

بررسی تأثیر محلول پاشی عناصر سیلیسیم و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و اکوفیزیولوژی دانه‌های پسته رقم بادامی ریز زرنند کرمان در شرایط تنش شوری

مریم رنجبر کبوترخانی^۱، مجید اسمعیلی زاده^{۲*}، حمیدرضا کریمی^۳ و محمدحسین شمشیری^۳
۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی دانه‌های پسته رقم بادامی ریز زرنند کرمان در شرایط تنش شوری، پژوهشی به صورت فاکتوریل با سه عامل شامل دو سطح شوری از منبع NaCl (۰ و ۹۰ میلی‌مولار)، سه سطح سیلیسیم از منبع سیلیکات پتاسیم (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سه سطح پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۰، ۱ و ۲ درصد)، در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. ۴۵ روز پس از سبز شدن بذرها تنش شوری اعمال شد. محلول پاشی با سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم یک هفته پیش از آغاز تنش شوری و یک هفته پس از آغاز تنش شوری بود. نتایج نشان داد که شوری آب موجب کاهش محتوای آب نسبی برگ، کارایی استفاده از آب، مجموع پروتئین‌های محلول برگ و افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها، پرولین، قندهای محلول و ترکیب‌های فنلی برگ و گلايسین‌بتائین برگ و ریشه شد. کاربرد سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی برگ، کارایی استفاده از آب، مجموع پروتئین‌های محلول، پرولین، قندهای محلول و ترکیب‌های فنلی برگ و گلايسین‌بتائین برگ و ریشه و کاهش میزان نشت الکترولیت‌های برگ در شرایط تنش شوری شدند. تیمار شوری در مقایسه با شاهد محتوای آب نسبی برگ را ۳۱/۵۲ درصد کاهش داده و نشت الکترولیت‌ها را ۹۱/۲۸ درصد افزایش داد در حالی که تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد سولفات پتاسیم در شرایط شوری محتوای آب نسبی برگ را ۵۱/۶۷ درصد افزایش و نشت الکترولیت‌ها را ۶۷/۶۲ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، پسته، تنش غیرزنده، سولفات پتاسیم، سیلیکات پتاسیم، گلايسین‌بتائین.

Study of foliar application effect of silicon and potassium elements on some biochemical and ecophysiological traits of *Pistachio seedlings* cv. Badami E-Riz Zarand Kerman under salinity stress

Maryam Ranjbar¹, Majid Esmailzadeh^{2*}, Hamid Reza Karimi³ and Mohammad Hossein Shamschiri³
1, 2, 3. M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Vali-E-Asr University, Rafsanjan, Iran
(Received: Mar. 7, 2015 - Accepted: Sep. 30, 2015)

ABSTRACT

In order to study the effect of different amounts of potassium silicate and potassium sulfate on growth traits of pistachio seedlings cv. Badami-E-Riz Kerman, an experiment was done as factorial with three factors, including two levels of salinity as source of NaCl (0 and 90 mM), three levels of silicon as source of potassium silicate (0, 50 and 100 mgL⁻¹) and three levels of potassium as source of potassium sulfate (0, 1 and 2%), in completely randomized design with three replications. 45 days after the emergence of seeds, seedlings were exposed to salt stress foliar application of potassium silicate and potassium sulfate, both a week before and after starting salinity stress. The results showed that salinity decreased leaf relative water content, water use efficiency, leaf total soluble protein and increased electrolytes leakage, proline, soluble sugars, phenolic compounds in leaf and glycine betaine in leaf and root. Foliar application of potassium silicate and potassium sulfate increased leaf relative water content, water use efficiency, leaf total soluble protein, proline, soluble sugars, phenolic compounds and glycine betaine in leaf and roots, and reduced electrolytes leakage under salinity conditions. The most effective treatments were 50 mgL⁻¹ potassium silicate and 2% potassium sulfate.

Keywords: Abiotic stress, Glycine betaine, Pistachio, potassium silicate, potassium sulfate, proline.

مقدمه

ایران با داشتن ۲۵۷۹۲۵ هکتار باغ بارده پسته ۷۳/۹ درصد سطح زیر کشت باغ‌های بارده پسته جهان را شامل می‌شود. از نظر تولید پسته ایران با تولید ۴۷۲۰۹۷ تن پسته در سال، ۴۵ درصد تولید کل جهانی پسته را در اختیار دارد. اما از نظر عملکرد در واحد سطح، ایران با ۱۸۳۰ کیلوگرم در هکتار، رتبه ششم کشورهای تولیدکننده پسته را دارد (FAO, 2012). بیشتر کشت و کار پسته ایران در زمین‌های شور و آبیاری با آب شور با کیفیت پایین است. کیفیت پایین خاک و آب در سال‌های اخیر عملکرد پسته را، به‌ویژه در مناطق جنوب شرقی ایران در کرمان و مرکز ایران کاهش داده است (Hojjat-Nooghi & Mozafari, 2012). لذا انجام پژوهش در زمینه ایجاد مقاومت به شوری و یا به‌عبارت‌دیگر نگهداری درختان پسته در این شرایط بسیار اهمیت دارد (Alizadeh, 2003). تحقیقات چندی که در زمینه کنترل شوری انجام‌شده نشان می‌دهد، کاربرد بعضی از عنصرهای غذایی از جمله پتاسیم بر پسته (Tajabadipur, 2004) و آنتابگردان (Akram et al., 2009) و سیلیسیم بر توت‌فرنگی (Fatemy et al., 2009) می‌تواند از اثرگذاری سوء تنش شوری خاک یا آب بر گیاه بکاهد و به‌عبارت‌دیگر تحمل نسبی گیاه را به تنش شوری افزایش دهد. سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱ درصد) پس از اکسیژن (۴۹ درصد) است ولی نقش‌های آن در زیست‌شناسی گیاهی کمتر شناخته شده است (Corrales et al., 1997). تحقیقات نشان می‌دهد سیلیسیم از جمله عنصرهایی است که می‌تواند تأثیر تنش شوری در گیاهان را کاهش دهد (Tahir et al., 2006). هنگامی تنش شوری ایجاد می‌شود، کاهش پتانسیل اسمزی و سمیت ناشی از یون سدیم گیاه را با مشکل روبه‌رو می‌سازد اما سیلیسیم با کاهش جذب سدیم اثر سمی این یون را کاهش داده و در نتیجه بهبود رشد را سبب می‌شود (Bandani & Abdolzadeh, 2007). گزارش شده است کاربرد سیلیسیم در شرایط تنش شوری بر گیاه توت‌فرنگی با افزایش شمار برگ، سطح برگ، وزن‌تر و خشک اندام هوایی و ریشه باعث افزایش

مقاومت گیاه به تنش شوری شده است (Fatemy et al., 2009). پتاسیم یکی از عنصرهای پرمصرف در گیاهان است که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژی مانند حفظ پتانسیل غشا، فعالیت آنزیم‌ها، تنظیم اسمزی و حرکت روزنه‌ها در گیاه نقش دارد (Goldack et al., 2003). مشاهده شده است که گیاهان برای ادامه زندگی در محیط‌های شور به میزان کافی یون پتاسیم نیاز دارند، زیرا در این محیط‌ها جایگزینی سدیم با پتاسیم در دیواره یاخته‌ای ریشه گیاه صورت می‌گیرد و افزایش در میزان پتاسیم بافت گیاه باعث مقاومت در گیاهان حساس به شوری می‌شود (Akram et al., 2009). گزارش شده است که کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری در گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش محتوای سبزینه (کلروفیل) a, b و کل، بتاکاروتن، سطح ویژه برگ، سطح برگ و محتوای پرولین باعث افزایش مقاومت گیاهان به تنش شوری شده است (Saida et al., 2014). بنابراین با توجه به شور بودن بیشتر مناطق پسته‌کاری این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی عنصرهای سیلیسیم و پتاسیم بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و اکوفیزیولوژی دانه‌های پسته رقم بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ انجام شد. در این آزمایش از بذر پسته بادامی ریز زرد کرمان استفاده شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی به اجرا درآمد. عامل‌ها شامل دو سطح شوری از منبع NaCl (۰ و ۹۰ میلی‌مولار)، سه سطح سیلیسیم از منبع سیلیکات پتاسیم^۱ (۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و سه سطح پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم^۲ (۰، ۱ و ۲ درصد) با سه تکرار بودند. بذرها در گلدان‌های ۳ لیتری کشت شدند و هر تیمار شامل سه تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان حاوی سه نهال بود. پس از گذشت حدود

1. K_2SiO_3

2. K_2SO_4

یک ماه و نیم از زمان سبز شدن بذرها تنش شوری (به صورت محلول در آب و بر پایه ظرفیت مزرعه) اعمال شد و میزان آبیاری هر گلدان به منظور آبتیابی گلدان‌ها ۳۰ درصد بیش از ظرفیت مزرعه بود. در این پژوهش محلول پاشی با سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم در دو مرحله اعمال شد. مرحله اول یک هفته پیش از آغاز تنش شوری و مرحله دوم یک هفته پس از آغاز تنش شوری بود. میزان محلول پاشی به صورت آب چک از سطح برگ‌ها صورت گرفت. به منظور جلوگیری از تنش اسمزی تیمار شوری به صورت تدریجی اعمال شد (یعنی در دو نوبت اول آبیاری، شوری ۴۵ میلی مولار و پس از آن شوری ۹۰ میلی مولار اعمال شد) و به مدت ۴۵ روز ادامه داشت. مواد آزمایشگاهی از جمله سیلیکات پتاسیم (مرک) با ۹۸ درصد خلوص و سولفات پتاسیم (مرک) با ۹۹ درصد خلوص از شرکت جهان شیمی گستر تهران تهیه شدند. ۴۵ روز پس از محلول پاشی دوم نمونه‌گیری از تکرارها برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های مربوطه انجام و آنگاه بوته‌ها برداشت شدند. برای اندازه‌گیری میزان نسبی آب برگ چهار قطعه (دیسک) به قطر ۶ میلی‌متر از برگ‌ها تهیه و پس از وزن کردن، درون پتری‌دیش حاوی آب مقطر قرار داده شد تا یاخته‌های برگ به حالت آماس درآیند. پس از گذشت شش ساعت نمونه‌ها وزن شد و پس از آن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت نگهداری تا خشک شدند و دوباره وزن آن‌ها اندازه‌گیری و میزان آب نسبی برگ به دست آمد (Whitehouse, 1957). برای محاسبه کارایی استفاده از آب، میزان کل ماده خشک تولید شده (وزن خشک شاخه، برگ و ریشه) برای هر گلدان محاسبه و بر میزان آب مصرف شده در طول دوره کشت تقسیم شد و سپس کارایی استفاده از آب (WUE) محاسبه شد (Karkanis et al., 2011).

اندازه‌گیری درصد نشت الکتروولیت‌ها با گرفتن قطعه‌هایی به قطر ۶ میلی‌متر از نمونه‌های برگ و بر پایه روش Sairam & Srivastava (2002) محاسبه شد. برای این منظور نمونه‌های برگ درون آب مقطر با حجم ۲۰ میلی‌لیتر منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. سپس میزان هدایت

$$100 \times \left[\frac{\text{نشت اولیه}}{\text{نشت ثانویه}} - 1 \right] = \text{نشت الکتروولیت}$$

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۵ گرم برگ توسعه یافته را همراه با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد درون هاون چینی کوبیده و محلول را در لوله فالدکون ریخته و به مدت ده دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی بالا را با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر رقیق کرده و ۵ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین به آن اضافه کرده و پس از افزودن ۵ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن، نمونه یاد شده به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار گرفت. پس از خنک شدن نمونه‌ها ۱۰ میلی‌لیتر بنزن به آن‌ها اضافه شد، سپس میزان جذب با دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) در طول موج ۵۱۵ نانومتر خوانده شد. استانداردهای پرولین نیز با استفاده از ال-پرولین در غلظت‌های ۰، ۳۱/۲۵، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ (میلی‌گرم در لیتر) تهیه و اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رسم منحنی استاندارد غلظت پرولین بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد (Paquin & Lechasseur, 1979). برای اندازه‌گیری میزان قندهای محلول، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره الکلی که پیشتر برای پرولین تهیه شده بود با ۳ میلی‌لیتر از آنترون تازه تهیه شده (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و پس از خنک شدن، میزان جذب با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۶۲۵ نانومتر خوانده شد (Irigoyen et al., 1992). برای اندازه‌گیری ترکیب‌های فنلی، ۰/۱ گرم برگ تازه در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد سائیده شد و مخلوط به دست آمده را

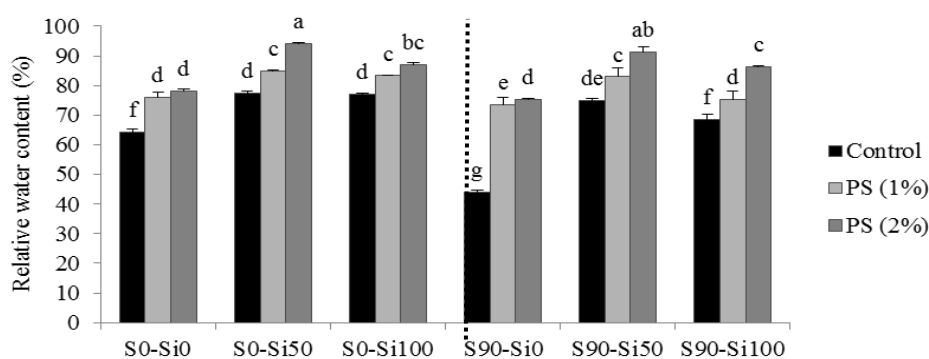
شدند. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره گیاهی را با ۰/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲ نرمال مخلوط کرده، ۰/۲۵ میلی‌لیتر از ترکیب به‌دست‌آمده برداشته و در یک لوله آزمایش ریخته و لوله‌ها درون حمام آب سرد به مدت یک ساعت قرار داده شدند. پس از انجام این کار مخلوط یخ در ۱۰ گرم پتاسیم در ۷/۸۵ گرم یخ خالص و ۰/۱ میلی‌لیتر از مخلوط به‌دست‌آمده را برداشته و به هر لوله آزمایش اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت در دمای ۴-۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. پس‌ازاین مدت نمونه‌ها به مدت پانزده دقیقه در دمای ۰ درجه سلسیوس با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس از پایان سانتریفیوژ دو محلول جدا و مشخص در لوله‌ها دیده شد که محلول شفاف را بیرون ریخته و محلول بلورمانند نگه داشته شد. سپس میزان ۴/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱ و ۲ دی‌کلرواتان به بخش (فاز) بلورمانند اضافه و بهم زده شد. پس از گذشت حدود ۲-۲/۵ ساعت میزان جذب نوری با دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۳۶۵ نانومتر خوانده شد (Grice & Grattan, 1983). نتایج و داده‌های به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شده و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج

محتوای آب نسبی برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر برهمکنش شوری آب آبیاری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر محتوای آب نسبی برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد، محتوای آب نسبی برگ در سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار نسبت به شرایط بدون تنش (شاهد) کاهش معنی‌داری داشت. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کاربرد تیمار سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ در هر دو سطح (تنش شوری و بدون تنش) شد و بهترین تیمار، کاربرد ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد سولفات پتاسیم بود (شکل ۱).

در لوله‌های آزمایش ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی نگهداری شد. پس‌ازاین مرحله ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی برداشته و ۱ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد به آن اضافه و به حجم ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. به این محلول ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین ۵۰ درصد و ۱ میلی‌لیتر کربنات کلسیم ۵ درصد اضافه شد که منجر به ایجاد رنگ سیاه در نمونه‌ها شد. لوله‌ها به مدت یک ساعت در تاریکی نگهداری شدند. میزان جذب با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۷۲۵ نانومتر خوانده شد (Isfendiyaroglu & Zeker, 2002). برای اندازه‌گیری مجموع پروتئین‌های محلول، ۰/۵ گرم نمونه تازه برگ را همراه با ۶/۲۵ میلی‌لیتر بافر استخراج^۱ (میزان ۱۲/۱ گرم تریس در ۱ لیتر آب مقطر حل و اسیدیته (pH) محلول توسط اسید کلریدریک ۱ نرمال به ۷/۵ رسانده شد) درون هاون چینی کوبیده، نمونه یادشده را درون فالکون ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه نگهداری شد. نمونه‌ها در دمای ۴-۲ درجه سلسیوس با سرعت ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۴۰-۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. پس‌ازاین مرحله میزان ۰/۱ میلی‌لیتر از بخش مایع روشن‌آور نمونه‌ها را برداشته درون یک لوله آزمایش ریخته و میزان ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد (میزان ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلو در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد حل و ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد به محلول اضافه و حجم محلول کل با کمک آب مقطر به ۱ لیتر رسانده شد) به آن افزوده و به‌سرعت بهم زده (ورتکس) شد. در انتها میزان جذب نوری محلول با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد (Bradford, 1976). برای اندازه‌گیری گلایسین‌بتائین در آغاز نمونه‌های گیاهی را در آن در دمای ۶۵-۵۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار داده تا خشک شدند. سپس ۰/۲۵ گرم از نمونه‌های آسیاب شده را وزن کرده و در یک ارلن ریخته و پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در هر ارلن، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت روی دستگاه لرزا (شیکر) تکان داده



شکل ۱. تأثیر برهمکنش شوری آب آبیاری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر محتوای آب نسبی برگ دانه‌های پسته بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری.

S0 و S90: به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم. Si0، Si50 و Si100: به ترتیب شاهد، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم.

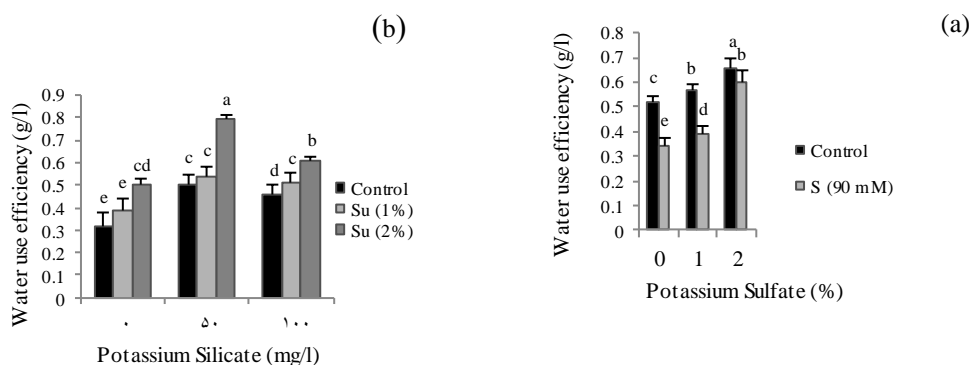
Figure 1. Interaction of salinity, potassium silicate and potassium sulfate on the leaf relative water content of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress.

(S0 and S90: Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively. Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate, 1 and 2% potassium sulfate respectively. Si0, Si50 and Si100: Control, 50 and 100 mg/l potassium silicate respectively).

بدون شوری) باعث بهبود کارایی استفاده از آب شد. بهترین وضعیت کارایی استفاده از آب در هر دو سطح شوری مربوط به تیمار ۲ درصد سولفات پتاسیم بود (شکل ۲-ا). همچنین کاربرد همزمان سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم نیز باعث افزایش کارایی استفاده از آب شد و تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد سولفات پتاسیم بیشترین کارایی استفاده از آب را نشان داد (شکل ۲-ب).

کارایی استفاده از آب

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، برهمکنش تأثیر شوری و سولفات پتاسیم و برهمکنش تأثیر سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر میزان کارایی استفاده از آب معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار باعث کاهش میزان کارایی استفاده از آب نسبت به شرایط بدون تنش شد، اما کاربرد سولفات پتاسیم در هر دو سطح (تنش شوری و



شکل ۲. برهمکنش تأثیر شوری آب آبیاری و سولفات پتاسیم (a) و سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم (b) بر کارایی استفاده از آب دانه‌های پسته بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری.

شکل (a). Control و S (90 mM): به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. (b). Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم.

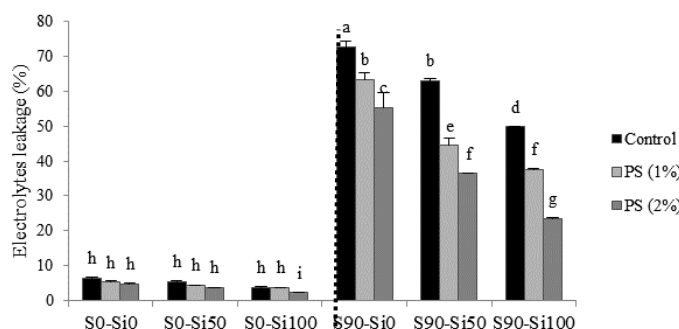
Figure 2. Interaction of salinity and potassium sulfate (A), and potassium silicate and potassium sulfate (B) on the water use efficiency of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress.

(a) Control and S (90 mM): Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively. (b) Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate (control), 1 and 2% potassium sulfate respectively).

نشت الکترولیت‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر برهمکنش شوری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد، تنش شوری باعث افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها از برگ پسته نسبت به شرایط بدون تنش شد. همچنین مقایسه

میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کاربردی سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم درصد نشت الکترولیت‌ها در هر دو سطح شوری کاهش یافت. به طوری که تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد سولفات پتاسیم در هر دو سطح (تنش شوری و بدون تنش) کمترین نشت الکترولیتی را داشت (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر برهمکنش شوری آب آبیاری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر درصد نشت الکترولیت از برگ دانه‌های پسته بادامی ریز زرنند کرمان در شرایط تنش شوری.

S0 و S90: به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم. Si0، Si50 و Si100: به ترتیب شاهد، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم.

Figure 3. Interaction of salinity, potassium silicate and potassium sulfate on the percent of leaf electrolyte leakage of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress.

(S0 and S90: Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively. Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate (control), 1 and 2% potassium sulfate respectively. Si0, Si50 and Si100: control, 50 and 100 mg/l potassium silicate respectively).

مقادیر قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تنها تأثیر ساده شوری آب آبیاری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر محتوای قندهای محلول برگ معنی‌دار بود و برهمکنش این‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج این آزمایش نشان داد، شوری باعث افزایش محتوای قندهای محلول نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۵-a). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان سیلیکات پتاسیم میزان قندهای محلول نیز نسبت به تیمار شاهد (غلظت صفر سیلیکات پتاسیم) افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان قندهای محلول مربوط به تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم بود (شکل ۵-b). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، با افزایش میزان سولفات پتاسیم محتوای قندهای محلول برگ نسبت به تیمار شاهد (غلظت صفر سولفات پتاسیم) کاهش پیدا کرد و کمترین میزان

پرولین

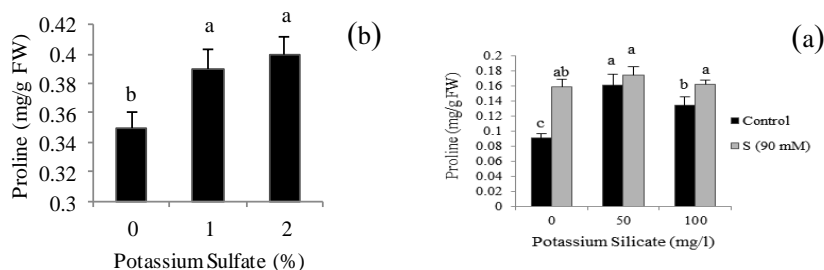
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر سولفات پتاسیم به تنهایی و تأثیر برهمکنش شوری و سیلیکات پتاسیم بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، با اعمال تنش شوری محتوای پرولین برگ افزایش پیدا کرد اما کاربرد سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش شوری و بدون تنش باعث افزایش محتوای پرولین شد و بیشترین میزان پرولین برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم بود اگرچه بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴-a). همچنین با کاربرد سولفات پتاسیم میزان پرولین برگ نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد و تیمار ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۴-b).

شوری و بدون تنش باعث افزایش محتوای ترکیب‌های فنلی برگ شد و بیشترین محتوای ترکیب‌های فنلی برگ مربوط به تیمار ۱ درصد سولفات پتاسیم در شوری ۹۰ میلی‌مولار بود (شکل a-۶). نتایج اثر متقابل سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر محتوای ترکیب‌های فنلی برگ نیز نشان داد که با کاربرد سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم محتوای ترکیب‌های فنلی برگ افزایش پیدا کرد به طوری که تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۱ درصد سولفات پتاسیم بیشترین اثر بر محتوای ترکیب‌های فنلی برگ‌ها را داشت (شکل b-۶).

قندهای محلول در تیمار ۲ درصد سولفات پتاسیم مشاهده شد (شکل c-۵).

ترکیب‌های فنلی

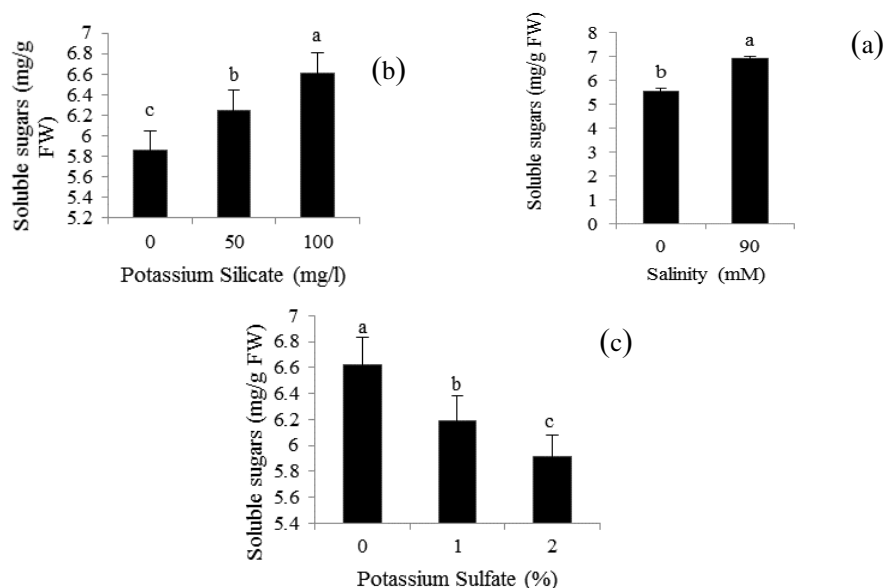
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر برهمکنش شوری و سولفات پتاسیم و تأثیر برهمکنش سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر محتوای ترکیب‌های فنلی برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مربوط به مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شوری باعث افزایش محتوای ترکیب‌های فنلی برگ شد. همچنین نتایج نشان داد، کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط تنش



شکل ۴. برهمکنش تأثیر شوری آب آبیاری و سیلیکات پتاسیم (A) و اثر سولفات پتاسیم (B) بر محتوای پرولین برگ دانه‌های پسته بادامی ریز زرنند کرمان در شرایط تنش شوری.

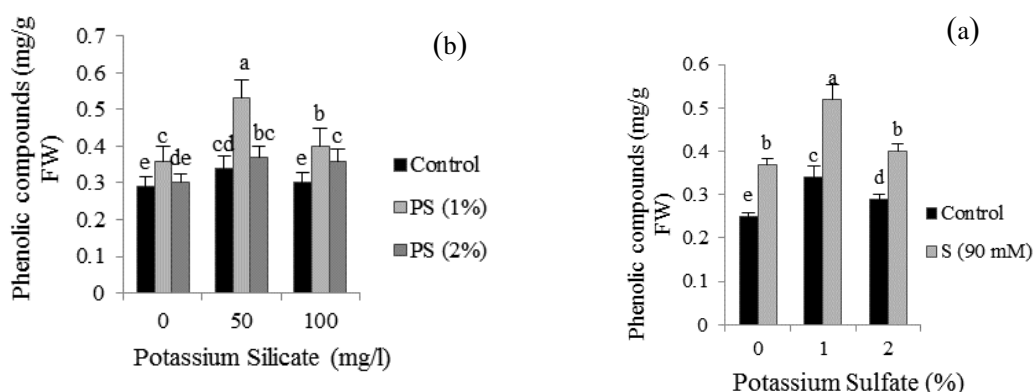
Control و S (90 mM): به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار).

Figure 4. Interaction of salinity and potassium silicate (A), and the effect of potassium sulfate (B) on leaf proline content of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress. (Control and S (90 mM): Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively).



شکل ۵. تأثیر شوری آب آبیاری (a)، سولفات پتاسیم (b) و سیلیکات پتاسیم (c) بر مقادیر قندهای محلول برگ دانه‌های پسته بادامی ریز زرنند کرمان در شرایط تنش شوری.

Figure 5. Effect of salinity (a), potassium sulfate (b) and potassium silicate (c) on the leaf soluble sugars content of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress.



شکل ۶. برهمکنش تأثیر شوری آب آبیاری و سولفات پتاسیم (A) و سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم (B) بر ترکیب‌های فنلی برگ دانه‌های پسته بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری.

(شکل A. Control و S (90 mM): به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. شکل B. Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم).

Figure 6. Interaction of salinity and potassium sulfate (A) and potassium silicate and potassium sulfate (B) on the leaf phenolic compounds of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress. ((a). Control and S (90 mM): Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively; (b) Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate treatment (control), 1 and 2% potassium sulfate respectively).

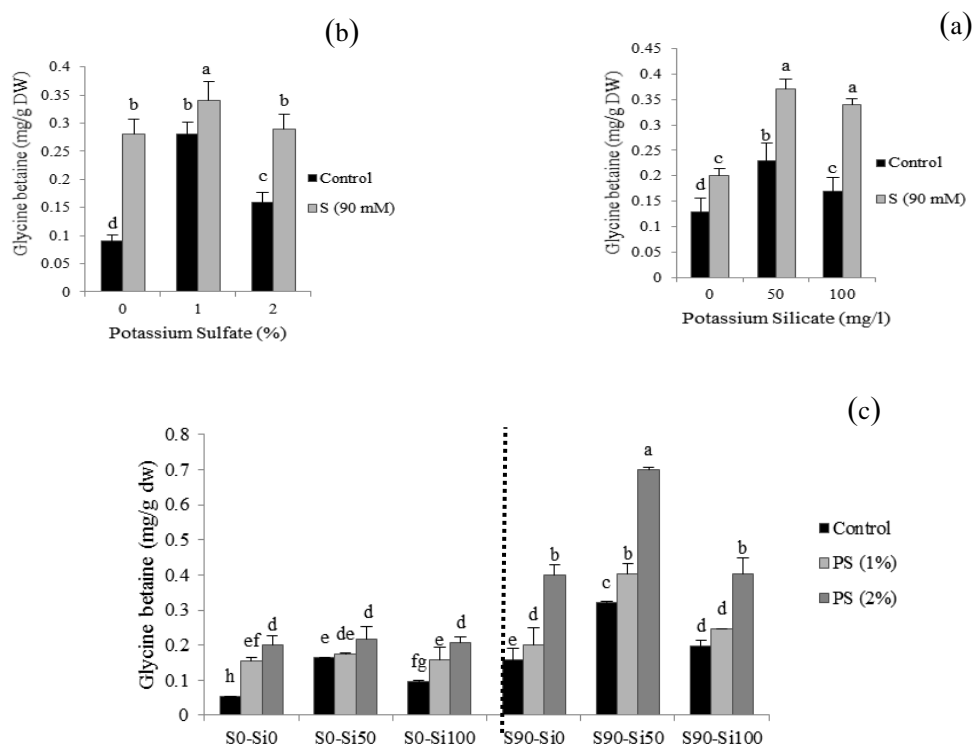
سولفات پتاسیم در سطح شوری ۹۰ میلی‌مولار بود (شکل c-۷).

مجموع پروتئین‌های محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، مجموع پروتئین‌های محلول برگ تحت تأثیر برهمکنش شوری و سیلیکات پتاسیم و برهمکنش سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم قرار گرفت (جدول ۲). نتایج این آزمایش نشان داد، محلول‌پاشی تیمار سیلیکات پتاسیم در شرایط تنش شوری و بدون تنش باعث افزایش میزان پروتئین‌های محلول برگ شد. بیشترین میزان پروتئین‌های محلول برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم بود (شکل a-۹). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، کاربرد همزمان سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث افزایش مجموع پروتئین‌های محلول برگ نسبت به تیمار بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم شد به طوری که تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۱ درصد سولفات پتاسیم بیشترین مجموع پروتئین‌های محلول برگ را داشت (شکل b-۹).

گلایسین بتائین

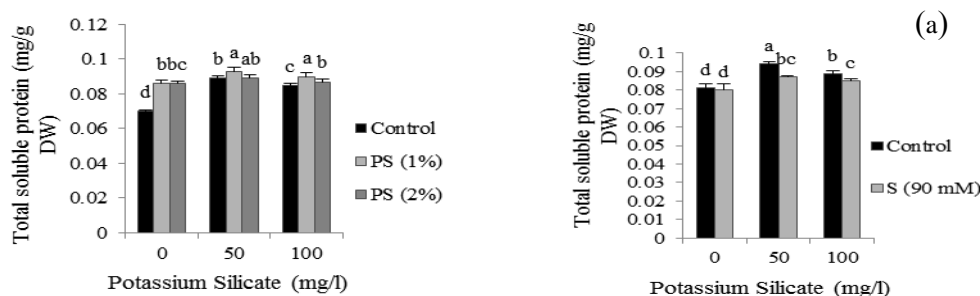
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، تأثیر برهمکنش شوری و سیلیکات پتاسیم و برهمکنش شوری و سولفات پتاسیم بر میزان گلایسین بتائین برگ و تأثیر برهمکنش شوری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر میزان گلایسین بتائین ریشه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، شوری باعث افزایش میزان گلایسین بتائین برگ دانه‌ها در شرایط تنش شوری شد و با افزایش سطوح کاربردی سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم میزان گلایسین بتائین برگ نیز افزایش پیدا کرد. بیشترین میزان گلایسین بتائین برگ مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۱ درصد سولفات پتاسیم بود (شکل a, b-۷). همچنین نتایج این پژوهش بر میزان گلایسین بتائین ریشه مشخص کرد که بیشترین میزان گلایسین بتائین ریشه در شرایط تنش شوری بود و کاربرد همزمان تیمار سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث افزایش میزان گلایسین بتائین ریشه شد به طوری که بیشترین میزان گلایسین بتائین ریشه مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد



شکل ۷. تأثیر برهمکنش شوری آب آبیاری و سیلیکات پتاسیم (A)، برهمکنش شوری آب آبیاری و سولفات پتاسیم (B) بر میزان گلایسین بتائین برگ. تأثیر برهمکنش شوری، سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم (C) بر میزان گلایسین بتائین ریشه دانهال‌های پسته بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری.

(a) و (b). Control و S (90 mM): به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. شکل C. S0 و S90: به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار. Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم. Si0، Si50 و Si100: به ترتیب شاهد، غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم.

Figure 7. Interaction of salinity and potassium silicate (A), Interaction of salinity and potassium sulfate (B) on the leaf glycine betaine content. Interaction of salinity, potassium silicate and potassium sulfate (C) on the root glycine betaine content of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress. (a) and (b): Control and S (90 mM): Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively. (c) S0 and S90: Without salinity (control) and salinity (90 mM); Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate (control), 1 and 2% potassium sulfate respectively. Si0, Si50 and Si100): control, 50 and 100 mg/l potassium silicate respectively).



شکل ۸. برهمکنش شوری آب آبیاری و سیلیکات پتاسیم (A) و سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم (B) بر میزان پروتئین کل برگ دانهال‌های پسته بادامی ریز زرد کرمان در شرایط تنش شوری.

(a): Control و S (90 mM): به ترتیب تیمار بدون شوری (شاهد) و شوری ۹۰ میلی‌مولار؛ (b): Control، PS (1%) و PS (2%): به ترتیب تیمار بدون سولفات پتاسیم (شاهد)، غلظت‌های ۱ و ۲ درصد سولفات پتاسیم.

Figure 8. Interaction of salinity and potassium silicate (a), and potassium silicate and potassium sulfate (b) on the leaf total protein content of pistachio seedlings cv. Badami -E- Riz Zarand-E- Kerman under salt stress. (a) Control and S (90 mM): Without salinity (control) and salinity (90 mM) respectively. (b) Control, PS (1%) and PS (2%): Without potassium sulfate (control), 1 and 2% potassium sulfate respectively).

بحث

کاهش محتوای آب نسبی برگ و کارایی استفاده از آب در شرایط تنش شوری ناشی از کاهش میزان رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌های هوایی، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه و همچنین افزایش تجمع یون‌ها به‌ویژه یون‌های سدیم و کلر است (Hajiboland *et al.*, 2009). سیلیسیم در دیوارهٔ یاخته‌ها رسوب کرده و با درشت‌ملکول‌های آلی (شامل سلولز، پکتین، گلیکوپروتئین‌ها و لیگنین) ترکیب شده و ترکیب‌های کلوئیدی بی‌شکل را با سطح جذب بالا تشکیل می‌دهد. در نتیجه نانوذره‌های سیلیسیم بر میزان انتقال آب اثرگذار بوده و کارایی استفاده از آب را افزایش می‌دهند (Wang & Naser, 1994). همچنین نقش کلیدی پتاسیم به‌عنوان تنظیم‌کنندهٔ اسمزی در آماس یاخته و به‌ویژه در روزنه‌ها شناخته شده است، به‌طوری‌که در حضور میزان کافی پتاسیم به‌عنوان یک مادهٔ اسمزی مهم در واکوئل، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ تعادل آب در گیاهان تحت تنش به‌درستی صورت می‌گیرد و پتاسیم، محتوای آب نسبی برگ و کارایی استفاده از آب را بالا می‌برد (Mengel & Arneke, 1982). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج Kaya *et al.* (2001) بر لفل، Romero *et al.* (2006) بر گوجه‌فرنگی، Akram *et al.* (2009) بر آفتابگردان و Nasser *et al.* (2012) بر شنبلیله همخوانی دارد.

در شرایط شوری، به دلیل پراکسیداسیون لیپیدها، غشاء یاخته‌ها آسیب دیده و در نتیجه میزان نفوذپذیری و نشت الکترولیت‌ها افزایش می‌یابد (Kaya *et al.*, 2006). تیمار سیلیسیم در شرایط شوری نشت الکترولیت‌ها از برگ را کاهش می‌دهد این کاهش، در آغاز به دلیل کاهش جذب نمک و پس از آن به دلیل افزایش پایداری غشای سیتوپلاسمی است زیرا سیلیسیم با افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده (آنتی‌اکسیدان) کاتالازها و سوپر اکسید دسموتازها باعث از بین رفتن رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط تنش شوری می‌شود و در نهایت باعث کاهش نفوذپذیری غشای یاختهٔ برگ و افزایش پایداری غشا می‌شود (Kaya *et al.*, 2006). در شرایط تنش شوری

رادیکال‌های آزاد باعث پراکسید شدن لیپیدهای غشا و خروج یون پتاسیم از دیوارهٔ یاخته‌ای شده و همچنین یون سدیم به دلیل اثر رقابتی با پتاسیم بر محل‌های اتصال پتاسیم در غشای یاخته‌ای جایگزین می‌شود و از آنجایی‌که نمی‌تواند فعالیت پتاسیم را انجام دهد باعث نشت الکترولیت‌ها از دیوارهٔ یاخته می‌شود، اما کاربرد پتاسیم باعث بهبود نسبت K/Na شده و قرارگیری سدیم در غشا کمتر می‌شود و در نهایت پتاسیم باعث کاهش نشت و پایداری غشای یاخته‌ای می‌شود (Cuin & Shabala, 2007). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج Kaya *et al.* (2001) بر لفل، Zuccarini & Okurowska (2008) بر ریحان و Nasser *et al.* (2012) بر شنبلیله همخوانی دارد.

تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی به شرایط تنش است و پرولین یکی از مهم‌ترین محلول‌های سازگار بوده و در تعدیل پتانسیل اسمزی بسیار مؤثر است (Kaya *et al.*, 2006). Ahmad *et al.* (2011) به این نتیجه رسیدند که افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده مانند کاتالازها و سوپر اکسید دسموتازها باعث کاهش گونه‌های فعال اکسیژن شده همچنین میزان پراکسید هیدروژن به‌شدت کاهش می‌یابد و به همین دلیل یکی از عامل‌های زیست‌سوزی (کاتابولیسیم) پرولین از بین رفته و میزان پرولین در حضور سیلیسیم افزایش می‌یابد. Soleimanzadeh *et al.* (2010) گزارش کردند که پتاسیم در هنگام تنش‌های محیطی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده شده و از این راه سبب کاهش رادیکال‌های آزاد تولیدشده در زمان تنش شوری شده و در نهایت بازدارندهٔ آسیب رادیکال‌های آزاد بر محتوای پرولین می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج Tajabadipour *et al.* (2004) بر پسته، Bybordi (2013) بر گندم و Saida *et al.* (2014) بر گوجه‌فرنگی همخوانی دارد.

قندهای محلول جز ترکیب‌های اسمز نگهدار هستند که در شرایط تنش در گیاهان بنا به دلایلی از جمله، تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، ساخت (سنتز) این ترکیب‌ها از مسیرهای غیرنورساختی (فتوسنتزی) و متوقف شدن رشد افزایش می‌یابد (Huany & Johnson, 1995). با

میزان ترکیب‌های فنلی را افزایش می‌دهد (Li *et al.*, 2009). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج El-Lethy *et al.* (2012)، بر فلفل و (2013) بر گندم همخوانی دارد.

گلاسیسین‌بتائین یک تنظیم‌کننده اسمزی است که از نظر الکتریکی خنثی بوده و در محدوده گسترده‌ای از pH های فیزیولوژیکی فعال است، ساختار مولکولی گلاسیسین‌بتائین به آن این امکان را می‌دهد که با گروه‌های آب‌گریز و آب‌دوست مولکول‌های پروتئین و آنزیم‌ها برهمکنش داشته باشد (Sakamoto & Murata, 2002). گزارش شده است که کاربرد سیلیسیم باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ و جذب نیتروژن گیاه می‌شود و این نیتروژن جذب‌شده باعث تأمین کربن موردنیاز برای ساخت اسیدهای آمینه مانند گلاسیسین‌بتائین شده و از این راه سیلیسیم باعث افزایش میزان گلاسیسین‌بتائین می‌شود (Bredemeier & Mundstock, 2000). همچنین افزایش میزان گلاسیسین‌بتائین در حضور پتاسیم احتمال دارد به دلیل افزایش جذب نیتروژن باشد و افزایش جذب نیتروژن باعث تأمین کربن موردنیاز برای ساخت گلاسیسین‌بتائین می‌شود و از این راه کاربرد پتاسیم باعث افزایش میزان گلاسیسین‌بتائین می‌شود (Maqsood *et al.*, 2008). نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج (Maqsood *et al.*, 2008) بر ذرت همخوانی دارد.

پروتئین‌های محلول برگ تحت تنش شوری در نتیجه واکنش با رادیکال‌های آزاد، تغییر اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین‌ها، کاهش ساخت پروتئین‌ها، تخریب سازوکار رونویسی و ترجمه mRNA کاهش می‌یابد (Ranjan *et al.*, 2001). افزایش در میزان پروتئین‌های محلول برگ در تیمار سیلیسیم در مقایسه با تیمار شوری بدون سیلیسیم به دلیل ساخت پروتئین‌های جدید، افزایش سطح پروتئین‌های جدید، افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و هماهنگی گیاه به شرایط شوری است که می‌توان به آنزیم‌های پاداکسنده (SOD, CAT, APX, POD) اشاره کرد که در تیمار سیلیسیم به میزان زیادی افزایش پیدا

توجه به اظهارنظر Verma & Dubey (2001) می‌توان حدس زد که سیلیسیم ذخیره کربوهیدراتی گیاهان تحت تأثیر تنش را برای فرآیندهای متابولیک و حفظ سوخت‌وساز (متابولیسم) پایه در حد مطلوب نگه‌داشته است و با افزایش کربوهیدرات‌ها در شرایط تنش شوری، گیاهان را از تخریب اکسیدشدن محافظت کرده و باعث بقای ساختار پروتئین‌ها خواهد شد. همچنین Tajabadipour (2004) با کاربرد سولفات پتاسیم در شرایط تنش شوری بر پسته اعلام کرد که تیمار پتاسیم نتوانست باعث افزایش میزان قندهای محلول برگ شود و کاربرد سولفات پتاسیم باعث کاهش میزان قندهای محلول شد. وی همچنین در پژوهش خود اعلام کرد، به احتمال پتاسیم باعث شده است که بخشی از مواد کربوهیدراتی تولیدشده که باید صرف تولید قندهای محلول شود برای ساخت پرولین به کار رود. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج Tajabadipour (2004) بر پسته، El-lethy *et al.* (2013) بر گندم و Yin *et al.* (2013) بر سورگوم همخوانی دارد.

یکی از سازوکارهای دفاع غیرآنزیمی برای رویارویی با تنش اکسایشی (اکسیداتیو) القاشده توسط تنش در گیاهان، تجمع ترکیب‌های فنلی است. ترکیب‌های فنلی به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیدکننده می‌شوند (Schaller & Kieber, 2002). تأثیر سیلیسیم بر افزایش تولید ترکیب‌های فنلی احتمال دارد به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده و آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز (Phenylalanine ammonialyase) باشد. آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز آغازکننده مسیر ساخت ترکیب‌های فنلی است و به احتمال سیلیسیم با افزایش فعالیت این آنزیم باعث افزایش میزان ترکیب‌های فنلی می‌شود (Cai *et al.*, 2008). تأثیر مثبت کاربرد پتاسیم بر تولید بیشتر ترکیب‌های فنلی احتمال دارد به دلیل نقش پتاسیم در ساخت آنزیم‌های ساخت این ترکیب‌ها (به‌ویژه آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیا لایاز) باشد زیرا پتاسیم در ساخت شمار بسیاری از آنزیم‌ها نقش دارد و به احتمال کاربرد پتاسیم باعث افزایش میزان آنزیم‌های ساخت ترکیب‌های فنلی شده و از این راه

ناقل به ریبوزومها دخالت داشته باشد و از این راه باعث افزایش میزان پروتئینها می شود (Kanai *et al.*, 2007). نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج Al-Aghabary *et al.* (2004) بر گوجه فرنگی و Morshedi & Farahbakhsh (2010) بر گندم همخوانی دارد.

می کند (Tale Ahmad & Haddad, 2011). پتاسیم برای تثبیت CO₂ در کلروپلاست، فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز و ساختن پروتئینها در گیاهان ضروری است، بنابراین احتمال دارد که پتاسیم در چندین مرحله از فرآیند ترجمه، مانند چسباندن RNA

جدول ۱. تجزیه واریانس دادهها

Table 1. Analysis variance of data

Variation Source	Degree of freedom	Mean square				
		Leaf relative water content	Water use efficiency	Leaf electrolyte leakage	Proline	Soluble sugars
S	1	420.9**	0.2674**	33379.03**	0.0338**	24/308**
Si	2	1155.58**	0.1974**	1736.45**	0.0155**	2/488**
PS	2	1452.81**	0.1978**	927.62**	0.01**	2/324**
S× Si	2	42.94**	0.0022 ^{ns}	1376.89**	0.0065**	0/004 ^{ns}
S× PS	2	84.2**	0.022**	731.15**	0.0024 ^{ns}	0/148 ^{ns}
Si× PS	4	93.1**	0.012**	53.73*	0.0005 ^{ns}	0/025 ^{ns}
S×Si× PS	4	50.3**	0.0004 ^{ns}	51.51*	0.0002 ^{ns}	0/01 ^{ns}
Experimental error	17	6.62	0.0022	5.48	0.0012	0/142
Coefficient of Variation (%)		3.32	9.22	8.02	9.15	6/03

S: salinity Si: Potassium silicate PS: Potassium sulfate

*, **, ns: Significant at 5 and 1% probability levels, and Non-significant.

*, **, ns: معنی داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، و غیر معنی دار.

ادامه جدول ۱. تجزیه واریانس دادهها

Continued table 1. Analysis variance of data

Variation Source	Degrees of freedom	Mean square			
		Phenolic compounds	Leaf glycine betaine	Root glycine betaine	Total soluble protein
S	1	0.2766**	0.2065**	0.426**	0.0002**
Si	2	0.0455**	0.0879**	0.093**	0.0004**
PS	2	0.07**	0.0749**	0.17**	0.00031**
S× Si	2	0.0018 ^{ns}	0.0121**	0.042**	0.00004**
S× PS	2	0.0067*	0.0184**	0.044**	0.00004 ^{ns}
Si× PS	4	0.0079**	0.0015 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.00012**
S×Si× PS	4	0.0003 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.007*	0.00001 ^{ns}
Experimental error	17	0.0013	0.0013	0.002	0.00001
Coefficient of variation (%)		9.95	15.3	17.7	3.95

S: salinity Si: Potassium silicate PS: Potassium sulfate

*, **, ns: Significant at 5 and 1% probability levels, and Non-significant.

*, **, ns: معنی داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد، و غیر معنی دار.

محلول و کاهش نشت الکترولیتها از برگ و افزایش میزان تنظیم کننده های اسمزی در شرایط تنش شوری شده و از این راه باعث مقاوم شدن گیاه به تنش شوری شدند. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش غلظت های ۵۰ میلی گرم بر لیتر سیلیکات پتاسیم و ۲ درصد سولفات پتاسیم در شرایط تنش شوری توصیه می شود و این تیمارها با تأثیری که بر ویژگی های رشد گیاه در شرایط تنش شوری می گذارند باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش شوری نیز می شوند.

نتیجه گیری کلی

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد، تنش شوری تأثیر منفی بر رابطه آبی (محتوای نسبی آب برگ و کارایی استفاده از آب) دانهال های پسته داشت، به طوری که سطح شوری ۹۰ میلی مولار باعث کاهش رابطه آبی گیاه شد. همچنین تنش شوری باعث کاهش مجموع پروتئین های محلول و افزایش نشت الکترولیتها از برگ دانهالها شد، اما کاربرد سیلیکات پتاسیم و سولفات پتاسیم باعث افزایش محتوای نسبی آب برگ و کارایی استفاده از آب، مجموع پروتئین های

REFERENCES

1. Ahmad, M., Hassen, F., Qadeer, U. & Aslam, A. (2011). Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 594-607.
2. Akram, M. S., Ashraf, M. & Akram, N. A. (2009). Effectiveness of potassium sulfate in mitigating salt-induced adverse effects on different physio-biochemical attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Flora*, 204, 471-483.
3. Al-Aghabary, K., Zhu, Z. & Shi, Q. H. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and anti oxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrient*, 27, 2101-2115.
4. Alizadeh, A. (2003). *Design of irrigation systems*. University of Imam Reza.
5. Bandani, M. & Abdolzadeh, A. (2007). Effects of silicon nutrition on salinity tolerance of *Puccinellia distans* (jacq.) parl. *Journal Agriculture Science Nutrition Resour*, 14, 111-119.
6. Bradford, M. M. A. (1976). Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
7. Bredemeier, C. & Mundstock, C. M. (2000). Regulation of nitrogen absorption and assimilation in plants. *Journal Master List*, 30, 365-372.
8. Bybordi, A. (2013). Interactive effects of silicon and potassium nitrate in improving salt tolerance of wheat. *Journal of Integrative Agriculture Advanced Online Publication*, 13, 2095-3119.
9. Cai, K., Gao, D., Luo, S., Zeng, R., Yang, J. & Zhu, X. (2008). Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. *Physiologia Plantarum*, 134, 324-333.
10. Corrales, I., Poschenrieder, C. & Barcello, J. (1997). Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. *Plant and Soil*, 199, 203-209.
11. Cuin, T. A. & Shabala, S. (2007). Compatible solutes reduce ROS-induced potassium efflux in *Arabidopsis* roots. *Plant Cell Environment*, 30, 875-885.
12. El-Lethy, S. R. Abdelhamid, M. T. & Reda, F. (2013). Effect of potassium application on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown under salinity stress. *Journal World Applied Sciences*, 26, 840-850.
13. FAO. (2012). *Food outlook global market analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
14. Fatemy, L. S., Tabatabaei, S. J. & Fallahi, E. (2009). The effect of silicon on the growth and yield of strawberry grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Sciences*, 23, 88-95.
15. Gollidack, D., Quigley, F., Michalowski, C. B., Kamasani, U. R. & Bohnert, H. J. (2003). Salinity stress-tolerant and sensitive rice (*Oryza sativa* L.) regulate AKT1- type potassium channel transcripts differently. *Journal of Plant Molecular Biology*, 51, 71-81.
16. Grieve, C. M., & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil*, 70, 303-307.
17. Hajiboland, R. N., Aliasgharzade, S., Farsad, H. & Poschenrieder, C. H. (2009). Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato plants. *Plant Soil*, 11, 249-255.
18. Hojjat- Nooghi, F & Mozafari, V. (2012). Effects of calcium on eliminating the negative effects of salinity in pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 711-716.
19. Huany, B. & Johnson, J. W. (1995). Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in response to hypoxia. *Annals of Botany*, 75, 427-432.
20. Hussein, M. M., El-Faham, S. Y. & Alva, A. K. (2012). Pepper plants growth, yield, photosynthetic pigments, and total phenols as affected by foliar application of potassium under different salinity irrigation water. *Journal of Agricultural Sciences*, 3, 241-248.
21. Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changing concentrations of prolin and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum*, 84, 67-72.
22. Isfendiyaroglu, M. & Zeker, E. (2002). The relation between phenolic compound and seed dormancy in *Pistacia* spp. In: AKB. E. (ed.). *11 Grema Serr Pistachios and Almond. Chieres optins Mediterraneenes*, 56, 232-277.
23. Kanai, S., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J., Mohapatra, P., Saneoka, H. & Fujita, K. (2007). Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *Journal of Experimental Botany*, 58, 2917-2928.
24. Karkanis, A., Bilalis, D. & Efthimiadou, A. (2011). Architectural plasticity, photosynthesis and growth responses of (*Abutilon theophrasti*) plants to warer stress in a semi arid environment. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 369-374.
25. Kaya, C., Kirnak, H. & Higgs, D. (2001). Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1457-1471.

26. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, 29, 1469-1480.
27. Li, W., Ping, H. & Jiyun, J. (2009). Potassium influenced phenylalanine ammonia-lyase, peroxidases and polyphenol oxidases in *Fusarium graminearum* infected maize (*Zea mays* L.). *Proceedings of the International Plant Nutrition*, 6, 286-296.
28. Maqsood, T., Akhtar, J., Farooq, M. R., Haq, M. A. & Saqib, Z. A. (2008). Biochemical attributes of salt tolerant and salt sensitive maize cultivars to salinity and potassium nutrition. *Journal of Agriculture Sciences*, 45, 1-5.
29. Mengel, K. & Arneke, W. W. (1982). Effect of potassium on the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiology*, 54, 402-408.
30. Morshedi, A. & Farahbakhsh, H. (2010). Effects of potassium and zinc on grain protein contents and yield of two wheat genotypes under soil and water salinity and alkalinity stresses. *Plant Ecophysiology*, 2, 67-72.
31. Nasser, M., Aroiee, H., Nemati, S. H. & Kafi, M. (2012). Effect of salinity and silicon application on biomass accumulation, sodium and potassium content of shoots of fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.). *Journal of Water and Soil*, 26, 508-514.
32. Paquin, R. & Lechasser, P. (1979). Observations sur une method dosage de l proline libre dans les extraits de plantes. *Journal of Botany*, 57, 1851-1854.
33. Ranjan, R., Bohra, S. P. & Jeet, A. M. (2001). Book of plant senescence. *Jodhpur Agrobios New York*, 18-42.
34. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. & Cuartero, J. (2006). Alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Plant Physiology*, 163, 847-855.
35. Saida, C., Houria, B. & Mebarek, B. (2014). Interactive effects of salinity and potassium on physio-morphological traits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. var heintz). *Agriculture and Biology Journal of North America*, 10, 2151-7525.
36. Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Changes in antioxidant activity in subcellular fraction of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, 162, 897-904.
37. Sakamoto, A. & Murata, N. (2002). The role of glycine betaine in the protection of plants from stress. *Plant Cell and Environment*, 25, 163-171.
38. Schaller, G. & Kieber, J. (2002). Ethylene. *American Society Plant Biologists*, 1-17.
39. Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M. R., Paknejad, F. & Rejali, F. (2010). Response of sunflower (*Helianthus Annuus* L.) to drought stress under different potassium levels. *World Applied Sciences Journal*, 8, 443-448.
40. Tahir, M. A., Rahmatullah, A., Aziz, T., Ashraf, M., Kanwal, S. & Maqsood, M. A. (2006). Beneficial effects of silicon in wheat under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 38, 1715-1722.
41. Tajabadipur, A. (2004). *Effect of soil application of potassium on the relative tolerance of three varieties of pistachio on water and salinity stress*. Ph.D. thesis, Department of soil science, College of Agriculture, Shiraz University, Iran.
42. Tale Ahmad, S. & Haddad, R. (2011). Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Journal of Genetics and Plant Breeding*, 47, 17-27.
43. Verma, S. & Dubey, R. S. (2001). Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. *Biology Plantarum*, 1, 117-123.
44. Wang, J. & Naser, N. (1994). Improved performance of carbon paste amperometric biosensors through the incorporation of fumed silica. *Electroanalysis*, 6, 571- 575.
45. Whitehouse, W. E. (1957). The pistachio nut a new crop for the western united states. *Economic Botany*, 11, 281-321.
46. Yin, L., Wang, S., Li, J., Tanaka, K. & Oka, M. (2013). Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. *Acta Physiologia Plant*, 35, 3099-3107.
47. Zuccarini, P. & Okurowska, P. (2008). Effects of mycorrhizal colonization and fertilization on growth and photosynthesis of sweet basil under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 497-513.