Research Article

Agricultural Engineering, 45(1) (2022) 1-20
DOI: 10.22055/AGEN.2022.39097.1619

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

Effect of potassium fertilizer application on growth, sodium and potassium uptake and some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress

N. Rashidi[1], A. Moezzi[*2] and A. Rahnama[3]

1. PhD. Graduated, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 16 December 2021 Accepted: 8 February 2022

Abstract

Introduction: Salinity is one of the growth-limiting factors for pistachio (*Pistacia vera* L.) crop production in semiarid and arid soils of Iran. Salinity poses two major threats to plant growth: osmotic stress and ionic stress. In addition, it also manifested an oxidative stress. The deleterious effects of salinity affect different physiological and metabolic processes of plants. The uptake of high amounts of salt by the plant leads to the increase of the osmotic pressure in the cytosol. Under this condition compatible osmoprotectant, such as proline and soluble sugars, is produced to protect the cells against the adverse effects from salt stress. High accumulation of proline is associated with tolerance to stress. Na^+ and K^+ homeostasis plays a vital role in the growth and development of higher plants under salt conditions owing to potassium–sodium (K^+–Na^+) interaction and is often associated with K^+ deficiency. Application of potassium fertilizer affect plants growth and tolerance under salinity stress. The potassium is indispensable for several physiological processes, including the maintenance of membrane potential and turgor, enzyme activation, stomatal movement, regulation of osmotic pressure. Therefore the objective of this study was to evaluate the effect of potassium sulfate fertilizer application on growth, photosynthetic pigments, proline, soluble sugar and Na and K Uptake by Badami-riz Zarand *P. vera* L. (the main pistachio rootstock in Iran's pistachio plantation area) seedlings under salinity stress.

Materials and methods: This study carried out in greenhouse condition as a factorial experiment based on a completely randomized design and in three replications. Experimental factors was salinity of irrigation water (in three levels including 0.65, 5 and 10 dS m-1) and potassium sulfate fertilizer application (in three levels including without application or control, 150 and 250 mg kg-1 soil). Pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Badami-riz Zarand) seeds were surface sterilized with solution of sodium hypochlorite in distilled water. Seedlings were transplanted in plastic pots containing 10 kg of soil. The pots were maintained in the greenhouse under 25 ± 4 ˚C temperature and under natural light. The mean relative humidity was 40 %. At the end of growth period (six mounth), the plants were harvested and leaf area, root dry weight, shoot dry weight, chlorophyll a and b, total chlorophyll, carotenoids, proline, spluble sugar, root and shoot K and Na concentration

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

were measured. In addition, the K and Na uptake in shoot and root, as well as K/Na ratio were calculated. Analysis of variance (ANOVA) was performed using SAS program version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC). Significant differences of the mean values ($P < 0.05$ for F-test) were determined by Duncans's Multiple Range Test.

Results and Discussion: Results indicated that with increasing salinity stress, leaf area, root, and shoot dry weight, chlorophyll content and shoot and root K uptake decreased, while carotenoids and shoot and root Na concentration increased. The highest and lowest value of leaf area, root, and shoot dry weight, chlorophyll content and shoot and root K uptake were observed in control and high salinity levels (10 dS m-1) treatments respectively. Application of potassium sulfate fertilizer at both levels (150 and 250 mg kg^{-1}) led to a significant increase in leaf area (8.1 and 8.7 % respectively), root dry weight (21.2 and 20.0 %), shoot dry weight (21.3 and 19.9 %), total chlorophyll (10 and 7.8 %), carotenoids (32.2 % and 35.7), proline (21.1 and 14.4 %), root K concentration (44.1 and 56.2 %), shoot K concentration (11.0 and 26.9 %) and K uptake in root and shoot. in high salinity treatment seedlings showed higher Na^+/K^+ ratio in the roots than that of the shoots. In addition, application of potassium sulfate fertilizer decreased Na uptake in shoot and root. Moreover, the addition of potassium fertilizer increased K/Na ratio in the shoot and root. The results also indicated there were no significant difference between potassium sulfate fertilizer levels (150 and 250 mg kg^{-1}) effects on investigated traits.

Conclusion: It could be concluded that application of potassium sulfate fertilizer results in reduce the negative effects of salinity stress and subsequently enhance tolerance to salinity stress and improved *P. vera* L. seedlings growth. Therefore, nutrient management of potassium can be considered for decline of negative effects of salinity in *P. vera* L. v. Badami-riz Zarand seedlings.

Key words:Chlorophyll, growth, K/Na ratio, proline, salinity

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۵ شماره ۱، بهار ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

تأثیر کاربرد کود پتاسیم بر رشد، جذب سدیم و پتاسیم و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک دانهال‌های پسته در شرایط تنش شوری

ناصر رشیدی[۱]، عبدالامیر معزی[۲*] و افراسیاب راهنما[۳]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۵

پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹

کلمات کلیدی:

پرولین،

رشد،

شوری،

کلروفیل،

نسبت پتاسیم به سدیم

* عهده دار مکاتبات

Email: moezzi151@scu.ac.ir

چکیده

تنش شوری یکی از عوامل محدود کننده رشد و تولید پسته در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سولفات پتاسیم بر ویژگی‌های رویشی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین، قندهای محلول و جذب سدیم و پتاسیم توسط دانهال پسته (*Pistacia vera* L.) رقم بادامی ریز زرند در شرایط تنش شوری بود. این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان به‌صورت آزمایش فاکتوریل با دو عامل ۱- شوری آب آبیاری (در ۳ سطح شامل قابلیت هدایت الکتریکی ۰/٦٥ دسی‌زیمنس بر متر یا شاهد، ۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و ۲- کاربرد پتاسیم (در ۳ سطح شامل بدون کاربرد یا شاهد، ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) (جمعاً ۲۷ نمونه)، در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش تنش شوری در خاک، سطح برگ (به‌ترتیب ۱۲/۵ و ۳۰/۳ درصد)، وزن خشک ریشه (۲۳/۸ و ۳۷/۰ درصد) و شاخساره (۳۷/۲ و ٥٦/٦ درصد)، غلظت کلروفیل‌های a (۱۲/۷ و ۳٦/۹ درصد)، b (۳/۸ و ۱۰/٤ درصد) و کل (۹/۵ و ۲٦/۵ درصد) و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه (٤۵/۷ و ٦۷/۱ درصد) و شاخساره (۳۱/۱ و ٤۵/۵ درصد) کاهش یافت، در حالی‌که مقدار کاروتنوئیدها (۲/۱ و ۹/۷ درصد)، پرولین (۲٦/۳ و ٥٤/٤ درصد)، قندهای محلول (۱۰/۹ و ۲۵/۳ درصد) و غلظت سدیم ریشه و شاخساره افزایش یافت. کاربرد هر دو سطح پتاسیم در سطوح مختلف تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار سطح برگ (به‌طور میانگین به‌ترتیب ۸/۷ و ۸/۱ درصد)، وزن خشک ریشه (۲۱/۲ و ۲۰/۰ درصد) و شاخساره (۲۱/۳ و ۱۹/۹ درصد)، کلروفیل کل (۱۰/۰ و ۷/۸ درصد)، کاروتنوئیدها (۳۲/۲ و ۳۵/۷ درصد)، پرولین (۲۱/۱ و ۱٤/٤ درصد)، غلظت پتاسیم ریشه (٤٤/۱ و ٥٦/۲ درصد) و شاخساره (۱۱/۰ و ۲٦/۹ درصد) و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه و شاخساره شد. همچنین، کاربرد پتاسیم سبب کاهش جذب سدیم در

ریشه و شاخساره شد. بنابراین، مدیریت تغذیه پتاسیم (کاربرد ۱۵۰ میلی-گرم بر کیلوگرم) می‌تواند برای کاهش پیامدهای منفی تنش شوری در دانهال‌های پسته مورد توجه قرار گیرد.

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) گیاهی از خانواده *Anacardiaseae* و جنس *Pistacia*، یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران بوده و محصول عمده صادراتی کشاورزی ایران است. بخش عمده باغ‌های پسته ایران در نواحی خشک استان کرمان قرار دارد. در سال‌های اخیر کیفیت پایین آب آبیاری، بارندگی کم و تبخیر و تعرق زیاد سبب افزایش شوری در باغات تحت کشت پسته کشور شده است. شوری خاک و آبیاری درختان پسته با آب‌های شور رشد و عملکرد درختان و تولید پسته در این مناطق را تحت تأثیر قرار داده است (۲، ۹ و ۲۴).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده برای تولید پسته می‌باشد. کاهش رشد و عملکرد پسته در اثر شوری خاک و آب آبیاری توسط پژوهشگران مختلف گزارش شده است (۵ و ۳۱). تنش شوری موجب تغییرات شیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متعددی در گیاهان می‌شود. یکی از مهم‌ترین پیامدهای تنش شوری بر گیاهان، تأثیر منفی آن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی می‌باشد. هنگامی که گیاه در شرایط شور رشد می‌کند، فعالیت فتوسنتری آن کاهش یافته و در نتیجه میزان رشد، سطح برگ و غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد (۱۳). تحقیقات درباره گیاهان مختلف تحت شرایط تنش شوری نشان داده که سدیم، سبب برهم خوردن تعادل اسمزی، تخریب غشاهای سلولی، کاهش رشد، جلوگیری از تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها می‌شود (۱۳). پارسا و کریمیان[1] (۳۰) با انجام پژوهشی گلخانه‌ای تاثیر شوری آب آبیاری بر رشد نهال-های پسته ارقام فندقی و بادامی گزارش کردند شوری آب آبیاری سبب کاهش رشد ریشه و شاخساره نهال‌های پسته شد. کامیاب و همکاران[2] (۱۵) با انجام پژوهشی بر روی پسته رقم بادامی ریز زرندی گزارش کردند تنش شوری سبب کاهش ویژگی‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک ریشه و شاخساره شد. رهنشان و همکاران[3] (۳۱) با انجام پژوهشی بر روی دو رقم پسته بادامی ریز زرند و بادامی سفید گزارش کردند تنش شوری سبب کاهش رشد ریشه و شاخساره، کاهش غلظت کلروفیل و همچنین، افزایش غلظت پرولین و قندهای محلول در دانهال‌ها شد. تنش شوری همچنین موجب اختلال در جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شود. به‌طوری‌که با دخالت در فعالیت ناقل‌ها و کانال‌های یونی در ریشه مانند کانال‌های انتخابی یون پتاسیم در اثر رقابت یونی سدیم با پتاسیم، مهار رشد ریشه توسط پیامدهای اسمزی یون سدیم و یا با تأثیر سدیم بر ویژگی‌های خاک موجب کاهش جذب آب و عناصر غذایی می‌شود (۲۹). نتایج پژوهش کامیاب و همکاران (۱۵) نشان داد که افزایش شدت تنش شوری سبب افزایش غلظت سدیم در شاخساره پسته و کاهش غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم شد. نتایج پژوهش سپاسخواه و همکاران[4](۳۴) نیز نشان داد شوری آب آبیاری سبب کاهش وزن خشک پسته رقم فندقی شد.

یکی از راهکارهای بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش شوری و کاهش پیامدهای منفی شوری کاربرد پتاسیم در خاک می‌باشد. پتاسیم یکی از عناصر ضروری برای گیاهان است که نقش مهمی در تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه دارد. پتاسیم همچنین، در کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنظیم آب در داخل گیاه، حفظ آب سلول، فعالیت آنزیم‌ها و افزایش مقاومت گیاه در

1- Parsa and Karimian

2- Kamiab *et al.*
3- Rahneshan *et al.*
4- Sepaskhah *et al.*

مقابل تنش‌های محیطی از جمله شوری نقش قابل توجهی دارد (۳). در شرایط تنش شوری گونه‌های فعال اکسیژن سبب نشت پتاسیم از بافت گیاه شده و یکی از دلیل اصلی مرگ سلولی در اثر تنش شوری، تخلیه پتاسیم در سیتوزول گیاه گزارش شده است. بهبود تغذیه پتاسیم گیاه تحت تنش شوری می‌تواند از طریق کاهش تشکیل گونه-های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز سبب کاهش آسیب‌های سلولی ناشی از تنش اکسیداتیو شود (۳۳). نوروزی و همکاران (۲۷) گزارش کردند کاربرد کود پتاسیم در شرایط تنش شوری در پسته سبب افزایش وزن خشک و ویژگی‌های رویشی پسته شده و با افزایش غلظت کلروفیل‌های a، b و کل، و کاروتنوئیدها سبب افزایش مقاومت به تنش شوری شده است. همچنین، نتایج پژوهش رنجبر و همکاران[1] (۳۲) نشان داد کاربرد سولفات پتاسیم سبب افزایش پرولین، پروتئین‌ها و قندهای محلول در دانهال‌های پسته شد. بنابراین، با توجه به افزایش شوری در اراضی تحت کشت پسته هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد پتاسیم بر رشد، برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و همچنین، جذب سدیم و پتاسیم توسط دانهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرند در سطوح مختلف شوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کامل تصادفی، در سه تکرار و در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در ۳ سطح شامل صفر (شاهد)، ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی-گرم پتاسیم بر کیلو گرم خاک و تنش شوری در ۳ سطح شامل آبیاری با آب دارای قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار شاهد)، آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی ۵ دسی زیمنس بر متر، و آب آبیاری با قابلیت هدایت الکتریکی ۱۰ دسی زیمنس بر متر بود. خاک مورد استفاده برای انجام این آزمایش از منطقه ماهان و از لایه سطحی (۳۰- ۰ سانتی‌متری) نمونه برداری شد. پس از هواخشک کردن خاک و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن به روش-های استاندارد اندازه‌گیری شد (۸). خاک مورد مطالعه دارای بافتی لوم شنی، مواد آلی بسیار کم، غیر شور و pH آن در محدوده خاک‌های آهکی بود (جدول ۱).

پتاسیم مورد نظر به میزان تیمارهای مربوطه از منبع سولفات پتاسیم با خاک گلدان‌ها (گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی) مخلوط گردید. همچنین قبل از کشت، بر اساس نتایج آزمون خاک ۵۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره، و ۵۰ میلی‌گرم فسفر از منبع مونوکلسیم فسفات در کیلوگرم خاک به‌صورت محلول به هر گلدان اضافه گردید.

استفاده از سولفات پتاسیم سبب می‌شود که دانهال های پسته بهتر در شرایط تنش شوری استقرار یابند. بنابراین در این پژوهش از سولفات پتاسیم بر وضعیت رشد دانهال‌های پسته در شرایط تنش شوری بررسی شد. برای این کار بذرهای پسته (رقم بادامی ریز زرند) پس از ضدعفونی توسط قارچ‌کش بنومیل (دو گرم در لیتر)، درون پارچه مرطوب و در درجه حرارت مناسب به مدت ۴۸ ساعت برای جوانه‌دار شدن نگه‌داری شدند. سپس شش عدد بذر جوانه‌زده در گلدان‌های پلاستیکی (به قطر ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) کشت شدند. سپس تعداد گیاهچه‌ها در هر گلدان در هفته دوم به چهار بوته و در هفته چهارم به دو بوته کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه و در شرایط روشنایی ۱۵ ساعت و ۹ ساعت تاریکی، رطوبت نسبی ۳ ± ۴۰ درصد و درجه حرارت ۴ ± ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شدند. یک ماه پس از جوانه‌زنی بذرها اعمال تیمارهای شوری به صورت تدریجی انجام شد و برای تیمار آب آبیاری با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر در دو نوبت با آب آبیاری اولیه دارای قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و برای تیمار ۱۰ دسی-

1- Ranjbar *et al.*

زیمنس بر متر به همین ترتیب EC آب آبیاری افزایش - یافت (۲/۵، ۵ و ۷/۵ و نهایتا ۱۰ دسی زیمنس بر متر) تا در نوبت چهارم آبیاری به غلظت نهایی تیمار مورد نظر رسانده شد و در نهایت آبیاری با آن غلظت انجام شد. اعمال تیمارهای سطوح شوری به مدت ۶ ماه ادامه یافت.

جدول (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک مورد مطالعه

Table (1) Some physico-chemical properties of the soil used for this study

ویژگی Property	واحد Unit	مقدار Value
شن Sand	%	60
سیلت Silt	%	34
رس Clay	%	6
بافت خاک Soil texture	-	لوم شنی
مواد آلی Organic matter	g kg^{-1}	26.9
هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC_e)	dS m^{-1}	2.7
کربنات کلسیم معادل Calcium Carbonate Equivalent (CCE)	%	23.0
پ‌هاش pH	-	7.7
نیتروژن کل Total N	g kg^{-1}	0.1
فسفر قابل جذب Available P	mg kg^{-1}	7.0
پتاسیم قابل جذب Available K	mg kg^{-1}	122
آهن قابل جذب Available Fe	mg kg^{-1}	3.2
منگنز قابل جذب Available Mn	mg kg^{-1}	3.7
روی قابل جذب Available Zn	mg kg^{-1}	0.8
مس قابل جذب Available Cu	mg kg^{-1}	0.79

سرانجام پس از پایان دوره رشد، شاخساره بوته‌ها از محل طوقه قطع شد. سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf area meter) اندازه‌گیری شد. پس از شستشو با آب مقطر شاخساره به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شد تا خشک شوند. سپس وزن خشک زیست توده هوایی اندازه‌گیری شد. همچنین، ریشه‌ها نیز از بستر کاشت با دقت کامل جدا شده و پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند و وزن خشک ریشه‌ها اندازه‌گیری شد. کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها به‌روش آرنون، با استون ۸۰ درصد استخراج شده و غلظت آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۵). برای اندازه‌گیری محتوای پرولین بافت برگ، از روش بیتس و همکاران[1] (۶) استفاده شد. همچنین، مقدار قندهای محلول برگ با استفاده از آنترون استخراج شده و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۳).

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سدیم و پتاسیم ریشه و شاخساره از روش خشک‌سوزانی استفاده شد. بدین ترتیب که یک گرم از نمونه های خشک و پودر شده در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شدند. سپس عصاره‌گیری با اسید کلریدریک ۲ نرمال انجام شد (۸). غلظت پتاسیم و سدیم در نمونه‌های گیاهی به‌روش نشر شعله‌ای و با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار پتاسیم و سدیم جذب شده در ریشه و شاخساره در هر یک از نمونه‌ها از حاصلضرب وزن خشک در غلظت آن‌ها محاسبه شد. تجزیه‌های آماری داده‌ها، به‌وسیله نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رویشی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرهای اصلی شوری و پتاسیم و همچنین، اثرهای متقابل آن‌ها بر سطح برگ و وزن خشک ریشه و شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل پتاسیم و شوری نشان داد در اثر کاربرد پتاسیم در هر سه سطح شوری، سطح برگ به‌طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳).

در هر سه سطح شوری، اختلاف معنی‌داری میان مقادیر سطح برگ در تیمارهای کاربرد سطوح ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم وجود نداشت. سطح برگ، به‌عنوان دریافت کننده نور خورشید و عضو فتوسنتز کننده، عاملی تأثیرگذار در سرعت رشد و عملکرد گیاهی محسوب می‌شود.

پژوهشگران کاهش سطح برگ پسته در اثر شوری را به‌دلیل اثر مستقیم نمک بر سرعت تقسیم سلولی و کاهش توسعه سلولی گزارش کردند (۲۶). همچنین کاهش سطح برگ ممکن است در ارتباط با پیری زودرس بافت باشد، که سرعت رشد را کاهش داده و یا رشد رویشی را به تأخیر می‌اندازد. ورود کمتر دی‌اکسیدکربن و کاهش رشد برگ نیز یکی از دلایل کاهش سطح برگ در اثر تنش شوری می‌باشد (۲۶). همچنین، در حضور مقادیر زیاد املاح در محیط ریشه، احتمالاً میزان آب قابل دسترس گیاه کاهش یافته است. این از یک طرف موجب محدود شدن تقسیم سلولی و از طرف دیگر سبب کاهش متورم شدن و توسعه سلول‌ها شده و در نهایت توسعه سطح برگ کاهش می‌یابد. افزایش سطح برگ در اثر کاربرد پتاسیم می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب پتاسیم در شاخساره در مراحل رشد باشد، که منجر به ایجاد آماس و توسعه سلول‌ها و در نهایت افزایش سطح برگ شده است.

1- Bates *et al.*

جدول (۲) تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های رویشی دانهال‌ها

Table (2) Analysis of variance of treatments effect on growth characteristics of seedling

میانگین مربعات Mean Squares				
وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight	سطح برگ Leaf Area	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
7.09**	17.47**	12289**	2	شوری Salinity
1.83**	0.714**	527**	2	پتاسیم K
0.251*	0.259*	132*	4	شوری × پتاسیم Saliniy × K
0.120	0.057	45.2	18	خطا Error
4.93	3.81	6.94		ضریب تغییرات (٪) CV

**** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد**

** and * is statistically significant at the probability level of 0.01 and 0.05% respectively

جدول (۳) مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و پتاسیم بر ویژگی‌های رویشی دانهال‌ها

Table (3) Mean comparison of the interaction of salinity and potassium on vegetative characteristics of seedlings

میانگین Mean	سطوح شوری ($dS\ m^{-1}$) Salinity Levels			سطوح پتاسیم K levels
	10	5	Control	
	سطح برگ (cm^2) Leaf Area			
190 B	154 f	194 d	222 b	شاهد Control
207 A	171 e	211 c	239 a	150
206 A	166 e	209 c	242 a	250
	164 C	205 B	234 A	میانگین Mean
	وزن خشک بخش هوایی ($g\ pot^{-1}$) Shoot dry weight			
4.37 B	2.76 f	4.07 d	6.28 b	شاهد Control
5.24 A	3.44 e	4.67 c	7.61 a	150
5.30 A	3.24 e	4.78 c	7.79 a	250
	3.14 C	4.54 B	7.23 A	میانگین Mean
	وزن خشک ریشه ($g\ pot^{-1}$) Root dry weight			
3.35 B	2.89 e	3.21 c	3.94 b	شاهد Control
4.06 A	3.04 d	3.91 b	5.23 a	150
4.02 A	3.11 cd	3.79 b	5.17 a	250
	3.01 C	3.64 B	4.78 A	میانگین Mean

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری وزن خشک بخش هوایی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). همچنین، کاربرد پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره شد. بدین‌ترتیب که به‌طور میانگین وزن خشک شاخساره در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم به‌ترتیب ۱۹/۹ و ۲۱/۳ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۳). در هر سه سطح شوری اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای کاربرد پتاسیم مشاهده نشد. مکانیسم‌های فراوانی می‌توانند در کاهش رشد رویشی و تأثیر منفی شوری بر شاخص‌های رویشی در این پژوهش موثر باشند. به‌طور کلی مکانیسم‌های موثر در کاهش رشد گیاهان تحت تنش شوری شامل تنش اسمزی، سمیت یونی، عدم تعادل مواد غذایی و تنش اکسیداتیو می‌باشند (۴). یکی از دلایل کاهش رشد، بسته شدن روزنه‌های هوایی بر اثر تنش شوری و کاهش فتوسنتز می باشد. در نهایت شوری می‌تواند رشد ریشه را سریعاً متوقف نموده و بدین‌ترتیب ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف شاخساره را کاهش دهد (۱۴). نتایج پژوهش کریمی و نصرالله‌پور-مقدم[1] (۱۷) نیز نشان داد وزن خشک شاخساره دانهال‌های پسته رقم بادامی ریز زرند در اثر تنش شوری کاهش یافت. آن‌ها دلیل کاهش وزن خشک را کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه گزارش کردند. این نتایج با نتایج سپاسخواه و مفتون (۳۴) مطابقت داشت. افزایش وزن خشک شاخساره در تیمارهای کاربرد پتاسیم را می‌توان به افزایش جذب این عنصر به‌عنوان عنصری که نقش مهمی در تنظیم فشار اسمزی دارد و همچنین، کاهش جذب سدیم نسبت داد. همچنین، یکی از دلایل کاهش رشد گیاهان در شرایط تنش شوری جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم و همچنین عدم تعادل تغذیه‌ای می‌باشد (۳۷). بنابراین، می‌توان گفت که افزایش جذب پتاسیم و همچنین افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در شاخساره در تیمارهای کاربرد پتاسیم سبب بهبود رشد و وزن خشک شاخساره شد. چرا که پتاسیم در شرایط تنش شوری با حفظ تعادل اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و فعال‌سازی آنزیم‌ها در افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری موثر است (۳۷).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در اثر تنش شوری وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). همانند شاخساره، کاربرد هر دو سطح پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه شد. همچنین میان مقدار وزن خشک ریشه در تیمارهای کاربرد پتاسیم (۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در سطوح مختلف شوری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در شرایط تنش شوری به‌دلیل وجود مقدار زیاد یون سدیم و کلر بین جذب عناصر غذایی رقابت ایجاد می‌شود و سدیم مانع از جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم می‌شود در نتیجه تعادل پتانسیل اسمزی خاک و ریشه بهم خورده و گیاه با مشکل جذب آب و عناصر غذایی مواجه می‌شود در نهایت در شرایط تنش شوری طول ریشه کاهش می‌یابد (۱۷). افزایش جذب پتاسیم و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم ریشه در اثر کاربرد پتاسیم و به‌دنبال آن کاهش آثار زیان‌بار تنش شوری بر رشد ریشه می‌تواند از جمله دلایل افزایش وزن خشک ریشه در تیمارهای کاربرد پتاسیم باشد.

رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و قندهای محلول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرهای اصلی شوری و پتاسیم و همچنین اثرهای متقابل آن‌ها بر مقادیر کلروفیل‌ها (کلروفیل a، b و کل) معنی‌دار بود. در حالی‌که تنها اثرهای اصلی آن‌ها بر کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. افزایش شدت تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار مقادیر کلروفیل‌ها (کلروفیل a، b و کل) شد (جدول ۴). در هر سه سطح شوری مقادیر کلروفیل‌ها در تیمارهای کاربرد پتاسیم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴).

1- Karimi and Nasrolahpour-Moghadam

جدول (٤) مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف شوری و پتاسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی دانهال‌های پسته
Table (4) Mean comparison of the interaction of different levels of salinity and potassium on physiological characteristics of pistachio seedlings

میانگین Mean	سطوح شوری ($dS\ m^{-1}$) Salinity Levels			سطوح پتاسیم K levels
	10	10	10	
	کلروفیل a ($mg\ g^{-1}\ FW$) Chlorophyll a			
1.24 B	0.94 e	1.31 c	1.46 b	شاهد Control
1.36 A	1.03 d	1.42 b	1.65 a	150
1.33 A	0.99 d	1.39 b	1.61 a	250
	0.99 C	1.37 B	1.57 A	میانگین Mean
	کلروفیل b ($mg\ g^{-1}\ FW$) Chlorophyll b			
0.96 B	0.90 e	0.960 d	1.01 b	شاهد Control
1.04 A	0.97 d	1.06۱ c	1.09 a	150
1.03 A	0.97 d	1.04 c	1.08 a	250
	0.95 C	1.02 B	1.06 A	میانگین Mean
	کلروفیل کل ($mg\ g^{-1}\ FW$) Total chlorophyll			
2.19 B	1.84 e	2.27 c	2.47 b	شاهد Control
2.41 A	2.00 d	2.48 b	2.74 a	150
2.36 A	1.95 d	2.43 b	2.71 a	250
	1.94 C	2.39 B	2.64 A	میانگین Mean
	پرولین ($mg\ g^{-1}\ FW$) Proline			
0.194 B	0.230 c	0.197 d	0.156 f	شاهد Control
0.235 A	0.291 a	0.233 c	0.181 de	150
0.222 A	0.272 b	0.219 cd	0.175 e	250
	0.264 C	0.216 B	0.171 A	میانگین Mean

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.
Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

کاهش مقدار کلروفیل تحت تنش شوری، می‌تواند به‌دلایل مختلفی باشد که یکی از آنها مربوط به آسیب غشای کلروپلاست و تیلاکوئیدها است (۲۰). همچنین کاهش مقدار کلروفیل‌ها ممکن است به‌علت فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (۲۰). تنش شوری می‌تواند سبب افزایش غلظت اتیلن در گیاهان شود، که از تحریک کننده‌های آنزیم کلروفیلاز می‌باشد. بدین ترتیب در اثر تنش شوری فعالیت این آنزیم افزایش می‌یابد. بنابراین در شرایط تنش شوری کلروفیل‌ها تحت تاثیر آنزیم کلروفیل‌ها تجزیه می‌شوند (۲۰). برخی پژوهشگران دلیل اصلی کاهش توان فتوسنتزی گیاه را اثر مستقیم سمیت یونی گزارش کردند (۲۵). بنحسینی و همکاران (۷) در پژوهشی که بر روی دانهال‌های پسته رقم آتلانتیکا انجام دادند، گزارش کردند که کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک سبب ایجاد تنش

آبی در گیاه می‌گردد و کاهش میزان آب در گیاه، سبب تجمع آبسیزیک اسید ترشح شده از ریشه می‌شود که به دنبال آن روزنه‌ها بسته شده و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. همچنین کاهش کلروفیل می‌تواند به‌دلیل تغییر متابولیسم نیتروژن در ارتباط با ساخت ترکیباتی نظیر پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به‌کار می‌روند. چرا که افزایش تولید پرولین موجب می‌شود که گلوتامات که پیش‌ماده مشترک ساخت کلروفیل و پرولین است، کمتر در مسیر سنتزکلروفیل وارد شود (۲۴). افزایش مقدار پرولین در شرایط تنش شوری در این پژوهش تایید کننده این نتایج است (جدول ۴). نتایج کریمی و نصرالله‌پور-مقدم (۱۷) نیز نشان داد در اثر تنش شوری مقدار کلروفیل در دانهال‌های پسته کاهش یافت. افزایش مقدار کلروفیل‌ها در اثر کاربرد پتاسیم در این پژوهش را می‌توان به افزایش جذب پتاسیم به‌عنوان یکی از عناصر موثر در سنتز کلروفیل و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم نسبت داد. کومار و کومار (۱۸) گزارش کردند بالا رفتن فعالیت‌های فتوسنتزی ناشی از افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها در اثر کاربرد پتاسیم می‌تواند به‌دلیل نقش پتاسیم در سنتز پیش ماده رنگدانه‌های کلروفیل باشد و افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها انتقال انرژی تابشی را به انرژی شیمیایی اولیه در داخل کلروپلاست‌ها بهبود می‌بخشد.

در اثر افزایش تنش شوری از شاهد به ۵ دسی‌زیمنس بر متر مقدار کاروتنوئیدها تغییر معنی‌داری پیدا نکرد. اما با افزایش شوری از ۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر این مقدار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). نتایج همچنین نشان داد در تیمارهای کاربرد ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم مقدار کاروتنوئیدها به‌ترتیب ۳۲/۷ و ۳۵/۷ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱). افزایش کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش ممکن است نشان دهنده سازوکار آنتی‌اکسیدانی کارآمدتر، برای حفظ فتوسیستم‌ها باشد. کاروتنوئیدها افزون بر نقش خود به‌عنوان رنگدانه‌های جمع‌آوری کننده نور و مشارکت در فرایند فتوسنتز با مهار رادیکال‌های پیروکسیل، کلروفیل را در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کنند (۲۵). بنابراین، افزایش مقدار کاروتنوئیدها در اثر تنش شوری یک راهکار حفاظتی تحت تنش شوری است. بیش‌تر بودن مقدار کاروتنوئیدها در تیمارهای کاربرد پتاسیم را می‌توان به بیش‌تر بودن مقدار پتاسیم در بخش هوایی و نیز بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم در این تیمارها نسبت داد. پتاسیم احتمالاً با افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند قندها و پرولین و افزایش فعالیت آنزیمهای آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش شوری، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان را کاهش داده و درنتیجه سبب پایداری بیشتر کاروتنوئیدها در شرایط تنش شوری می‌شود (۲۸).

در هر سه سطح تنش شوری این مقدار در تیمارهای کاربرد پتاسیم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مقدار پرولین تیمار شاهد بود (جدول ۴). پرولین به‌عنوان ذخیره انرژی و نیتروژن در گیاه محسوب می‌شود و موجب خنثی‌سازی اسیدیته سلول، حفظ شادابی و کاهش خسارت غشا در گیاهان می‌شود (۱۷ و ۳۸). یکی از عوامل مؤثر در حفظ پتانسیل اسمزی سلول، اسید آمینه پرولین است. به‌طور کلی تجمع پرولین در شرایط تنش شوری به‌دلیل افزایش ساخت و کاهش تجزیه آن می‌باشد (۳۸). تجمع پرولین یک پاسخ فیزیولوژیکی به شرایط تنش بوده و از دو جنبه قابل بررسی است: اول اینکه در شرایط تنش شوری Na^+ در مقادیر بالا در سیتوزول جمع شده، ایجاد سمیت می‌کند و باید به واکوئل‌ها منتقل شود. بنابراین، مواد آلی با وزن مولکولی کم، که با عنوان محلول‌های سازگار نامیده می‌شوند، برای حفظ تعادل پتانسیل آب، درون سیتوپلاسم تجمع می‌یابند. پرولین یکی از مهمترین محلول‌های سازگار بوده و در تعدیل پتانسیل اسمزی بسیار موثر است، به‌علاوه پرولین نقش اسیمولاتی به‌عنوان مخزن کربن و نیتروژن دارد (۱۰). از طرف دیگر سمیت نمک با تحریک فعالیت آنزیم گلوتامین کیناز که اولین آنزیم مسیر بیوسنتز پرولین است، تجمع پرولین را افزایش می‌دهد

(۲۱). نقش مثبت پرولین در تنظیم فشار اسمزی در پسته در شرایط تنش شوری گزارش شده است (۱) در این پژوهش افزایش شوری باعث افزایش غلظت پرولین برگ گردید. در ارتباط با اثر افزایش پرولین بر عملکردهای مختلف سلولی، نظریات گوناگونی مطرح شده است. برای نمونه پرولین از طریق حفظ ظرفیت آبگیری در سیتوپلاسم سلول، منجر به حفظ ماکرومولکولها از جمله آنزیم‌ها می‌شود تا از تشکیل اشکال نامطلوب و یا قطعه‌قطعه شدن آنها جلوگیری شود (۱). سلیمان‌زاده و همکاران (۳۶) در ارتباط با کاربرد سولفات پتاسیم بر میزان پرولین برگ گزارش کردند که پتاسیم در زمان تنش‌های محیطی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان شده و از این طریق سبب کاهش رادیکال‌های آزاد تولید شده در شرایط تنش شوری می‌گردد و در نهایت مانع از آسیب رادیکال‌های آزاد بر غلظت پرولین می‌شود. آن‌ها همچنین، گزارش کردند که کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری بر گیاه آفتابگردان باعث افزایش غلظت پرولین شد.

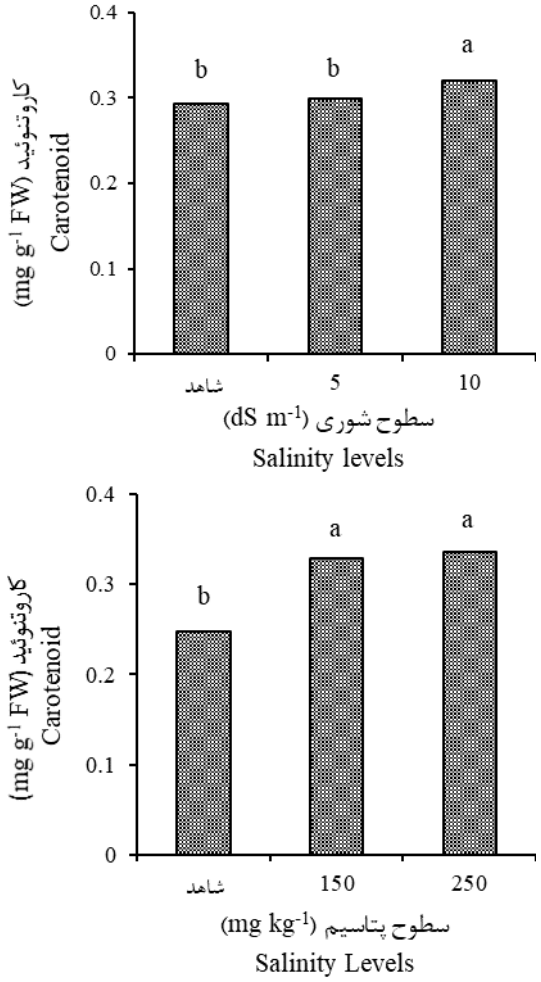
در اثر تنش شوری مقدار قندهای محلول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲). بدین ترتیب که مقدار قندهای محلول در تیمار ۵ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد ۲۳/۰ درصد بیشتر بود. قندهای محلول جزو ترکیباتی هستند که در شرایط تنش شوری به‌عنوان یک راهکار حفاظتی، در گیاهان تولید آنها افزایش می‌یابد و باعث افزایش پتانسیل اسمزی سلول، تنظیم اسمزی درون سلولی و حفاظت مولکول‌های زیستی و غشا می‌شوند (۱۹). به‌طور کلی قندهای محلول در شرایط تنش می‌توانند به دلایلی از جمله تجزیه کربوهیدرات‌های نامحلول و تبدیل به قندهای محلول، سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و همچنین، متوقف شدن رشد افزایش یابند (۱۹). نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج کامیاب و همکاران (۱۵) مطابقت داشت. از آن‌جایی که پرولین و قندهای محلول مهم‌ترین اجزای تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی در برگ بسیاری از گیاهان می‌باشند، نتایج این پژوهش نشان داد تیمارهای کاربرد پتاسیم با افزایش پرولین در افزایش تحمل پسته به شوری موثرند، اما اثر معنی‌داری بر قندهای محلول نداشتند.

جذب پتاسیم و سدیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر اصلی شوری و پتاسیم بر غلظت و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه و شاخساره و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم ریشه و شاخساره معنی‌دار بود. اثر متقابل شوری و پتاسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه و شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر اصلی فاکتورهای آزمایشی شوری و پتاسیم بر غظت سدیم ریشه و شاخساره معنی‌دار بود، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود. همچنین تنها اثر اصلی شوری بر مقدار سدیم جذب شده در شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۵). در اثر افزایش تنش شوری غلظت پتاسیم ریشه و شاخساره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد کاربرد پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت (شکل ۳) و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه و شاخساره شد (شکل ۴). کاهش غلظت و مقدار پتاسیم جذب شده توسط دانهال در اثر تنش شوری احتمالاً به‌علت رقابت بین سدیم و پتاسیم بوده است و افزایش غلظت سدیم خاک در اثر تنش شوری سبب شده جذب پتاسیم توسط ریشه کاهش یافته و در نتیجه غلظت و جذب پتاسیم در ریشه و شاخساره کاهش پیدا کرده است.

مقایسه میانگین اثرهای اصلی شوری و پتاسیم بر غلظت سدیم در ریشه و شاخساره نشان داد اگرچه تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت سدیم ریشه و شاخساره (شکل ۵) و همچنین مقدار سدیم جذب شده در شاخساره (شکل ۶) شد، اما کاربرد پتاسیم غلظت سدیم در ریشه و شاخساره دانهال را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (شکل ۵ و ۶). افزایش غلظت

سدیم در ریشه و غلظت و جذب سدیم در شاخساره در اثر تنش شوری به‌دلیل وجود مقدار زیاد یون سدیم در محیط و جایگزینی آن به‌جای یون پتاسیم می‌باشد. همچنین در شرایط تنش شوری Na^+ با K^+ رقابت کرده و جذب پتاسیم را کاهش می‌دهد. در شرایط شوری نه تنها رقابت سدیم با پتاسیم، بلکه تغییر در نفوذ پذیری غشاء سلول‌های ریشه نیز ممکن است سبب کاهش جذب پتاسیم شود (۲۲).

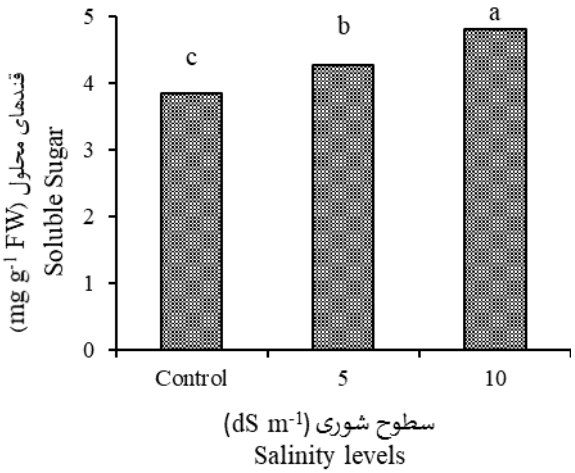


شکل (۱) اثر اصلی سطوح مختلف شوری (A) و پتاسیم (B) بر کاروتنوئید

Figure (1) Main effect of salinity and K levels on carotenoid

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.



شکل (۲) اثر اصلی سطوح مختلف شوری (A) بر قندهای محلول

Figure (2) Main effect of salinity levels on soluble sugar

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

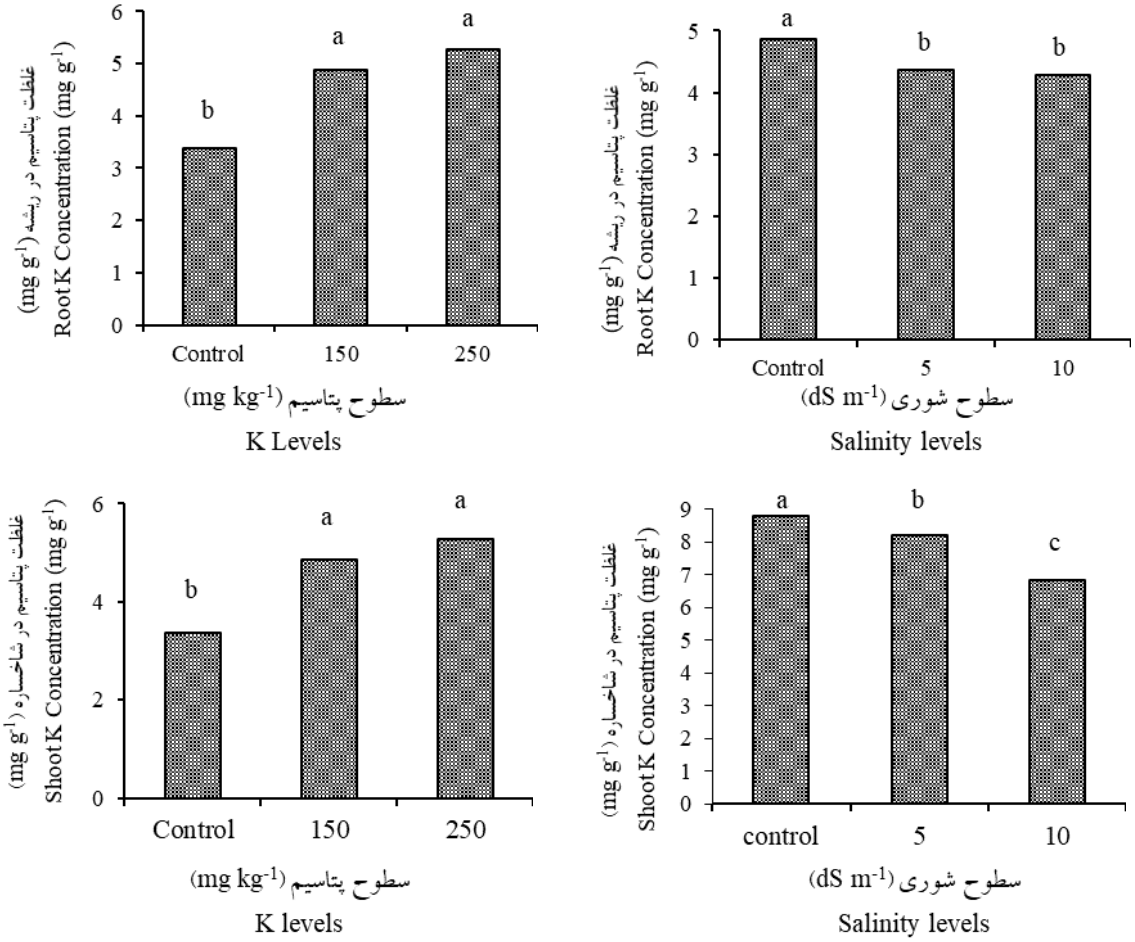
جدول (۵) تجزیه واریانس تأثیر شوری و پتاسیم بر غلظت و جذب پتاسیم و سدیم در ریشه و شاخساره

Table (5) Analysis of variance of salinity and potassium effect on concentration and absorbtion root and shoot potassium and sodium

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Squares)									
		غلظت پتاسیم ریشه Root K concentration	پتاسیم جذب شده در ریشه K uptake in Root	غلظت پتاسیم شاخساره Shoot K concentration	پتاسیم جذب شده در شاخساره K uptake in Shoot	غلظت سدیم ریشه Root K concentration	سدیم جذب شده در ریشه Na uptake in Root	غلظت سدیم شاخساره Shoot Na concentration	سدیم جذب شده در شاخساره Na uptake in Shoot	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K/Na	نسبت پتاسیم به سدیم شاخساره Shoot K/Na
شوری Salinity	2	0.878**	271.1**	8.563**	3823**	19.74**	19.66^{ns}	67.01**	147.9**	3.832**	58.26**
پتاسیم K	2	9.03**	286.2**	8.111**	728.6**	8.81**	10.91^{ns}	4.55**	3.40^{ns}	1.731**	17.27**
شوری × پتاسیم Salinity × K	4	0.236^{ns}	25.99**	0.333^{ns}	1.158*	0.150^{ns}	3.58^{ns}	0.545^{ns}	5.935^{ns}	0.123**	1.183**
خطا Error	18	0.211	3.232	0.313	48.46	0.229	3.10	0.269	5.112	0.016	0.253
ضریب تغییرات (٪) CV		3.44	5.93	6.37	8.11	6.74	5.51	4.29	1.18	7.93	8.04

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, ** and * are non-significant and statistically significant at the probability level of 0.01 and 0.05% respectively

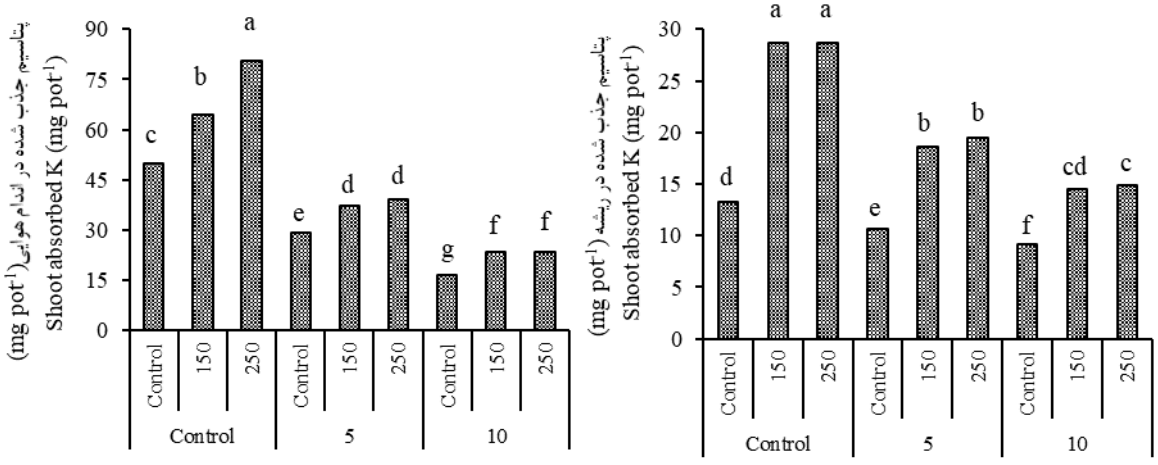


شکل (۳) اثر اصلی شوری و پتاسیم بر غلظت پتاسیم در ریشه و شاخساره

Figure (3) Main effect of K and salinity levels on K and Na concentration in shoot and root

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

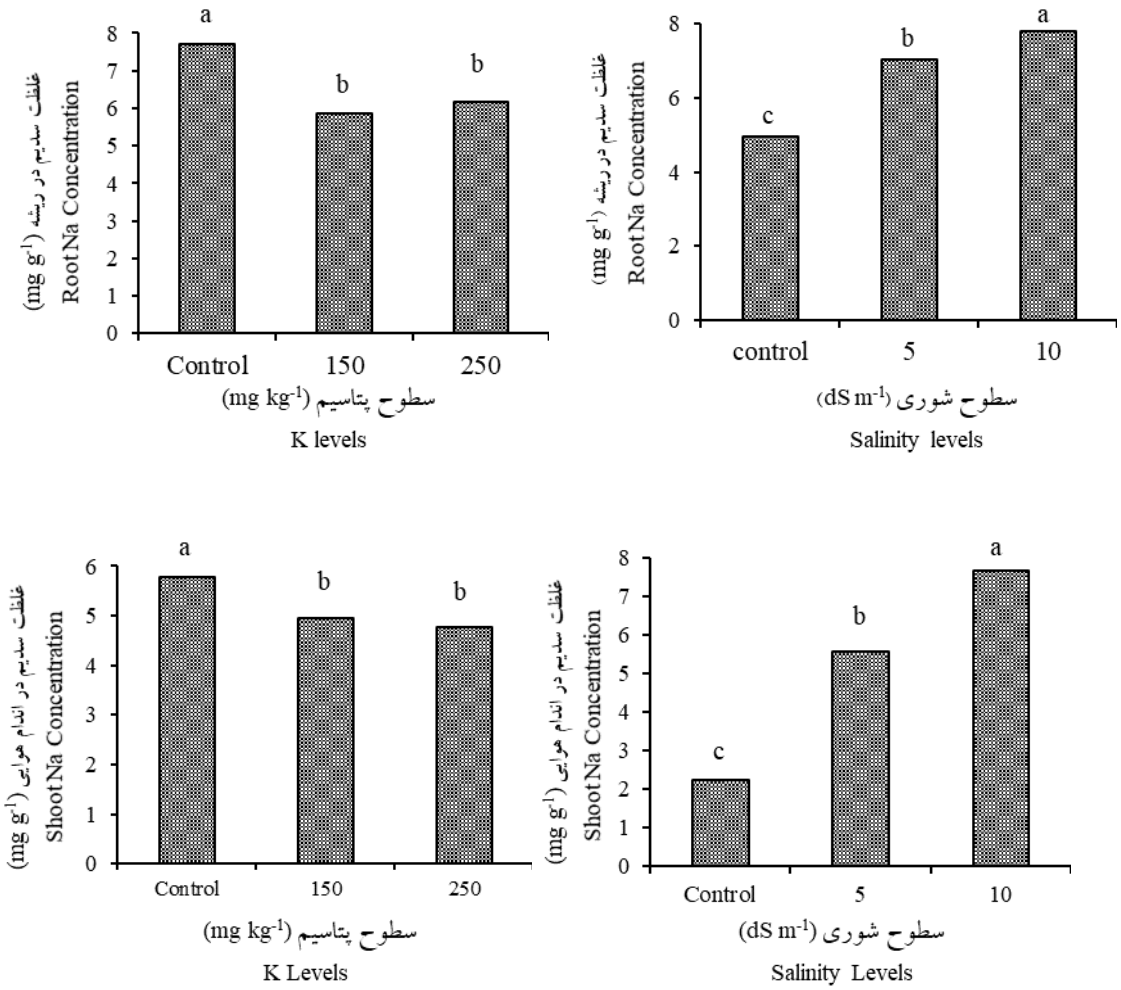


شکل (٤) اثر متقابل شوری و پتاسیم بر مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه و شاخساره

Figure (4) K and salinity interaction effect on K uptake in shoot and root

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

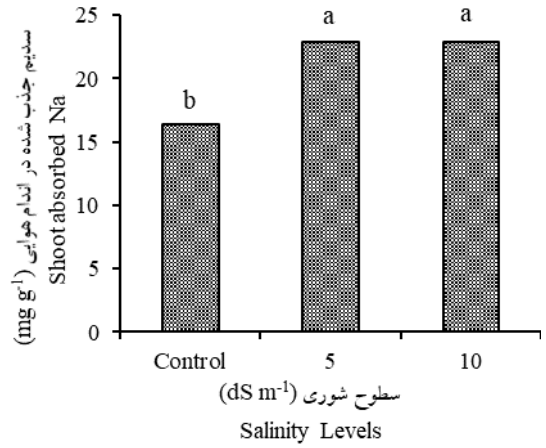


شکل (۵) اثر اصلی شوری و پتاسیم بر غلظت سدیم ریشه و شاخساره

Figure (5) Main effect of salinity and K levels on Na concentration in shoot and root

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.



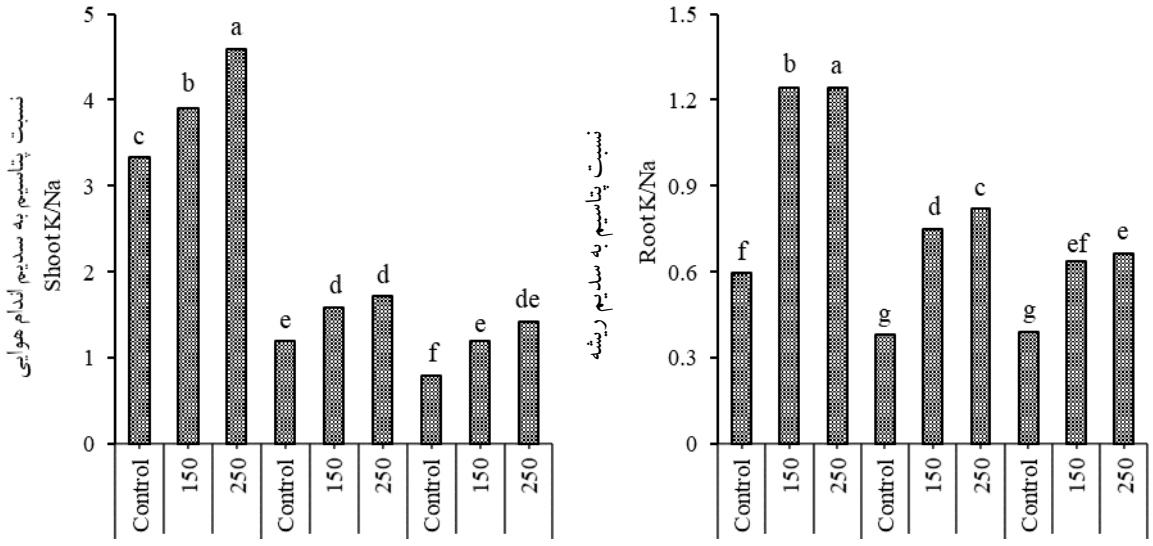
شکل (٦) اثر اصلی شوری بر مقدار سدیم جذب شده در شاخساره

Figure (6) Main effect of salinity levels on Na Uptake in shoot

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

نتایج این پژوهش نشان داد که نسبت K/Na ریشه و شاخساره در دانهال‌های پسته تحت تأثیر تنش شوری کاهش یافت (شکل ۷). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد پتاسیم سبب افزایش نسبت K/Na ریشه و شاخساره در شرایط تنش شوری شد (شکل ۷). کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در بخش هوایی و ریشه نشان‌دهنده کاهش توانایی گیاه در تجمع دادن غلظت کافی پتاسیم برای خنثی کردن اثرهای سدیم تجمع یافته و در نتیجه کاهش توانایی تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی می‌باشد (۱۱). در شرایط تنش شوری یون‌های سدیم و پتاسیم برای اتصال به محل‌های جذب با همدیگر رقابت می‌کنند و از آنجایی که در شرایط شوری مقدار زیادی یون سدیم وجود دارد، جذب یون سدیم بیشتر از جذب یون پتاسیم بوده و در نهایت سبب کاهش نسبت K/Na در خاک‌های شور می‌شود. نتایج این پژوهش نیز افزایش غلظت یون سدیم (شکل ۵) و کاهش غلظت یون پتاسیم (شکل ۳) و در نهایت کاهش نسبت K/Na (شکل ۷) را نشان داد. پایین بودن نسبت K/Na به‌علت شوری باعث بهم خوردن تعادل یونی در سیتوپلاسم و در نتیجه اختلال در مسیرهای مختلف متابولیکی می‌شود. بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم همچنین باعث جلوگیری از اختلال در فعالیت آنزیمی و جلوگیری از مهار سنتز پروتئین می‌شود (۱۲).



شکل (۷) اثر متقابل شوری و پتاسیم بر نسبت پتاسیم به سدیم ریشه و شاخساره

Figure (7) K and salinity interaction effect on K/Na ratio in shoot and root

میانگین‌های داری حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف آماری معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters are not significantly different at 5% probability level according to Duncan test.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که اگرچه تنش شوری، رشد ریشه و شاخساره و مقادیر کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها و همچنین جذب پتاسیم توسط دانهال‌های پسته را کاهش داد، اما کاربرد سولفات پتاسیم سبب افزایش وزن خشک ریشه و شاخساره، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و جذب پتاسیم در ریشه و شاخساره و همچنین سبب کاهش جذب سدیم توسط دانهال‌های پسته شد. در اثر کاربرد پتاسیم پیامدهای نامطلوب تنش شوری در دانهال‌ها تا حدی کاهش یافته و بردباری گیاه در شرایط تنش شوری بهبود یافت. با توجه به نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم

بر کیلوگرم پتاسیم بتواند نیاز پتاسیمی دانهال‌های پسته در خاک مورد مطالعه، را تأمین کند و کاربرد سطح ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های بررسی شده ایجاد نکرد. بر اساس این نتایج در شرایط این پژوهش با وجود جذب مقادیر بالاتر پتاسیم در تیمارهای ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم توسط دانهال‌های پسته پاسخی در ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی پسته مشاهده نشد، که می‌تواند نشان‌دهنده جذب لوکس پتاسیم باشد. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش کاربرد سولفات پتاسیم می‌تواند تا حدی در بهبود رشد و پاسخ فیزیولوژیکی و همچنین افزایش جذب پتاسیم و کاهش جذب سدیم توسط دانهال‌های پسته در شرایط تنش شوری سودمند باشد. بنابراین، می‌توان کاربرد سولفات پتاسیم را به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش پیامدهای زیان‌بار تنش شوری بر روی دانهال‌های پسته مورد توجه قرار داد.

References

1. Abbaspour, H., Afshari, H. and Abdel-Wahhab, M. A. (2012). Influence of salt stress on growth, pigments, soluble sugars and ion accumulation in three pistachio cultivars. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12), 2468-2473.

2. Akbarpour, M., Khavari-Nejad, R. A., Moumeni, A. and Najafi, F. (2016). Molecular and physiological performance in response to drought stress in Iranian rice cultivars. *Russian Journal of Plant Physiology*, 63(1), 158-165.

3. Akram, M. S., Ashraf, M. and 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-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 204(6), 471-483.

4. Ali, A., Basra, S. M., Hussain, S., Iqbal, J., Bukhsh, M. A. A. H. A. and Sarwar, M. (2012). Salt stress alleviation in field crops through nutritional supplementation of silicon. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(8), 637-655.

5. Arnon, D. T. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.

6. Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.

7. 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. Sub sp. atlantica used as rootstocks. *Biotechnologie, Agronomie, Société Environnement*, 16(2), 159-165.

8. Carter M. R. and Gregorich E. G. (2008). Soil sampling and methods of analysis (2nd ed). CRC Press. Boca Raton. FL. 1204p.

9. Esmaeilpour, A., Van Labeke, M. C., Samson, R., Boeckx, P. and Van Damme, P. (2016). Variation in biochemical characteristics, water status, stomata features, leaf carbon isotope composition and its relationship to water use efficiency in pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, 211, 158-166.

10. Farkhondeh, R., Nabizadeh, E. and Jalilnezhad, N. (2012). Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. *International Journal of Agriscience*, 2(5), 385-392.

11. Garcia-Valenzuela, X., García-Moya, E., Rascón-Cruz, Q., Herrera-Estrella, L. and Aguado-Santacruz, G. A. (2005). Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells. *Journal of Plant Physiology*, 162(6), 650-661.

12. Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K. G. (2007). Improved tolerance of Acacia nilotica to salt stress by arbuscular mycorrhiza, Glomus fasciculatum may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecology*, 54(4), 753-760.

13. Kahlaoui, B., Hachicha, M., Misle, E., Hanchi, B. and Teixeira, J. (2014). Improvement of crop production under Saline Stress by a Biohydraulic Approach. In Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes (pp. 231-245). Springer, New York, NY.

14. Kalaji, H. M., Bosa, K., Kościelniak, J. and Żuk-Gołaszewska, K. (2011). Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO_2 assimilation of two Syrian barley landraces. *Environmental and Experimental Botany*, 73, 64-72.

15. Kamiab, F., Talaie, A., Javanshah, A., Khezri, M. and Khalighi, A. (2012). Effect of long-term salinity on growth, chemical composition and mineral elements of pistachio (*Pistacia vera* cv. *Badami-Zarand*) rootstock seedlings. *Annals of Biological Research*, 3, 5545-5551.

16. Karimi, A., Khodaverdiloo, H. and Rasouli-Sadaghiani, M. H. (2017). Characterization of growth and biochemical response of *Onopordum acanthium* L. under lead stress as affected by microbial inoculation. *Chemistry and Ecology*, 33(10), 963-976.

17. Karimi, H. R. and Nasrolahpour-Moghadam, S. (2016). Male pistachio seedlings exhibit more efficient protective mechanisms than females under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 211, 118-125.

18. Kumar, A. R. and Kumar, N. (2008). Studies on the efficacy of sulphate of potash (SOP) on the physiological, yield and quality parameters of banana cv. Robusta (Cavendish-AAA). *Eurasian Journal of Biosciences*, 2, 102-109.

19. Mallahi, T., Saharkhiz, M. J. and Javanmardi, J. (2018). Salicylic acid changes morpho-physiological attributes of feverfew (*Tanacetum parthenium* L.) under salinity stress. *Acta Ecologica Sinica*, 38, 351-355.

20. Mane, A. V., Deshpande, T. V., Wagh, V. B., Karadge, B. A. and Samant, J. S. (2011). A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(6), 1192-1216.

21. Mansour, M. M. F. and Ali, E. F. (2017). Evaluation of proline functions in saline conditions. *Phytochemistry*, 140, 52-68.

22. Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London, U.K.

23. McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V. and Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical chemistry*, 22(9), 1156-1158.

24. Mozafari, V. and Rayatpisheh, M. (2017). Effect of calcium-enriched zeolite on some physiological characteristics of pistachio seedlings under salinity stress. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(4), 39-54. (In Farsi)

25. Negrão, S., Schmöckel, S. M. and Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119(1), 1-11.

26. Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. (2004). Sorghum and salinity. *Crop Science*, 44(3), 797-805.

27. Norozi, M., ValizadehKaji, B., Karimi, R., and Nikoogoftar Sedghi, M. (2019). Effects of foliar application of potassium and zinc on pistachio (*Pistacia vera* L.) fruit yield. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *6*(1), 113-123.

28. Norozi, M., ValizadehKaji, B., Karimi, R., and Solgi, M. (2020). Potassium and zinc-induced frost tolerance in pistachio flowers is associated with physiological and biochemical changes. Trees, 34(4), 1021-1032.

29. Parida, A. K. and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349.

30. Parsa, A. A. and Karimian, N. (1975). Effect of sodium choloride on seedling growth of two major varieties of Iranian pistachio. *Journal of Horticultural Science*, 50: 41-46.

31. Rahneshan, Z., Nasibi, F. and Moghadam, A. A. (2018). Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstocks. *Journal of Plant Interactions*, 13(1), 73-82.

32. Ranjbar, M., Esmaeilizadeh, M., Karimi, H. R. and Shamshiri, M. H. (2017). 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. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47(4), 739-752. (In Farsi)

33. Saida, C., Houria, B. and Mébarek, 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*, 5(3), 135-143.

34. Sepaskhah, A. R. and Maftoun, M. (1982). Growth and chemical composition of pistachio seedlings as influenced by irrigation regimes and salinity levels of irrigation water. II. Chemical composition. *Journal of Horticultural Science*, 57(4), 469-476.

35. Sepaskhah, A.R., Maftoun, M. and Karimian, N. (1985). Growth and chemical composition of Pistachio as affected by salinity and applied iron. *Journal of Horticultural Science*, 60(1), 115-121.

36. Soliemanzadeh, A., Mozafari, V., Tajabadipour, A., and Akhgar, A. (2013). Effect of Zn, Cu and Fe foliar application on fruit set and some quality and quantity characteristics of pistachio trees. *Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 4(1): 19-34.

37. Trabelsi, L., Gargouri, K., Hassena, A. B., Mbadra, C., Ghrab, M., Ncube, B., Van Staden, J. and Gargouri, R. (2019). Impact of drought and salinity on olive water status and physiological performance in an arid climate. *Agricultural Water Management*, 213, 749-759.

38. Verbruggen, N. and Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino acids*, 35, 753-759.