

Investigation of Element Concentrations and Morphological Characteristics of Seed Populations of Pistachio Hybrids (*Pistacia vera* L.) under Sodium Chloride Stress Conditions

Hamid Alipour¹  and Azam Razavi Nasab^{2*} 

1. Pistachio Research Institute, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rafsanjan, Iran
2. Soil and Water Research Department. Agricultural Research and Education Center and Natural Resources of Yazd Province. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Yazd. Iran

Extended Abstract

Introduction: Pistachio has a special place in agricultural production and constitutes a major part of non-oil exports of Iran. On the other hand, salinity as an abiotic stress is one of the main challenges in agriculture in arid and semi-arid regions, which limits plant growth through disruption in water and nutrient absorption, ionic toxicity (such as sodium and chlorine), and osmotic imbalance. The gradual salinization of water and soil in pistachio growing areas is an aggravating problem, necessitating the search for salt-resistant rootstocks. By identifying salt-resistant rootstocks, the possibility of developing pistachio cultivation in areas that face water and soil salinity is provided.

Materials and Methods: In 2019, four relatively salt-tolerant female cultivars (Ebrahimi, Badami Zarand, Seif al-Dini, Sarakhs), four salt-sensitive female cultivars (Koleh Ghochi, Rezai Zodars, Mumtaz, Fandoghi), from 30-year-old female cultivars in the collection of the National Pistachio Research Institute in Rafsanjan city, two relatively salt-resistant male genotypes (m15, m16) and two salt-sensitive male genotypes (m2, m3) from 40-year-old male cultivars in saline orchards in Anar city were considered. Crosses between female cultivars and male genotypes were carried out by artificial pollination in March 2019, and 16 hybrids were obtained from these crosses. After the end of the pollination stages, the controlled pollination samples were monitored until physiological maturity and harvest. At the time of pistachio harvest in September 2019, the desired pistachio samples were transferred to the laboratory for the second phase of the experiment. In the spring of 2011, hybrid pistachios were cultivated in 144 pots from the 16 hybrids obtained from the first phase of the experiment in a split-plot design with a randomized complete block design in three replications and three seedlings per replication with three salinity levels (0, 7, and 14 dS/m). Different salinity levels were allocated to the main factor and the 16 hybrids were considered as the secondary factor. After the end of the experiment, the seedlings were harvested in early July 2011, and morphological characteristics and element concentrations in the stem, root, and leaf were measured and the data were statistically analyzed.

Results: The results showed that with increasing salinity, stem fresh weight (55%), stem dry weight (46.15%), root fresh weight (36.17%), root dry weight (53.84%), seedling length (24.77%), and percentage of live seedlings (39%) decreased, and the length of drying from the stem tip (64.28%) and percentage of semi-dry seedlings (92%) increased. The difference between the two treatments of 7 and 14 dS/m in terms of stem dry weight, root fresh and dry weight, and seedling length was not statistically significant, which indicates that increasing salinity to 7 dS/m has no significant effect on seedling growth characteristics compared to the control treatment. Also, with increasing salinity, stem sodium (250%), root sodium (128%), and leaf sodium (250%) increased, and stem calcium (38.88%), root calcium (28%) increased, but stem potassium (8.3%), root potassium (19.35%), leaf potassium (50%), and leaf calcium (40.54%) decreased. The effect of salinity on stem, root, and leaf magnesium was not significant. In general, the results show that increasing sodium chloride

Received: Aug. 12, 2025; Revised: Dec. 10 2025; Accepted: Dec. 14, 2025; Published Online: Apr. 08, 2026.

* Corresponding Author: a.razavinhasab@areeo.ac.ir

reduces potassium absorption and increases root and stem calcium concentrations. The highest stem fresh weight, root fresh weight, and root dry weight belonged to the hybrid (Sif al-Dini * m15), the highest seedling length to (Fandoghi * m2), the highest petiole length to (Rezaei * m3) and (Kale Ghochi * m3), and the highest petiole diameter to (Sif al-Dini * m15) and (Momtaz * m2). The highest sodium and potassium concentrations of the stem were observed in the hybrid (fern* m16), the highest calcium concentration of the stem in the hybrid (fern* m15) and the highest magnesium concentration of the stem in the hybrid (Ebrahimi* m15). The highest potassium concentration of the root was observed in the hybrid (Ebrahimi* m15) and the highest magnesium concentration of the root was observed in the hybrid (Rezaei* m3). The highest potassium concentration of the leaf belonged to the hybrid (Keleh Ghochi* m2) and the highest magnesium concentration of the leaf was similar to the root in the hybrid (Rezaei* m3). Excess sodium in saline conditions causes osmotic imbalance, cell membrane destruction, growth reduction, and cell division and enlargement inhibition, while potassium is effective in maintaining osmotic balance, opening and closing stomata, and activating a number of enzymes. At different salinity levels, some rootstocks can prevent excess sodium from entering their tissues. Reduced potassium and calcium absorption and accumulation, followed by increased sodium, are among the important factors limiting plant growth in treatments under salt stress. Rootstocks that have a greater ability to absorb essential elements under saline conditions show better tolerance to salt stress. Resistant hybrids help maintain osmotic balance by reducing sodium absorption, increasing potassium absorption, and accumulating adaptive metabolites. Hybrid (Sayf al-Dini * m15) had the highest vegetative traits and hybrid (Sarkhs * m15) was the most sensitive hybrid to salinity. Hybrid (Kale Ghochi * m2) was the most sensitive hybrid to salinity with the highest amounts of sodium and potassium in the stem and root, and the most resistant hybrid to salinity (Rezaei * m2) was identified with the lowest amount of sodium and magnesium in the stem and the highest potassium and calcium in the root.

Conclusions: Among the 16 pistachio hybrids evaluated, some particularly Sif al-Dini * m15 showed higher salt tolerance by reducing sodium uptake and maintaining potassium and calcium absorption, which supported better osmotic balance and growth under saline conditions. In contrast, sensitive hybrids such as Sarakhs * m15 and Kale Ghochi * m2 accumulated more sodium and had reduced uptake of essential elements, leading to poorer growth. These results suggest that using salt-tolerant rootstocks, along with tailored nutrient management, can enable pistachio cultivation in salinity-affected areas.

Keywords: Intersection, Leaf, Mechanism, Root, Stem

How to Cite: Alipour H., Razavi Nasab A., Investigation of element concentrations and morphological characteristics of seed populations of pistachio hybrids (*Pistacia vera* L.) under sodium chloride stress conditions. *J. Crop Prod. Process.* 2026, 16(1), 1-18 (In Persian). DOI: [10.47176/jcpp.16.1.38762](https://doi.org/10.47176/jcpp.16.1.38762).





بررسی غلظت عناصر و ویژگی‌های ریخت شناسی جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته (*Pistacia vera* L) در شرایط تنش کلرید سدیم

حمید علیپور^۱ و اعظم رضوی نسب^{۲*}

چکیده- در این تحقیق به منظور اثر شوری بر ویژگی‌های ریخت شناسی جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته، چهار ژنوتیپ ماده مقاوم به شوری (ابراهیمی، بادامی زرنند، سیف الدینی و سرخس)، چهار ژنوتیپ ماده حساس به شوری (کله قوچی، رضایی زودرس، ممتاز و فندق)، دو ژنوتیپ نر مقاوم به شوری (m_{15} , m_{16}) و دو ژنوتیپ نر حساس به شوری (m_2 , m_3) به عنوان والد در نظر گرفته شد. تلاقی‌های بین آنها به صورت گرده‌افشانی کنترل شده انجام شد و بذور ۱۶ تلاقی تولید شد. بذور جمعیت‌های بذری دورگه بعد از جوانه زنی در آزمایشگاه به داخل گلدان منتقل شدند. آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با فاکتور اصلی سه تیمار شوری (صفر، هفت و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از نمک کلرید سدیم)، فاکتور فرعی آن ۱۶ بذور جمعیت‌های بذری دورگه در سه تکرار (هر تکرار ۴۸ گلدان) و در مجموع ۱۴۴ گلدان بررسی شد. پس از سه ماه نتایج نشان داد اثر متقابل دو تیمار شوری و جمعیت بذری دورگه بر ویژگی‌های رشدی و تحمل یونی دورگه‌ها معنی‌دار بود. بیشترین رشد متعلق به (سیف الدینی* m_{15}) و بیشترین مقاومت در کاهش جذب سدیم متعلق به (رضایی* m_2) در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. در واقع با این روش، مقاوم‌ترین رقم‌ها قابل شناسایی و معرفی به مناطق پسته کاری برای عملکرد بالاتر در مقایسه با ارقام سنتی است. یافته‌ها امکان گزینش اولیه متحمل‌ترین جمعیت‌های بذری دورگه‌ها را در مرحله گیاهچه‌ای فراهم می‌سازد و جمعیت‌های بذری دورگه‌های برتر را کاندیداهای مستعدی برای مطالعات آینده جهت تولید ارقام مقاوم معرفی می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: برگ، تلاقی، ریشه، سازوکار، ساقه

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۳، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۱۹

۱. پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

۲. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

* نویسنده مسئول، رایانامه: a.razavinasab@areeo.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۳

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس



زیر مجاز است:

مقدمه

مطالعات گسترده‌ای نشان داده‌اند که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رشد رویشی پسته دارد. تحقیقات پژوهشگران (۹) نشان داد که شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۳۵ درصد ارتفاع نهال، ۴۲ درصد وزن تر ساقه و ۳۸ درصد وزن خشک ریشه در ارقام حساس پسته می‌شود. همچنین سطح برگ و شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند. این کاهش رشد عمدتاً ناشی از اختلال در تقسیم سلولی و طول‌شدن سلول‌ها و همچنین کاهش تولید مواد فتوسنتزی است.

مطالعات نشان داده‌اند که شوری تأثیر قابل‌توجهی بر جذب و توزیع عناصر معدنی در پسته دارد. بر اساس تحقیق علی‌پور و همکاران (۲) شوری باعث تجمع سدیم در برگ‌ها تا ۱/۸۵ برابر و در ریشه تا ۱/۵ برابر نسبت به شاهد می‌شود. در مقابل، جذب پتاسیم تا ۴۵ درصد، کلسیم تا ۳۰ درصد و منیزیم تا ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. این عدم تعادل یونی نه تنها باعث ایجاد سمیت یونی می‌شود، بلکه بر فعالیت آنزیم‌های وابسته به پتاسیم و کلسیم نیز تأثیر منفی می‌گذارد.

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که شوری باعث تغییرات معنی‌دار در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع متابولیت‌های سازگارکننده در پسته می‌شود. مطالعه توللی و همکاران (۱۷) نشان داد که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در شرایط شوری به ترتیب ۶۰ و ۴۵ درصد افزایش می‌یابد. همچنین تجمع پرولین تا ۳/۵ برابر و گلیسین بتائین تا ۲ برابر نسبت به شاهد گزارش شده است. این ترکیبات با عمل کردن به‌عنوان اسمولیت‌های سازگارکننده، در حفظ تعادل اسمزی و محافظت از درشت مولکول‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. شوری تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد و کیفیت میوه پسته دارد. بر اساس مطالعه مومن پور و ایمانی (۱۴)، شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۴۰ درصد عملکرد، ۳۵ درصد کاهش درصد خندانی و ۲۵ درصد افزایش پوکی می‌شود. همچنین اندازه مغز و وزن صد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. این کاهش کیفیت نه تنها بر ارزش بازاری پستندی محصول تأثیر می‌گذارد، بلکه

پسته اهلی (*Pistacia vera* L.) به دلیل برخورداری از سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کارآمد، تحمل قابل-توجهی به تنش شوری از خود نشان می‌دهد (۱۱). این ویژگی منحصر به فرد، کشت و تولید اقتصادی این محصول را در شرایط نامساعد محیطی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که با چالش شوری آب و خاک مواجه هستند، امکان‌پذیر ساخته است (۳). توانایی پسته در تنظیم تعادل یونی، محدود کردن انتقال سدیم به اندام‌های هوایی، حفظ پتانسیل اسمزی و تجمع متابولیت‌های سازگارکننده، از جمله مهم‌ترین سازوکارهای تحمل به شوری در این گیاه به شمار می‌روند (۱ و ۵) در نتیجه، پسته به‌عنوان یک گونه متحمل، گزینه‌ای ایده‌آل برای توسعه باغ‌ها در اراضی تحت تأثیر شوری محسوب می‌شود (۷). شوری به‌عنوان یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی، تأثیرات گسترده‌ای بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان دارد. این تنش از طریق دو سازوکار اصلی شامل ایجاد استرس اسمزی و سمیت یونی، رشد و توسعه گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استرس اسمزی ناشی از کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه، جذب آب توسط گیاه را با مشکل مواجه می‌سازد که این امر به نوبه خود منجر به کاهش فشار تورگر سلولی و اختلال در فرآیندهای رشد می‌شود (۲۲). از سوی دیگر، تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت‌های گیاهی باعث ایجاد سمیت یونی شده و با اختلال در عملکرد آنزیم‌ها، تخریب ساختارهای غشایی و برهم‌زدن هموستازی یونی، فعالیت‌های متابولیکی گیاه را مختل می‌کند (۱۰). شوری همچنین با القای تنش اکسیداتیو، منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن مانند سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود. این ترکیبات با اکسید کردن لیپیدهای غشایی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، باعث آسیب به ساختارهای سلولی و در نهایت مرگ سلولی می‌شوند (۱۳). علاوه بر این، شوری با تأثیر بر فرآیندهای فتوسنتزی از طریق بسته شدن روزنه‌ها، کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و اختلال در عملکرد فتوسیستم II، تولید مواد فتوسنتزی را کاهش می‌دهد (۱۹).

ارائه راهکارهای عملی برای توسعه کشت پسته در مناطق شور و بهبود عملکرد و کیفیت محصول.

انجام این تحقیق می‌تواند گامی مؤثر در جهت توسعه ارقام متحمل به شوری، پایدارسازی تولید پسته در شرایط تنش شوری و افزایش بهره‌وری در مناطق تحت تأثیر شوری باشد.

مواد و روش‌ها

مرحله اول: گرده‌افشانی کنترل شده و تولید بذر جمعیت‌های بذری دورگه

برای اجرای این مرحله از آزمایش در اواخر اسفند ۱۳۹۸ تعداد چهار رقم ماده نسبتاً مقاوم به شوری (ابراهیمی، بادامی زرنند، سیف الدینی و سرخس)، چهار رقم حساس به شوری (کله قوچی، رضایی زودرس، ممتاز و فندق)، از ارقام ماده ۳۰ ساله کلکسیون پژوهشکده پسته کشور در شهرستان رفسنجان (با مختصات جغرافیایی ۳۱' ۵۶° شمالی و ۵۵' ۵۵° شرقی)، دو ژنوتیپ نر نسبتاً مقاوم به شوری (m_{15} , m_{16}) و دو ژنوتیپ نر حساس به شوری (m_2 , m_3) از ارقام ۴۰ ساله نر موجود در باغهای شوره زار شهرستان انار در نظر گرفته شد. این گروه‌بندی بر اساس مطالعات پیشین شامل فکری و همکاران (۷) و علیپور و همکاران (۴) و انجام گرفت. منبع ارقام نر بر اساس مطالعات مقدماتی پژوهشکده پسته و گزارش باغ‌های الگویی انار (۱۵) و تایید ارقام توسط کارشناسان مؤسسه تحقیقات پسته کشور بوده است.

تلاقی‌های بین ارقام ماده و ژنوتیپ‌های نر به صورت گرده‌افشانی مصنوعی انجام شد و ۱۶ هیبرید از این تلاقی‌ها به دست آمد. این روش با اقتباس از دستورالعمل استاندارد گرده‌افشانی کنترل‌شده در درختان پسته بر اساس روش‌های توصیف‌شده در مطالعات کریمی و همکاران (۱۱) و ورومن و همکاران (۱۸) انجام شد. به‌منظور گرده‌افشانی مصنوعی از اواخر اسفند ماه ۱۳۹۸ یعنی قبل از باز شدن جوانه گل ارقام نر و ماده، گل‌ها با کیسه‌های پارچه‌ای غیرقابل نفوذ به گرده پسته کاملاً پوشانده شد

بر قابلیت انبارداری و صادرات محصول نیز اثر منفی دارد. با وجود مطالعات نسبتاً گسترده در زمینه اثرات شوری بر پسته، چندین خلأ پژوهشی مهم وجود دارد که لزوم انجام تحقیق حاضر را توجیه می‌کند:

اولاً، اکثر مطالعات انجام شده بر روی ژنوتیپ‌های محدود و پراکنده متمرکز بوده و بررسی سیستماتیک و مقایسه‌ای جمعیت‌های بذری دورگه‌های حاصل از تلاقی‌های کنترل شده بین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۰).

ثانیاً، مطالعات همزمان بر روی شاخص‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در یک طرح آزمایشی یکپارچه و تحت شرایط کنترل شده به ندرت انجام شده است. اغلب پژوهش‌ها به بررسی جداگانه این ویژگی‌ها پرداخته‌اند که امکان درک جامع از سازوکارهای تحمل به شوری را فراهم نمی‌کند (۱۲).

ثالثاً، ارزیابی نسبت‌های یونی مختلف مانند Na^+/K^+ ، Ca^{2+}/Na^+ و Mg^{2+}/Na^+ در اندام‌های مختلف گیاه و ارتباط آن با تحمل به شوری در جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. این نسبت‌ها می‌توانند شاخص‌های حساس و دقیقی برای غربالگری ژنوتیپ‌های متحمل باشند (۶).

این تحقیق با اهداف زیر طراحی و اجرا شده است:

- تولید و ارزیابی سیستماتیک ۱۶ جمعیت بذری دورگه جدید حاصل از تلاقی‌های کنترل شده بین ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس به شوری
- بررسی همزمان شاخص‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در پاسخ به سطوح مختلف شوری (۰، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر)
- شناسایی جمعیت‌های بذری دورگه‌های برتر با قابلیت استفاده به عنوان پایه‌های متحمل به شوری بر اساس شاخص‌های چندگانه
- تعیین سازوکارهای تحمل به شوری در سطح عناصر معدنی و نسبت‌های یونی (در اینجا Na^+/K^+) در اندام‌های مختلف



شکل ۱. پوشاندن گل‌های ماده قبل از باز شدن به منظور جلوگیری از نفوذ گرده



شکل ۲: بستن شاخه حاوی گل نر در حال گرده‌دهی روی شاخه حاوی گل ماده آماده تلقیح

ساعت خشک شد. پس از اطمینان از آمادگی گل‌های ماده برای تلقیح (ظهور کلاله مقدار تقریبی ۰/۱ گرم (۱۰۰ میلی‌گرم) گرده خشک‌شده با استفاده از سرنگ ۵ سی‌سی بدون سوزن، از طریق دریچه کوچک ایجاد شده در کیسه پارچه‌ای، به آرامی بر روی خوشه‌های گل ماده تزریق شد. این عمل برای اطمینان از پوشش کامل کلاله‌ها انجام شد و بلافاصله دریچه بسته شد. این روش تزریق گرده، یک تکنیک مرسوم و تأیید شده در مطالعات اصلاحی پسته (۱۸) برای جلوگیری از آلودگی و اطمینان از تلقیح کنترل‌شده است.

(شکل ۱). برای این کار پنج درخت انتخاب و روی هر درخت پنج کیسه بسته شد. با رشد جوانه‌های گل و باز شدن گل‌های نر، درختان نر انتخابی و آمادگی گل‌های ماده ارقام مورد بررسی، تعدادی از خوشه‌های نر در حال گرده‌دهی جدا و روی شاخه‌های ایزوله شده درختان ماده بسته شد (شکل ۲) و بعد از بستن خوشه‌های گل نر، مجدداً کیسه را بسته تا از نفوذ گرده ناخواسته جلوگیری شود. همچنین جهت تکمیل گرده‌افشانی، مقداری از خوشه‌های گل نر از درختان مورد نظر جمع‌آوری و در آزمایشگاه پژوهشکده پسته کشور (رفسنجان) به مدت حدود ۱۲ تا ۲۰



شکل ۳. کشت بذور هیبرید مرحله اول آزمایش در داخل گلدان‌ها

۲- کشت در محیط آزمایشگاه: پس از این مرحله، بذور در پتری دیش‌های استریل حاوی کاغذ صافی مرطوب کشت شدند. پتری دیش‌ها در یک ژرمیناتور (دستگاه جوانه‌زنی) با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی کنترل شده قرار داده شدند

۳- نگهداری و نظارت: رطوبت کاغذهای صافی به‌طور روزانه با آب مقطر بررسی و در صورت نیاز تامین می‌شد. از ظهور ریشه‌چه به طول تقریباً ۲ تا ۳ میلی‌متر به‌عنوان ملاک جوانه‌زنی در نظر گرفته شد.

بذور جوانه زده در آزمایشگاه، در فروردین سال ۱۴۰۰ به داخل گلدان در گلخانه پژوهشکده منتقل شدند به‌طوری‌که بذور هر جمعیت‌های بذری دورگه داخل سه گلدان کشت و در هر گلدان سه نهال نگهداری شد (شکل ۳). خاک مورد استفاده دارای بافت لوم شنی و شوری کمتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۱). خاک بعد از عبور دادن از الک دو میلی‌متری به میزان شش کیلوگرم در داخل گلدان‌های بدون زهکش پلاستیکی ریخته شد و بذور جوانه زده جمعیت‌های بذری دورگه‌ها در داخل گلدان‌ها کشت شد.

گلدان‌ها هر سه روز یکبار تا مرحله سه برگی شدن نهال‌ها به‌مدت سه هفته با آب مقطر و بعد از آن با تیمارهای شوری به

بعد از پایان مراحل گرده‌افشانی تا زمان رسیدن فیزیولوژیکی و برداشت محصول، از نمونه‌های گرده‌افشانی کنترل شده مراقبت به‌عمل آمد. در زمان برداشت پسته در شهریور ۱۳۹۹، نمونه‌های پسته موردنظر به میزان یک کیلوگرم برداشت و جهت اجرای مرحله دوم آزمایش به آزمایشگاه منتقل شدند.

بذرهای حاصل از مرحله اول، بلافاصله پس از برداشت در شهریور ۱۳۹۹، در سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ درصد تا زمان کشت (فروردین ۱۴۰۰) نگهداری شدند. این روش انبارداری مطابق با دستورالعمل استاندارد نگهداری بذر پسته (۸) جهت حفظ قوه نامیه بود.

مرحله دوم: آزمون مقاومت به شوری هیبریدهای به‌دست آمده از مرحله اول

۱- آماده‌سازی بذر: بذور جمعیت‌های بذری دورگه از پوسته سخت خارج شدند. به‌منظور شکستن خواب و افزایش قدرت جوانه‌زنی، بذور به مدت ۲۴ ساعت در آب معمولی در دمای اتاق قرار داده شدند.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک استفاده شده در گلدان‌ها

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	بافت خاک
۳/۸	۷/۶	۰/۳	۰/۰۴	۸/۵	۱۸۰	لوم شنی

صفات، مشاهدات به‌دست آمده با نرم افزار آماری SAS جهت بررسی نتایج مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج

جدول تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی گیاه نشان می‌دهد که اثر شوری و جمعیت بذری دورگه و اثر متقابل آن دو بر برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده معنی‌دار است (جدول ۲). اثر متقابل این دو عامل بر وزن خشک ریشه، طول نهال و درصد نهال زنده معنی‌دار بود (جدول ۳)

تفاوت جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته از نظر صفات ریخت شناسی

طبق نتایج به‌دست آمده از جدول ۳ بیشترین وزن خشک ریشه متعلق به ۵ ترکیب بود (ابراهیمی *m₁₆ و ابراهیمی *m₁₅ و سیفی الدینی *m₁₆ و سیف الدینی *m₁₅ و ممتاز *m₃) که همگی در شوری سطح صفر بودند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین طول نهال به (فندق *m₂) در تیمار صفر شوری تعلق داشت. بیشترین درصد نهال زنده هم در ترکیب (سیف الدینی *m₁₅) در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول ۴ نشان داد که تیمار استفاده از آب مقطر جهت آبیاری نهال‌ها دارای بیشترین مقادیر و تیمار شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر دارای کمترین مقادیر از نظر صفات رشدی مورد ارزیابی بودند. نتایج نشان داد با افزایش شوری، ویژگی‌های رشدی نهال از جمله وزن تر ساقه (۵۵ درصد)، وزن خشک ساقه (۴۶/۱ درصد)، وزن تر ریشه (۳۶/۲ درصد) کاهش و طول خشکیدگی از نوک ساقه (۶۴/۳ درصد) و درصد نهال

مدت سه ماه آبیاری شدند. به‌منظور اطمینان از اینکه پاسخ‌های فیزیولوژیک و تغذیه‌ای مشاهده شده منحصراً ناشی از تأثیر تیمار شوری باشد و از هرگونه تداخل ناشی از کوددهی جلوگیری شود، در طول دوره رشد هیچ گونه کود یا ماده تغذیه‌ای به خاک یا آب آبیاری اضافه نشد. بدین ترتیب، گیاهان تمامی نیازهای غذایی خود را تنها از طریق ذخایر خاک تامین کردند و تفاوت‌های مشاهده شده بین هیبریدها منعکس‌کننده توانایی ذاتی آن‌ها در جذب و مدیریت عناصر تحت تنش شوری است.

نحوه کاشت ۱۶ جمعیت‌های بذری دورگه به‌دست آمده از مرحله اول آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شوری در سه سطح (صفر، هفت و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی (۱۶ جمعیت‌های بذری دورگه پسته) در ۱۴۴ گلدان انجام شد. شوری‌های آب با سطوح هفت و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر با اضافه نمودن کلرید سدیم خالص به آب مقطر حاصل شد.

مرحله سوم: برداشت نهال‌ها، اندازه‌گیری صفات و تجزیه های آماری

پس از پایان آزمایش، برداشت نهال‌ها در اوایل تیرماه ۱۴۰۰ آغاز شد. وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک ریشه، تعداد نهال زنده، تعداد نهال نیمه خشک (۵۰ درصد ساقه از نوک خشکیده است)، میانگین طول ساقه، میانگین طول خشکیدگی نهال از نوک ساقه، میانگین وزن خشک اندام هوایی، میانگین وزن خشک ریشه، غلظت سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم در ریشه، ساقه و برگ اندازه‌گیری شد. بعد از اندازه‌گیری کامل

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

میانگین مربعات											
منبع تغییر	درجه آزادی	وزن تر ساقه	وزن خشک ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	طول نهال	طول خشکیدگی از نوک ساقه	درصد نهال زنده	درصد نهال نیمه خشک	طول دمبرگ	قطر دمبرگ
تکرار (بلوک)	۲	۳/۹۲	۲/۱۱	۶/۳۶	۱/۶۷	۸/۳۱	۰/۰۵	۵/۲۱	۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۰۲
شوری (A)	۲	۴۹/۵**	۹/۸۶*	۳۲/۸*	۲۳/۱*	۲۷۶**	۲/۴۷*	۹۶/۲**	۵۱/۱**	۰/۰۶ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
خطا (a)	۴	۰/۷۸	۰/۵۵	۴/۲۲	۱/۳۲	۱۲/۱	۰/۱۴	۱/۸۱	۲/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۰۷
رقم (B)	۱۵	۶/۰۳**	۲/۱۶**	۱۱/۷**	۳/۰۰**	۹۱/۸**	۰/۲۰ ^{ns}	۴/۷۳ ^{ns}	۳/۹۳ ^{ns}	۰/۷۶**	۰/۰۵*
شوری*	۳۰	۰/۸۱ ^{ns}	۰/۲۸ ^{ns}	۲/۲۶ ^{ns}	۰/۶۲*	۱۶/۶۴*	۰/۲۲ ^{ns}	۵/۷۳**	۴/۵۲ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}
رقم (AB)	۹۰	۰/۶۵	۰/۲۳	۱/۴۶	۰/۳۸	۹/۹۷	۰/۲۲	۲/۸۹	۴/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۰۵
خطا (b)											
ضریب تغییرات		۳۳/۲	۳۳/۱	۳۰/۸	۳۳/۴	۲۳/۲	۵۱/۹	۱۹/۱	۲۸/۱	۱۹/۷	۱۰/۶

** : معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد، * : معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{ns} : عدم معنی دار

داده‌های جدول ۶ نشان داد بیشترین پتاسیم ساقه به ترکیب (سرخس * m₁₅) بدون اختلاف معنی دار با سایر میانگین‌ها به دست آمد. بیشترین منیزیم ساقه متعلق به این گروه بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر بود: (فندق * m₂) در شوری ۷، (ابراهیمی * m₁₆) در شوری ۱۴، (بادامی زرد * m₁₅) در شوری ۱۴ و (بادامی زرد * m₁₅) در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر.

بیشترین سدیم ریشه متعلق به ۴ جمعیت بذری دورگه در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بود که با هم اختلاف معنی داری نداشتند: (رضایی * m₂)، (ممتاز * m₂)، (کله قوچی * m₃) و (بادامی زرد * m₁₅).

بیشترین منیزیم برگ هم بدون اختلاف آماری معنی دار به این گروه از جمعیت‌های بذری دورگه و شوری تعلق گرفت: (رضایی * m₃) و (فندق * m₃) در شوری ۱۴ (کله قوچی * m₃) و (رضایی * m₂) در شوری ۷ و (سرخس * m₁₆)، (ممتاز * m₃)، (فندق * m₂) و (فندق * m₃) در شوری صفر.

نیمه خشک (۹۲ درصد) افزایش نشان داد. لازم به ذکر است که شوری بر دو ویژگی طول دمبرگ و قطر دمبرگ معنی دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اگرچه شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر به طور معنی داری صفات رشدی را در مقایسه با شاهد کاهش داد، اما افزایش شوری از ۷ به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر تاثیر معنی دار اضافه‌ای بر روی صفات ذکر شده نداشت. این امر می‌تواند حاکی از ایجاد بخش عمده‌ای از خسارت رشد در همان آستانه شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر باشد.

جدول آنالیز واریانس عناصر موجود در ریشه، ساقه و برگ نشان می‌دهد اثر شوری، رقم و اثر متقابل شوری و رقم بر غلظت عناصر در ساقه، ریشه و برگ معنی دار بود (جدول ۵).

اثر متقابل جمعیت‌های بذری دورگه و شوری بر ۴ ویژگی غلظت پتاسیم ساقه، منیزیم ساقه، سدیم ریشه و منیزیم برگ معنی دار بود (جدول ۶).

جدول ۳. اثر متقابل شوری و جمعیت بذری دورگه بر ویژگیهای رشدی

شوری	جمعیت بذری دورگه	وزن خشک ریشه (گرم)	ارتفاع نهال (سانتی متر)	نهال زنده (درصد)
	ابراهیمی * m16	۳/۷۰ ^{abc}	۱۴/۵۷ ^{fgh}	۰/۷۰ ^{gh}
	ابراهیمی * m15	۴/۰۷ ^a	۱۲/۵۳ ^{ijk}	۰/۷۰ ^{gh}
	بادامی زرنده * m16	۳/۳۳ ^{bcd}	۱۳/۶۷ ^{hij}	۰/۷۰ ^{gh}
	بادامی زرنده * m15	۲/۷۷ ^{def}	۱۵/۸۷ ^{def}	۰/۷۰ ^{gh}
	سیف الدینی * m16	۳/۷۰ ^{abc}	۱۳/۴۰ ^{hij}	۰/۷۰ ^{gh}
	سیف الدینی * m15	۲/۳۰ ^{efg}	۱۴/۵۷ ^{fgh}	۰/۷۰ ^{gh}
	سرخس * m16	۱/۰۷ ^{k-n}	۸/۲۳ ^{pqr}	۰/۷۰ ^{gh}
	سرخس * m15	۱/۲۰ ^{j-m}	۸/۱۷ ^{qr}	۰/۷۰ ^{gh}
	کله قوچی * m2	۱/۳۷ ^{i-l}	۱۴/۰۷ ^{ghi}	۰/۷۰ ^{gh}
	کله قوچی * m3	۲/۲۰ ^{fgh}	۲۲/۳۳ ^{bc}	۰/۷۰ ^{gh}
	رضایی * m2	۱/۹۷ ^{hij}	۲۳/۶۷ ^b	۰/۷۰ ^{gh}
	رضایی * m3	۲/۰۰ ^{hij}	۲۴/۰۰ ^b	۰/۷۰ ^{gh}
	ممتاز * m2	۲/۸۳ ^{cde}	۱۷/۵۷ ^{de}	۰/۷۰ ^{gh}
	ممتاز * m3	۳/۹۳ ^{ab}	۱۶/۴۳ ^{ef}	۰/۷۰ ^{gh}
	فندقی * m2	۲/۱۰ ^{ghi}	۲۵/۷۳ ^a	۰/۷۰ ^{gh}
	فندقی * m3	۲/۸۷ ^{cde}	۱۶/۸۷ ^{de}	۰/۷۰ ^{gh}
	ابراهیمی * m16	۲/۳۳ ^{ghi}	۱۰/۲۰ ^{lmn}	۰/۷۰ ^{gh}
	ابراهیمی * m15	۲/۵۷ ^{efg}	۱۱/۵۰ ^{klm}	۰/۷۰ ^{gh}
	بادامی زرنده * m16	۲/۳۷ ^{fgh}	۱۰/۲۰ ^{lmn}	۰/۷۰ ^{gh}
	بادامی زرنده * m15	۲/۱۳ ^{hij}	۱۱/۰۰ ^{klm}	۰/۷۰ ^{gh}
	سیف الدینی * m16	۲/۷۶ ^{def}	۱۴/۲۷ ^{ghi}	۱/۲۸ ^{def}
	سیف الدینی * m15	۱/۵۷ ^{k-n}	۱۰/۴۳ ^{lmn}	۰/۷۰ ^{gh}
	سرخس * m16	۰/۷۳ ^{o-r}	۵/۷۰ ^s	۱/۰۵ ^{fg}
	سرخس * m15	۱/۴۰ ^{l-o}	۸/۶۰ ^{pqr}	۱/۱۴ ^{ef}
	کله قوچی * m2	۱/۱۳ ^{m-p}	۱۱/۸۳ ^{jkl}	۱/۰۵ ^{fg}
	کله قوچی * m3	۱/۶۳ ^{ijklm}	۱۳/۲۷ ^{hij}	۰/۷۰ ^{gh}
	رضایی * m2	۱/۱۳ ^{m-p}	۱۳/۱۷ ^{hij}	۰/۷۰ ^{gh}
	رضایی * m3	۰/۹۷ ^{n-q}	۱۳/۵۰ ^{hij}	۰/۷۰ ^{gh}
	ممتاز * m2	۲/۴۰ ^{fgh}	۱۴/۸۳ ^{fgh}	۰/۷۰ ^{gh}
	ممتاز * m3	۱/۷۳ ^{jkl}	۱۲/۹۰ ^{ijk}	۰/۷۰ ^{gh}
	فندقی * m2	۱/۸۰ ^{ijk}	۱۷/۹۷ ^{cd}	۱/۲۲ ^{def}
	فندقی * m3	۲/۲۳ ^{ghi}	۱۴/۴۳ ^{ghi}	۰/۷۰ ^{gh}

۷

ادامه جدول ۳

۰/۷, gh	۱۲/۰۳ ^{ijk}	۱/۴۰ ^{l-o}	ابراهیمی * m16
۱/۸۳ ^b	۱۱/۳۷ ^{ijkl}	۱/۵۷ ^{k-n}	ابراهیمی * m15
۰/۷, gh	۱۰/۵۰ ^{klm}	۱/۱۰ ^{n-q}	بادامی زرنده * m16
۰/۷, gh	۱۰/۴۷ ^{klm}	۱/۴۰ ^{l-o}	بادامی زرنده * m15
۱/۲۲ ^{def}	۱۲/۱۰ ^{ijk}	۱/۴۰ ^{l-o}	سیف الدینی * m16
۲/۰۸ ^a	۱۰/۸۷ ^{klm}	۰/۹۰ ^{p-s}	سیف الدینی * m15
۱/۰۵ ^{fg}	۷/۶۶ ^r	۰/۷۰ ^{qrs}	سرخس * m16
۰/۹۹ ^{fg}	۹/۶۷ ^{mno}	۰/۷۰ ^{qrs}	سرخس * m15
۰/۷, gh	۱۴/۳۳ ^{ghi}	۱/۵۷ ^{k-n}	کله قوچی * m2
۱/۲۲ ^{def}	۱۵/۲۳ ^{efg}	۱/۰۷ ^{o-r}	کله قوچی * m3
۱/۵۲ ^c	۱۰/۹۰ ^{klm}	۰/۹۰ ^{p-s}	رضایی * m2
۰/۷, gh	۱۱/۸۳ ^{ijkl}	۱/۰۰ ^{o-r}	رضایی * m3
۱/۲۹ ^{def}	۱۲/۶۰ ^{ijk}	۱/۵۳ ^{l-o}	ممتاز * m2
۱/۰۹ ^{efg}	۱۴/۳۷ ^{ghi}	۱/۳۳ ^{m-p}	ممتاز * m3
۱/۳۵ ^{cd}	۱۶/۸۳ ^{de}	۱/۳۳ ^{m-p}	فندقی * m2
۱/۲۲ ^{def}	۱۵/۸۷ ^{def}	۱/۳۷ ^{m-p}	فندقی * m3

۱۴

m 15 و m 16 ژنوتیپ‌های نر مقاوم به شوری؛ m 2 و m 3 ژنوتیپ‌های نر حساس به شوری. در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (شاخص‌های رشد) در سطوح متفاوت شوری

سطوح شوری (dSm ⁻¹)	وزن تر ساقه (گرم)	وزن خشک ساقه (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	طول خشکیدگی از نوک ساقه (سانتی‌متر)	نهال خشک (درصد)
۰	۳/۶ ^a	۱/۹۵ ^a	۴/۷ ^a	۰/۷ ^b	۰ ^b
۷	۲/۵ ^b	۱/۳۸ ^b	۳/۹ ^{ab}	۰/۸۵ ^b	۴/۵ ^b
۱۴	۱/۶ ^c	۱/۰۵ ^b	۳/۰ ^b	۱/۱۵ ^a	۱۵/۶ ^a

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

معنی‌دار تعلق گرفت که هم سدیم ساقه هم سدیم برگ نسبت به شوری صفر ۲/۵ برابر افزایش نشان داد. بیشترین پتاسیم و کلسیم برگ در شوری صفر مشاهده شد. در این مورد هم بین دوسطح شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر اختلافی مشاهده نشد. پتاسیم برگ ۴۸/۳ درصد و کلسیم برگ ۱۱/۳ درصد با شوری کاهش یافتند.

جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۵) که شوری تنها بر سدیم ساقه، سدیم برگ، پتاسیم برگ و کلسیم برگ اثر معنی‌دار دارد. در جدول ۷ مقایسه بین سطوح مختلف شوری صورت گرفته است. به طوری که بیشترین غلظت سدیم ساقه و سدیم برگ به سطوح شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بدون اختلاف

جدول ۵. تجزیه واریانس عناصر اندازه گیری شده

میانگین مربعیات

متیزم برگ	کلسیم برگ		پتاسیم برگ		سدیم برگ		متیزم ریشه		کلسیم ریشه		پتاسیم ریشه		سدیم ریشه		متیزم ساقه		کلسیم ساقه		پتاسیم ساقه		سدیم ساقه		df
	متیزم برگ	کلسیم برگ	پتاسیم برگ	سدیم برگ	متیزم ریشه	کلسیم ریشه	پتاسیم ریشه	سدیم ریشه	متیزم ساقه	کلسیم ساقه	پتاسیم ساقه	سدیم ساقه	متیزم ساقه	کلسیم ساقه	پتاسیم ساقه	سدیم ساقه	متیزم ساقه	کلسیم ساقه	پتاسیم ساقه	سدیم ساقه	df		
۰/۰۲۲	۱۵/۳۳	۲/۴۲۴	۰/۰۰۹	۲/۳۴۷	۲۹/۷۲	۱/۴۹۳	۰/۰۲۹	۰/۰۷۱	۴/۵۹۷	۰/۰۳۰	۰/۰۰۹	۲	تکرار										
۰/۲۹۸*	۲۹/۶۳**	۱۱/۷۱*	۰/۱۵۱*	۰/۳۳۲	۱۷/۱۸ ^{ns}	۰/۴۲۵ ^{ns}	۰/۱۱۵**	۰/۱۸۹ ^{ns}	۶/۳۷۱ ^{ns}	۰/۳۱۸*	۰/۱۵۵*	۲	شوری										
۰/۰۸۳	۳/۴۸۸	۱/۶۰۱	۰/۰۱۰	۰/۲۸۵	۷/۸۰۴	۰/۷۷۹	۰/۰۰۶	۰/۱۲۷	۱/۸۸۴	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۴	خطا										
۰/۲۲*	۰/۲۹۷ ^{ns}	۰/۶۳**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۰۵ ^{ns}	۰/۵۲ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۲*	۰/۰۷۰ ^{ns}	۰/۶۲۸ ^{ns}	۰/۰۸۴ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۱۵	رقم										
۰/۲۰*	۰/۵۸۳ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۱۶۳ ^{ns}	۰/۷۳ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۳*	۰/۰۹۵**	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۱۸۱**	۰/۰۰۲ ^{ns}	۳۰	شوری*رقم										
۰/۱۱۸	۰/۴۵۰	۰/۳۶۱	۰/۰۰۲	۰/۱۳۹	۰/۶۲۵	۰/۱۵۱	۰/۰۰۱	۰/۰۴۸	۰/۳۵۵	۰/۰۶۴	۰/۰۰۲	۹۰	خطا										
۳۹/۰۰	۲۳/۲۴	۴۲/۶۲	۴/۱/۸۴	۴۱/۱۱	۲۰/۱۳	۴۵/۸۶	۳۴/۵۸	۳۵/۳۲	۲۸/۸۱	۲۸/۵۶	۴۲/۵۶		ضریب تغییرات										

*^{ns}: معنی داری در سطح ۱٪، *^{ns}: معنی داری در سطح ۵٪ و ^{ns}: معنی داری

جدول ۱.۶ اثر متقابل جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته و شوری بر غلظت عناصر

شوری	جمعیت بذری دورگه	پتاسیم ساقه (درصد)	منیزیم ساقه (درصد)	سدیم ریشه (درصد)	منیزیم برگ (درصد)
	ابراهیمی * m16	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۵۶۷ ^{cde}	۰/۱۰۷ ^{fgh}	۰/۷۰۰ ^{efg}
	ابراهیمی * m15	۰/۹۳۳ ^{c-g}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۰۶۰ ^{ijk}	۰/۹۶۷ ^{c-f}
	بادامی زرنده * m16	۰/۸۳۳ ^{d-g}	۰/۴۳۳ ^{de}	۰/۰۶۰ ^{ijk}	۱/۱۰۱ ^{b-e}
	بادامی زرنده * m15	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۳۳۳ ^e	۰/۰۵۷ ^{ijk}	۰/۷۶۷ ^{d-g}
	سیف الدینی * m16	۰/۹۰۰ ^{c-g}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۰۵۷ ^{ijk}	۰/۸۰۰ ^{d-g}
	سیف الدینی * m15	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۴۳۳ ^{de}	۰/۰۵۰ ^k	۰/۹۶۷ ^{c-f}
	سرخس * m16	۰/۷۰۰ ^{fg}	۰/۴۳۳ ^{de}	۰/۰۶۰ ^{ijk}	۱/۲۳۱ ^{a-d}
	سرخس * m15	۲/۰۳۱ ^a	۰/۷۳۳ ^{a-e}	۰/۰۶۷ ^{h-k}	۰/۸۶۷ ^{c-g}
	کله قوچی * m2	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۸۳۳ ^{a-d}	۰/۰۶۳ ^{h-k}	۱/۱۳۱ ^{b-e}
	کله قوچی * m3	۰/۴۶۷ ^g	۰/۵۶۷ ^{cde}	۰/۰۵۰ ^k	۰/۰۷۰ ^{efg}
	رضایی * m2	۱/۰۳۰ ^{b-e}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۰۶۳ ^{h-k}	۰/۸۰۰ ^{d-g}
	رضایی * m3	۰/۶۶۷ ^{efg}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۱۲۷ ^{d-g}	۰/۹۰۰ ^{c-g}
	ممتاز * m2	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۵۰۰ ^{cde}	۰/۰۷۰ ^{j-k}	۰/۹۰۰ ^{c-g}
	ممتاز * m3	۱/۰۳۳ ^{b-e}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۰۹۰ ^{e-h}	۱/۲۷۱ ^{abc}
	فندقی * m2	۱/۰۳۱ ^{b-e}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۰۷۷ ^{f-j}	۱/۱۷۱ ^{a-d}
	فندقی * m3	۱/۰۳۱ ^{b-e}	۰/۵۰۰ ^{cde}	۰/۰۵۷ ^{ijk}	۱/۳۰۱ ^{ab}
	ابراهیمی * m16	۰/۹۶۷ ^{b-g}	۰/۷۳۳ ^{a-e}	۰/۱۲۰ ^{e-h}	۰/۹۰۰ ^{c-g}
	ابراهیمی * m15	۰/۸۰۰ ^{d-g}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۱۳۳ ^{d-g}	۰/۷۳۳ ^{d-g}
	بادامی زرنده * m16	۱/۰۰۰ ^{b-f}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۱۰۷ ^{fgh}	۰/۸۳۳ ^{c-g}
	بادامی زرنده * m15	۰/۸۶۷ ^{c-g}	۰/۴۶۷ ^{de}	۰/۱۰۷ ^{fgh}	۰/۹۳۳ ^{c-f}
	سیف الدینی * m16	۰/۹۳۳ ^{c-g}	۰/۷۶۷ ^{a-e}	۰/۰۸۷ ^{e-i}	۰/۴۶۷ ^g
	سیف الدینی * m15	۰/۹۳۳ ^{c-g}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۱۲۳ ^{d-h}	۰/۸۰۰ ^{d-g}
	سرخس * m16	۱/۰۰۱ ^{b-f}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۰۵۳ ^{ijk}	۰/۷۰۰ ^{efg}
	سرخس * m15	۰/۵۳۳ ^{fg}	۰/۵۶۷ ^{cde}	۰/۱۱۰ ^{e-h}	۰/۶۶۷ ^{efg}
	کله قوچی * m2	۰/۴۶۷ ^g	۰/۵۶۷ ^{cde}	۰/۰۷۷ ^{f-j}	۱/۰۳۱ ^{b-f}
	کله قوچی * m3	۰/۶۰۰ ^{efg}	۰/۹۰۰ ^{ab}	۰/۱۳۰ ^{d-g}	۱/۱۷۱ ^{a-d}
	رضایی * m2	۰/۷۶۷ ^{d-g}	۰/۴۰۰ ^e	۰/۰۶۰ ^{ijk}	۱/۲۳۱ ^{a-d}
	رضایی * m3	۰/۸۰۰ ^{d-g}	۰/۶۶۷ ^{b-e}	۰/۰۸۰ ^{f-j}	۰/۸۳۳ ^{c-g}
	ممتاز * m2	۰/۸۰۰ ^{d-g}	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۱۰۷ ^{fgh}	۰/۹۰۰ ^{c-g}
	ممتاز * m3	۰/۹۰۰ ^{c-g}	۰/۸۳۳ ^{a-d}	۰/۰۹۰ ^{e-h}	۰/۵۰۰ ^{fg}
	فندقی * m2	۰/۸۶۷ ^{c-g}	۰/۹۶۷ ^a	۰/۰۷۷ ^{f-j}	۰/۷۳۳ ^{d-g}
	فندقی * m3	۰/۶۶۷ ^{efg}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۱۱۳ ^{e-h}	۰/۹۰۰ ^{c-g}

۷

ادامه جدول ۶

۰/۸۳۳ ^{c-g}	۰/۱۱۰ ^{e-h}	۱/۰۰ ^a	۰/۷۶۷ ^{d-g}	m16 ابراهیمی *
۰/۶۶۷ ^{efg}	۰/۱۰۷ ^{fgh}	۰/۷۶۷ ^{a-e}	۰/۹۶۷ ^{b-g}	m15 ابراهیمی *
۰/۹۰۰ ^{c-g}	۰/۱۷۷ ^{bcd}	۱/۰۰۰ ^a	۰/۹۶۷ ^{b-g}	m16 بادامی زرنده *
۰/۵۳۳ ^f	۰/۱۹۰ ^{abc}	۱/۰۰۰ ^a	۰/۹۳۳ ^{c-g}	m15 بادامی زرنده *
۰/۶۶۷ ^{efg}	۰/۱۸۰ ^{bcd}	۰/۷۶۷ ^{a-e}	۱/۰۳ ^{b-e}	m16 سیف الدینی *
۰/۵۰۰ ^f	۰/۱۶۷ ^{cde}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۸۶۷ ^{c-g}	m15 سیف الدینی *
۰/۹۶۷ ^{c-f}	۰/۱۱۰ ^{e-h}	۰/۶۰۰ ^{cde}	۰/۹۰۰ ^{c-g}	m16 سرخس *
۰/۹۰۰ ^{c-g}	۰/۱۱۰ ^{e-h}	۰/۹۳۳ ^{ab}	۰/۶۳۳ ^{efg}	m15 سرخس *
۱/۰۰۰ ^{c-f}	۰/۱۶۰ ^{c-f}	۰/۶۳۳ ^{b-e}	۰/۸۳۳ ^{d-g}	m2 کله قوچی *
۰/۵۰۰ ^f	۰/۲۰۰ ^{ab}	۰/۴۶۷ ^{de}	۱/۰۰۰ ^{b-f}	m3 کله قوچی *
۰/۷۰۰ ^{efg}	۰/۲۷۰ ^a	۰/۵۳۳ ^{cde}	۰/۸۰۰ ^{d-g}	m2 رضایی *
۱/۹۰۲ ^a	۰/۱۸۰ ^{bcd}	۰/۳۶۷ ^e	۰/۶۳۳ ^{efg}	m3 رضایی *
۰/۶۰۰ ^{efg}	۰/۲۰۳ ^{ab}	۰/۴۶۷ ^{de}	۰/۹۰۰ ^{c-g}	m2 ممتاز *
۰/۷۳۳ ^{d-g}	۰/۱۳۳ ^{d-g}	۰/۵۶۷ ^{cde}	۰/۹۰۰ ^{c-g}	m3 ممتاز *
۰/۷۳۳ ^{d-g}	۰/۱۸۰ ^{bcd}	۰/۴۳۳ ^{de}	۰/۸۶۷ ^{c-g}	m2 فندقی *
۱/۳۰۱ ^{ab}	۰/۱۶۰ ^{c-f}	۰/۶۰۰ ^{cde}	۱/۰۷۲ ^{bcd}	m3 فندقی *

m 15 و m 16 ژنوتیپ‌های نر مقاوم به شوری؛ m 2 و m 3 ژنوتیپ‌های نر حساس به شوری. در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ۷. مقایسه میانگین غلظت عناصر معدنی قسمت‌های مختلف نهال پسته در سطوح مختلف شوری

سطوح شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	سدیم ساقه (درصد)	سدیم برگ (درصد)	پتاسیم برگ (درصد)	کلسیم برگ (درصد)
۰	۰/۰۴ ^b	۰/۰۴ ^b	۱/۷۴ ^a	۳/۷ ^a
۷	۰/۱۴ ^a	۰/۱۱ ^a	۰/۹ ^b	۲/۶ ^b
۱۴	۰/۱۴ ^a	۰/۱۴ ^a	۰/۸۷ ^b	۲/۲ ^b

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

بحث

با گزارش‌های قبلی مبنی بر کاهش ۴۲-۳۵ درصد در ارقام حساس پسته همسو است (۹)، اما از سوی دیگر، نوآوری اصلی تحقیق حاضر در شناسایی دامنه وسیع تنوع ژنتیکی (از ۲۰ تا ۶۰ درصد کاهش) بین دورگه‌های مختلف است. این یافته نشان می‌دهد که برنامه‌های اصلاح نباتی می‌توانند با بهره‌گیری از این تنوع ژنتیکی، ارقام متحمل‌تری تولید کنند.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تنش شوری تأثیر قابل توجهی بر کلیه شاخص‌های رشدی دورگه‌های پسته دارد، اما درجه این تأثیر به‌طور معنی‌داری بین دورگه‌های مختلف متفاوت بود. کاهش ۵۵-۴۶ درصد در وزن خشک ساقه و ریشه تحت شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر که در این مطالعه مشاهده شد، از یک سو

جدول ۸. مقایسه میانگین جمعیت‌های بذری دورگه از نظر نسبت سدیم به پتاسیم در قسمت‌های مختلف نهال پسته

نسبت سدیم به پتاسیم			هیبریدهای پسته
برگ	ریشه	ساقه	
۰/۱۱ a	۰/۰۹ b	۰/۱۱ ab	ابراهیمی * m 15
۰/۰۹ a	۰/۱۲ ab	۰/۱۲ ab	ابراهیمی * m 16
۰/۰۸ a	۰/۱۳ ab	۰/۱۲ ab	بادامی زرنده * m 15
۰/۰۷ a	۰/۱۳ ab	۰/۱ ab	بادامی زرنده * m 16
۰/۰۸ a	۰/۱۱ ab	۰/۱ ab	سیف الدینی * m 15
۰/۰۶ a	۰/۱۵ a	۰/۱۱ ab	سیف الدینی * m 16
۰/۱ a	۰/۰۹ b	۰/۱ ab	سرخس * m 15
۰/۱ a	۰/۱۲ ab	۰/۱۳ a	سرخس * m 16
۰/۰۵ a	۰/۱۴ a	۰/۱۶ a	کله قوچی * m 2
۰/۰۶ a	۰/۱۲ ab	۰/۱۳ a	کله قوچی * m 3
۰/۰۶ a	۰/۱۴ a	۰/۰۸ b	رضایی * m 2
۰/۰۹ a	۰/۱۲ ab	۰/۱۱ ab	رضایی * m 3
۰/۰۸ a	۰/۱۵ a	۰/۱۲ ab	ممتاز * m 2
۰/۱ a	۰/۱۱ ab	۰/۱۱ ab	ممتاز * m 3
۰/۱ a	۰/۱۲ ab	۰/۰۹ b	فندق * m 2
۰/۰۶ a	۰/۱۳ ab	۰/۰۸ b	فندق * m 3

m 16 و m 2 ژنوتیپ‌های نر مقاوم به شوری؛ m 3 و m 2 ژنوتیپ‌های نر حساس به شوری. در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

می‌کنند و نقش کلیدی در مدیریت توزیع سدیم در گیاهان دارند (۲۱).

یکی از یافته‌های برجسته این تحقیق، رفتار متفاوت دورگه‌ها در جذب و توزیع عناصر غذایی بود. درحالی‌که مطالعات قبلی عمدتاً بر تجمع سدیم متمرکز بودند (۱۷)، نتایج حاضر نشان داد که دورگه‌های مقاوم نه تنها سدیم کمتری جذب می‌کنند، بلکه توانایی بالاتری در حفظ و انتقال پتاسیم و کلسیم به اندام‌های هوایی دارند. دورگه (رضایی * m₂) توانست تحت شرایط شوری شدید، غلظت پتاسیم برگ را در سطح ۰/۸۷ درصد حفظ کند، درحالی‌که این مقدار در دورگه حساس (کله قوچی * m₂) به ۰/۵۰ درصد کاهش یافت. این یافته با مطالعات چن و همکاران (۶) که

در مورد تجمع سدیم در اندام‌های هوایی، اگرچه افزایش ۲/۵ برابر در غلظت سدیم برگ تحت شوری شدید با یافته‌های علیپور و همکاران (۲) مطابقت کلی داشت، اما تحلیل دقیق‌تر در این پژوهش نشان داد که دورگه‌های مقاوم مانند (رضایی * m₂) توانایی قابل توجهی در محدود کردن انتقال سدیم به اندام‌های هوایی داشتند، درحالی‌که دورگه‌های حساس مانند (کله قوچی * m₂) سدیم را به میزان بیشتری به برگ‌ها انتقال می‌دادند. این پدیده را می‌توان با تفاوت در فعالیت ناقل‌های غشایی از جمله خانواده پروتئین‌های HKT (High-Affinity K⁺ Transporter) توضیح داد که پروتئین‌های غشایی بسیار مهمی هستند که نقش کلیدی در تحمل به شوری و هم‌ایستایی یونی در گیاهان ایفا

بر اهمیت نسبت‌های یونی به‌عنوان شاخص‌های تحمل تأکید داشتند، همسو است.

بر خلاف مطالعه توللی و همکاران (۱۷) که بر نقش متابولیت‌های سازگارکننده تأکید داشت، نتایج این تحقیق نشان داد که نسبت Na^+/K^+ در ریشه و ساقه شاخص قوی‌تری برای تمایز دورگه‌های متحمل از حساس است. دورگه (رضایی * m_2) با حفظ نسبت Na^+/K^+ بالا (۰/۰۸ در ساقه) حتی تحت شوری شدید، مکانیسم کارآمدی در حفظ هموستازی یونی نشان داد، درحالی‌که این نسبت در دورگه حساس (کله قوچی * m_2) به ۰/۱۶ افزایش یافت. این مشاهده با یافته‌های راجو و پراساد (۱۶) که بر اهمیت این نسبت در تنظیم فعالیت آنزیم‌های وابسته به پتاسیم تأکید داشتند، مطابقت داشت.

تحلیل همزمان شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی در این پژوهش نشان داد که دورگه‌های مختلف از استراتژی‌های متفاوتی برای مقابله با تنش شوری استفاده می‌کنند. دورگه (سیف الدینی * m_{15}) با حفظ رشد رویشی مطلوب تحت تنش، استراتژی "اجتناب از تنش" را نشان داد، درحالی‌که دورگه (رضایی * m_2) با حفظ تعادل یونی بهینه، استراتژی "تحمل درون‌سلولی" را به نمایش گذاشت. این تفاوت در استراتژی‌ها می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی مختلف، بسته به شرایط محیطی هدف، مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

یافته جالب توجه دیگر، تأثیر ترکیب والدین بر عملکرد دورگه‌ها بود. دورگه‌های حاصل از والدین مقاوم مانند (سیف الدینی * m_{15}) عموماً عملکرد بهتری نشان دادند، اما استثناهای قابل توجهی مانند دورگه (رضایی * m_2) (حاصل از والد حساس) مشاهده شد که عملکرد مطلوبی داشت. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که سازوکار تحمل به شوری در پسته از الگوی ژنتیکی پیچیده‌ای تبعیت می‌کند. در چنین شرایطی، انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل بر مبنای ارزیابی مستقیم شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (نظیر نسبت‌های یونی و عملکرد رشدی تحت تنش)، از کارایی و دقت بیشتری در مقایسه با پیش‌بینی صرف بر اساس مقاومت والدین برخوردار است.

در مقایسه با مطالعه زارعی و همکاران (۲۰) که بر مدیریت تغذیه‌ای برای تعدیل شوری تأکید داشت، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که دورگه‌های برتر به‌طور ذاتی توانایی مدیریت بهینه عناصر غذایی را دارا هستند. این امر می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های تولید و افزایش پایداری سیستم‌های کشت پسته در مناطق شور شود. همچنین، بر خلاف پژوهش لیو و همکاران (۱۲) که بررسی جداگانه‌ای بر شاخص‌های مختلف داشتند، رویکرد یکپارچه این پژوهش در بررسی همزمان شاخص‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، درک جامع‌تری از سازوکارهای تحمل ارائه کرده است.

بر اساس یافته‌های این پژوهش، سازوکارهای اصلی تحمل به شوری در دورگه‌های برتر پسته شامل:

۱. محدود کردن جذب و انتقال سدیم به اندام‌های هوایی
۲. حفظ و انتقال کارآمد پتاسیم و کلسیم
۳. نگهداری نسبت‌های یونی مطلوب در اندام‌های حیاتی
۴. تخصیص مناسب و متعادل مواد غذایی و انرژی بین فرآیندهای رشدی و سازوکارهای محافظتی در شرایط تنش. این سازوکارها به‌صورت هماهنگ عمل کرده و امکان بقا و رشد دورگه‌های متحمل را در شرایط شوری فراهم می‌کنند.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر که در مرحله گیاهچه‌ای و تحت شرایط کنترل‌شده گلخانه انجام شد، امکان ارزیابی اولیه و سریع واکنش دورگه‌های جدید پسته به تنش شوری را فراهم کرد. یافته‌ها به وضوح نشان داد که در بین ۱۶ دورگه مورد بررسی، واکنش‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی به شوری از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار بود. در محدوده این پژوهش، دورگه (سیف الدینی * m_{15}) با دارا بودن بالاترین صفات رویشی و توده زیستی، امیدوارکننده‌ترین دورگه از نظر تحمل به شوری در مرحله گیاهچه‌ای شناخته شد. در مقابل، دورگه (سرخس * m_{15}) حساس‌ترین دورگه بود. از نظر شاخص‌های یونی، دورگه (کله قوچی * m_2) با بالاترین

در مرحله درخت بالغ و در شرایط واقعی خاک و آب شور مناطق پسته‌کاری است. این پژوهش می‌تواند مبنای مناسبی برای گزینش اولیه ژنوتیپ‌ها برای مطالعات آینده باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری پژوهشکده پسته کشور صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

نسبت سدیم به پتاسیم (Na^+/K^+)، بیشترین حساسیت و دورگه (رضایی * m_2) با پایین‌ترین مقدار این نسبت، بالاترین سطح تحمل را در مرحله اولیه رشد نشان دادند. این نتایج، پتانسیل اولیه‌ای را برای استفاده از دورگه‌های برتر (مانند سیف الدینی * m_{15}) و (رضایی * m_2) به‌عنوان پایه‌های متحمل در برنامه‌های اصلاحی آینده نشان می‌دهد. با این حال، توصیه نهایی برای کشت در شرایط مزرعه‌ای مستلزم انجام مطالعات تکمیلی و بلندمدت بر روی این دورگه‌ها

منابع

- Akbari, M., N. Mahna, K. Ramesh, A. Bandehagh and S. Mazzuca. 2018. Ion homeostasis, osmoregulation, and physiological changes in the roots and leaves of pistachio rootstocks in response to salinity. *Protoplasma* 255(5): 1349-1362.
- Alipour, H., S. Ghasemi, M. Sadeghi and A. Naderi. 2021. Ion homeostasis and photosynthetic performance of pistachio under salinity. *Agricultural Water Management* 245: 106583.
- Alipour, H., S. Ghasemi, M. Sadeghi and A. Naderi. 2022. Rootstock selection for saline environments: Lessons from pistachio. *Agricultural Water Management* 271: 107798.
- Alipour, H., M. Kafi, A. Nezami and A. H. Mohammadi. 2017. Study of salinity tolerance of seedlings of commercial cultivars and local genotypes of pistachio (*Pistacia vera* L.) in Rafsanjan region under controlled conditions. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)* 31(1): 70-80. (In Farsi).
- Ashraf, M., and M. R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59(2): 206-216.
- Chen, J., Y. Wang, L. Zhang and X. Li. 2023. Ionic ratios as reliable indicators for screening salt-tolerant pistachio rootstocks. *Plant and Soil* 485(1): 45-60.
- Fekri, M., F. A. Gholami, M. R. Ghasemi and S. R. Asadi. 2015. Physiological responses of pistachio genotypes to salinity stress. *Agricultural Water Management* 152: 243-250.
- Ferguson, L., R. Beede, M. Freeman, D. Haviland, B. Holtz and C. Kallsen. 2005. Pistachio Production Manual. University of California, California.
- Ghasemi, M., M. Rahemi, V. Tavallali and H. Rahnama. 2022. Morpho-physiological responses of pistachio genotypes to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 295: 110855.
- Hasanuzzaman, M., M. H. M. B. Bhuyan, F. Zulfiqar, A. Raza, S. M. Mohsin, J. A. Mahmud, M. Fujita, V. Fotopoulos. 2021. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants* 10(2): 1-25.
- Karimi, H. R., A. Ebadi, Z. Zamani and R. Fatahi. 2011. Effect of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. *Journal of Plant Nutrition* 34(7): 935-944.
- Liu, X., H. Zhang, Q. Wang and Y. Chen. 2023. Integrated physiological and biochemical analysis reveals comprehensive salt tolerance mechanisms in pistachio. *Frontiers in Plant Science* 14: 112-125.
- Mittler, R., S. I. Zandalinas, Y. Fichman and F. Van Breusegem. 2022. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 23(10): 663-679.
- Momenpour, A. and A. Imani. 2023. Impact of salinity stress on yield and quality attributes of pistachio nuts. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 58(3): 234-245.
- Pistachio Research Institute of Iran. (2016). Report on salinity-tolerant male rootstocks in Anar region. Internal report. Internal Report No. PRII-AG-2016-03. Rafsanjan, Iran.
- Raju, A. D. and S. M. Prasad. 2023. Hydrogen sulfide regulates NaCl tolerance in brinjal and tomato seedlings by Na^+/K^+ homeostasis and nitrogen metabolism. *Plant Stress* 7: 100129.
- Tavallali, V., A. Rezai, S. Ebrahimi, M. Shariati. 2020. Antioxidant defense and metabolic responses in pistachio under salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 155: 1-12.

18. Vrooman, O., D. E. Parfitt and S. Kallow. 2020. Controlled pollination methods in pistachio breeding programs. *HortScience* 55(8): 1256-1262.
19. Wang, Y., X. Zhang, Z. Liu and J. Li. 2023. Photosynthetic responses of horticultural crops to salt stress: Mechanisms and adaptation strategies. *Environmental and Experimental Botany* 205: 105-118.
20. Zarei, M., M. Ramezani, A. Keshavarzi and H. Gahramani. 2024. Breeding strategies for salinity tolerance in pistachio: Current status and future perspectives. *Agricultural Systems* 215: 105487.
21. Zhang, Y., L. Wang, J. Chen, X. Liu. 2023. CRISPR-Cas9-mediated editing of SOS1 enhances salinity tolerance in pistachio rootstocks. *Plant Biotechnology Journal* 21(4): 789-801.
22. Zhou, M., Y. Wang, L. Zhang, C. Li, J. Xu, S. Liu, Q. Zhao, W. Sun, J. Li and H. Zhang. 2023. Mechanisms of salt tolerance in horticultural crops: Recent advances and perspectives. *Plant Physiology and Biochemistry* 184: 1-15