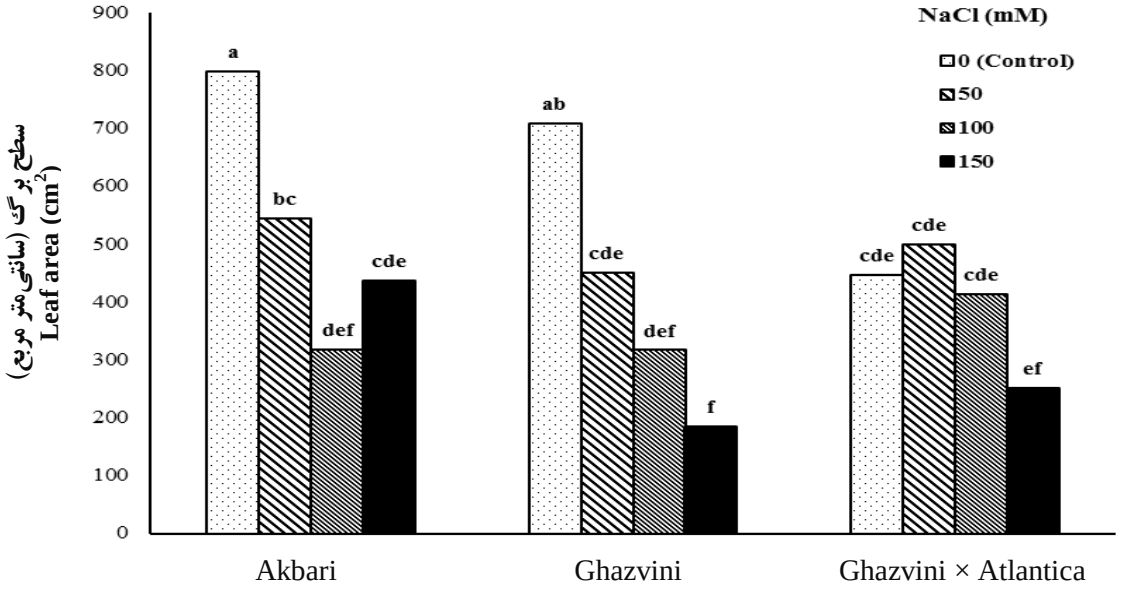
جدول ۱- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر شاخص‌های رشد دانهال‌های پسته

Table 1. The effects of salt stress and plant genotype on growth indices of pistachio seedlings

سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	تعداد برگ Leaf No.	حجم ریشه (میلی‌متر مکعب) Root Vol. (mm^3)	شاخساره: ریشه (وزن خشک) Shoot: Root (DM)	تیمار Treatments	
524.6^{a}	20.6^{a}	12.12^{a}	$22.4^{a\dagger}$	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	کلریدسدیم (میلی‌مولار) 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	تجزیه واریانس ANOVA
435.0^{*}	18.5^{**}	9.36^{**}	161.5^{*}	کلریدسدیم NaCl	
441.5^{**}	17.59^{ns}	70.1^{ns}	31.9^{**}	ژنوتیپ × کلریدسدیم Genotype × NaCl	
20.0	31.1	36.1	23.9	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%.



شکل ۱- اثر برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ بر سطح برگ دانهال‌های پسته

Figure 1. The interaction effect of salinity and plant genotype on leaf area of pistachio seedlings

نسبت وزن خشک شاخساره به ریشه با افزایش سطح تنش شوری به‌صورت 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 دانهال‌های پسته، محدودیت بیشتر رشد شاخساره نسبت به ریشه در شرایط تنش شوری را نشان می‌دهد. در این راستا دانهال‌های 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 انجام‌شده در پسته نیز گزارش شده است (Adish *et al.*, 2010؛ Behboudian *et al.*, 1986؛ Fekri *et al.*, 2016؛ Karimi *et al.*, 2009؛ Picchioni *et al.*, 1990؛ Saadatmand *et al.*, 2007؛ Tavallali *et al.*, 2009).

آسیب‌های اکسیداتیو

شاخص پایداری غشاء با افزایش شدت تنش شوری به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین میزان پایداری 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 (Blokhina *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 کلریدسدیم 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 به‌صورت 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 طولانی‌شدن دوره تنش شوری، ریزش

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 ساختار کلروپلاست و یا محدودیت در بیوسنتز و یا تشدید فعالیت آنزیم کلروفیلاز 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).

جدول ۲- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر شاخص پایداری غشاء (MSI)، غلظت کلروفیل (Chl.) و کاروتنوئیدها (Crt.) و شاخص سبزینگی 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	ژنوتیپ Genotype
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	کلریدسدیم (میلی‌مولار) 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	تجزیه واریانس ANOVA
57.0*	0.04**	14.2**	24.70*	65.0*	کلریدسدیم NaCl	
20.63^{ns}	0.07^{ns}	4.9^{ns}	25.9^{ns}	57.8^{ns}	ژنوتیپ × کلریدسدیم 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%.

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 کلروفیلاز 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 فتوسنتزکننده 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 دانهال‌های 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 میلی‌مولار کلرید سدیم مشاهده شد. نتایج کاهش میانگین سطح برگ و عدم تغییر میزان کلروفیل در واحد وزن برگ این پدیده را در دانهال‌های پسته تایید می‌کند. با توجه به داده‌های مقدار کلروفیل در واحد وزن برگ، کاهش داده‌های SPAD در سطح ۱۵۰ میلی‌مولار مشخصاً به دلیل از دست رفتن کلروفیل برگ 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 دانهال‌های مورد بررسی به شرایط تنش اکسیداتیو می‌باشد.

عناصر معدنی

نتایج نشان داد که اثرات ویرانگر تنش شوری بر شاخص‌های رشد دانهال‌های پسته احتمالاً به دلیل اثرات مستقیم تجمع یون‌ها در بافت‌های گیاه باشد. با افزایش سطح کلریدسدیم، 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 دانهال‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا بود (جدول ۳). نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره و ریشه و نسبت سدیم به کلسیم شاخساره و ریشه در دانهال‌های پسته افزایش یافت. همچنین نسبت سدیم به پتاسیم شاخساره و ریشه و نسبت سدیم به کلسیم شاخساره و ریشه در دانهال‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا در مقایسه با دیگر دانهال‌ها 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

می‌شود (Levitt, 1980). از این رو جلوگیری از جذب کلریدسدیم و به دنبال آن کاهش تجمع در گیاهان می‌تواند یکی از بهترین راهکارهای فیزیولوژیک برای افزایش تحمل به شوری در گیاهان باشد. از این رو گزارش‌های بسیاری پیرامون اهمیت مکانیزم‌های جذب اختصاص دادن یون‌ها در بافت‌ها 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 دانهال‌های پسته افزایش یافت. که این امر به علت افزایش سدیم در بافت‌ها رخ می‌دهد (Karimi *et al.*, 2009). افزایش جذب سدیم معمولاً با کاهش جذب پتاسیم و در نتیجه منجر به افزایش نسبت سدیم به پتاسیم می‌شود (Ashraf and Oleary, 1996).

در پژوهش حاضر نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره قزوینی × آتلانتیکا کمتر از سایر دانهال‌ها بود. با یک نتیجه‌گیری سطحی می‌توان 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 دانهال‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا کمتر از سایر دانهال‌ها بود که شاید به دلیل محدود نکردن این عنصر در ریشه‌ها باشد.

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

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

کلسیم ریشه Ca root	کلسیم شاخساره Ca shoot	پتاسیم ریشه K root	پتاسیم شاخساره K shoot	سدیم ریشه Na root	سدیم شاخساره Na shoot	تیمار Treatments	
(درصد ماده خشک) % DM							
0.36^{b}	0.44^{b}	0.88^{b}	0.13^{b}	$0.18^{a\dagger}$	0.22	اکبری Akbari	ژنوتیپ Genotype
0.36^{b}	0.45^{b}	0.84^{b}	0.12^{b}	0.19^{a}	0.22	قزوینی Ghazvini	
0.42^{a}	0.49^{a}	1.03^{a}	0.14^{a}	0.15^{b}	0.19	قزوینی × آتلانتیکا G × A	
0.47^{a}	0.53^{a}	1.22^{a}	0.14^{a}	0.044^{c}	$0.02^{c\dagger}$	0	کلریدسدیم (میلی مولار) NaCl (mM)
0.42^{b}	0.48^{b}	1.05^{b}	0.14^{a}	0.083^{c}	0.13^{b}	50	
0.35^{c}	0.44^{c}	0.78^{c}	0.12^{b}	0.18^{b}	0.23^{a}	100	
0.27^{c}	0.40^{c}	0.61^{c}	0.11^{b}	0.38^{a}	0.37^{a}	150	
0.06^{**}	0.10^{**}	0.12^{**}	0.7^{**}	0.17^{**}	0.9^{ns}	ژنوتیپ Genotype	تجزیه واریانس ANOVA
0.012^{**}	0.20^{**}	0.04^{**}	0.1^{**}	0.06^{**}	0.2^{**}	کلریدسدیم NaCl	
0.05^{ns}	0.02^{ns}	0.03^{ns}	0.01^{ns}	0.01*	0.1^{**}	ژنوتیپ × کلریدسدیم Genotype × NaCl	
20	13	27	12.5	23	29	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 $P \leq 1\%$ and 5%, respectively. ns: non-significant effect. †Means with the same letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $P \leq 5\%$.

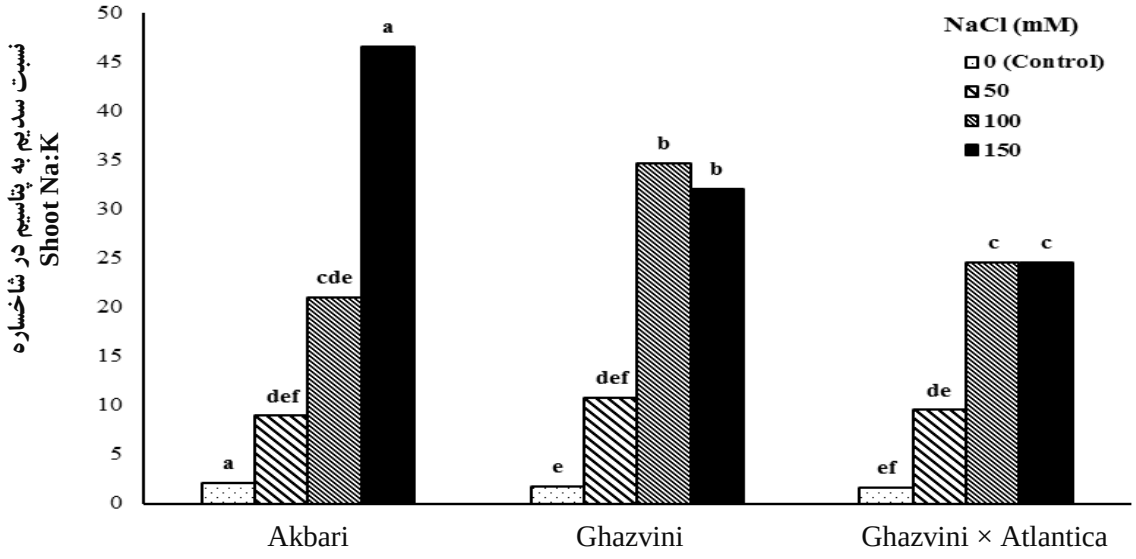
جدول ٤- اثرات تنش شوری و ژنوتیپ گیاه بر نسبت سدیم:پتاسیم و سدیم: کلسیم در اندام هوایی و ریشه دانهال‌های پسته

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

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

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%.



شکل ۲- اثر برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ بر نسبت سدیم به پتاسیم در شاخساره دانهال‌های پسته

Figure 2. The interaction effect of salinity and plant genotype on sodium to potassium ratio in the shoot of pistachio seedlings

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 درژنوتیپ‌های 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 کلریدسدیم استفاده نمود (Gorham *et al.*, 1990). احتمالاً در خصوص دانهال‌های پسته هیبرید، نسبت سدیم به پتاسیم کمتر می تواند 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 حالی‌که در دانهال‌های اکبری و قزوینی، رشد گیاه در 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 ریشه‌شده 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 دانهال‌های 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 دانهال‌های 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 دانهال‌های هیبرید قزوینی × آتلانتیکا تجمع بیشتری در برخی از عناصر مشاهده شد، ولی از سوی دیگر نیز مشاهده شد که در مقایسه با دیگر دانهال‌ها وزن خشک گیاه بیشتر کاهش یافت که در این خصوص می توان 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 دانهال‌های قزوینی × آتلانتیکا ناشی از کاهش بیشتر وزن خشک آن در مقایسه با دیگر دانهال‌ها باشد.

ریزش برگ نوعی پاسخ حساسیت است که به گیاه این امکان را می دهد 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 دانهال‌های هیبرید نیز به وقوع پیوست و سبب شد تا مقدار سدیم کمتری از بافت‌های باقی مانده روی شاخساره دانهال‌ها استخراج گردد. از طرفی نسبت سدیم به پتاسیم و کلسیم در ریشه‌های دانهال‌های این گیاهان به روشنی نشان می دهد که این گیاه نسبت به دانهال‌های قزوینی و اکبری توانایی کمتری در نگه‌داشتن سدیم در ریشه دارد و بخش اعظم سدیم پس از جذب به اندام هوایی ارسال می نماید. نگهداری سدیم در ریشه یک مکانیسم تحمل به شوری مؤثر در پایه‌های درختان میوهاست که پیش از این در گونه پسته نیز گزارش شده است (Ferguson and Zhang, 2002). ولی بر اساس نتایج پژوهش حاضر به نظر می رسد که ژنتیک گیاه بر توانایی محدود نمودن انتقال سدیم به شاخساره اثر دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که دانهال‌های 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 کارآیی تولید در باغات پسته ایران به عنوان پایه مناسب خواهد شد.

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 Pessarakli, 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 Pearcy, 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 Salekedeh, 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 - Reprotection 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). Planets 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., Ramezanian, 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 bisphosphate 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. Mirfattahi[1], M.R. Roozban[2], S. Karimi[3]*, V. Tavallali[4] and S. Aliniaeifard[5]

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 Ca^{2+} concentration was observed in the shoot and root. Accordingly, Na^+: K^+ and Na^+:Ca^{2+} ratios in the root and shoot were increased. The lowest Na^+: K^+ and Na^+:Ca^{2+} 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