J. Crop Prod. Process. 2026, 16(1), 1-18; DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

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

Hamid Alipour[1] 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 serach 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.razavinasab@areeo.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

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.

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۱، صص. ۱۸-۱، DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی

صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

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 به‌منظور اثر شوری بر ویژگی‌های ریخت شناسی جمعیت‌های بذری دورگه‌های پسته، چهار ژنوتیپ ماده مقاوم به شوری (ابراهیمی، بادامی زرند، سیف الدینی و سرخس)، چهار ژنوتیپ ماده حساس به شوری (کله قوچی، رضایی زودرس، ممتاز و فندقی)، دو ژنوتیپ نر مقاوم به شوری (m_{15}, m_{16}) و دو ژنوتیپ نر حساس به شوری (m_2,m_3) به‌عنوان والد در نظر گرفته شد. تلاقی‌های بین آنها به‌صورت 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 بذر 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:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

مقدمه

پسته اهلی (*Pistacia vera* L.) به‌دلیل برخورداری از سازوکارهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی کارآمد، تحمل قابل‌توجهی 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) درنتیجه، 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).

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، ٤۲ 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 طویل‌شدن 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 ٤۵ 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 به‌ترتیب ٦۰ و ٤۵ 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 (۱٤)، شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ٤۰ 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 نه‌تنها بر ارزش بازارپسندی محصول تأثیر می‌گذارد، بلکه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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 ریخت شناسی، 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

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 نسبتا مقاوم به شوری (ابراهیمی، بادامی زرند، سیف الدینی و سرخس)، چهار رقم ماده حساس به شوری (کله قوچی، رضایی زودرس، ممتاز و فندقی)، 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 نسبتا 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 به‌صورت گرده افشانی مصنوعی انجام شد و ۱۶ هیبرید از این تلاقی‌ها به‌دست 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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

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

(شکل۱). 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 نظرجمع آوری و در آزمایشگاه پژوهشکده پسته کشور (رفسنجان) به مدت حدود ۱۲ تا ۲۰ 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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

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 ٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٤٠ درصد تا زمان کشت (فروردین ١٤٠٠) 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 ٢٤ ساعت در آب معمولی در دمای اتاق قرار داده شدند.

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 تقریبا ۲ تا ۳ میلی‌متر به‌عنوان ملاک جوانه‌زنی در نظر گرفته شد.

بذور جوانه زده در آزمایشگاه، در فروردین سال ١٤٠٠ 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 گلدان های بدون زهکش پلاستیکی ریخته شد و بذور جوانه زده جمعیت‌های بذری دورگه‌ها در داخل گلدان‌ها گشت 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

جدول۱. ویژگی‌های فیزیکو 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	۷/٦	۰/۳	۰/۰٤	۸/۵	۱۸۰	لوم شنی

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 ١٦ 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 ١٤ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور فرعی (١٦ جمعیت‌های بذری دورگه پسته) در ١٤٤ گلدان انجام شد. شوری‌های آب با سطوح هفت و ١٤ دسی‌زیمنس بر متر با اضافه نمودن کلرید سدیم خالص به آب مقطر حاصل شد.

مرحله سوم: برداشت نهال ها، اندازه گیری صفات و تجزیه های آماری

پس از پایان آزمایش، برداشت نهال‌ها در اوایل تیرماه ١٤٠٠ 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 اندازه گیری کامل 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 *m_{16} و ابراهیمی * m_{15} وسیفی الدینی * m_{16} و سیف الدینی * m_{15} و ممتاز *m_3) که همگی در شوری سطح صفر بودند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. بیشترین طول نهال به (فندقی * m_2) در تیمار صفر شوری تعلق داشت. بیشترین درصد نهال زنده هم در ترکیب (سیف الدینی * m_{15}) در شوری ١٤ دسی‌زیمنس بر متر بود.

جدول٤ نشان داد که تیمار استفاده از آب مقطر جهت آبیاری نهال‌ها دارای بیشترین مقادیر و تیمار شوری ١٤ 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 (٤٦/١ درصد)، وزن تر ریشه(٣٦/٢ درصد) کاهش و طول خشکیدگی از نوک ساقه (٦٤/٣ درصد) و درصد نهال

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده

		میانگین مربعات									
منابع 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	٦/۳٦	۱/٦۷	۸/۳۱	۰/۰۵	۵/۲۱	۰/۹۵	۰/۷۲	۰/۰۲
شوری(A)	۲	٤۹/۵**	۹/۸٦*	۳۲/۸*	۲۳/۱*	۲۷٦**	۲/٤۷*	۹٦/۲**	۵۱/۱**	۰/۰٦ns	۰/۰۰۵ns
خطا (a)	٤	۰/۷۸	۰/۵۵	٤/۲۲	۱/۳۲	۱۲/۱	۰/۱٤	۱/۸۱	۲/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۰۷
رقم (B)	۱۵	٦/۰۳**	۲/۱٦**	۱۱/۷ **	۳/۰۰**	۹۱/۸**	۰/۲۰ns	٤/۷۳ns	۳/۹۳ns	۰/۷٦**	۰/۰۵**
شوری* رقم (AB)	۳۰	۰/۸۱ns	۰/۲۸ns	۲/۲٦ns	۰/٦۲*	۱٦/٦٤*	۰/۲۲ns	۵/۷۳**	٤/۵۲ns	۰/۱۱ns	۰/۰۰۷ns
خطا (b)	۹۰	۰/٦۵	۰/۲۳	۱/٤٦	۰/۳۸	۹/۹۷	۰/۲۲	۲/۸۹	٤/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات		۳۳/۲	۳۳/۱	۳۰/۸	۳۳/٤	۲۳/۲	۵۱/۹	۱۹/۱	۲۸/۱	۱۹/۷	۱۰/٦

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns :عدم معنی‌دار

نیمه خشک (۹۲ درصد) افزایش نشان داد. لازم به ذکر است که شـــوری بر دو ویژگی طول دمبرگ و قطر دمبرگ معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اگرچه شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور معنی‌داری صـفات رشـدی را در مقایسـه با شـاهد کاهش داد، اما افزایش شـــوری از ۷ به ۱٤ دســی‌زیمنس بر متر تاثیر معنی‌دار اضافه‌ای بر روی صفات ذکر شده نداشت. این امر می‌تولند حاکی از ایجاد بخش عمده‌ای از خســـارت رشـــد در همان آستانه شوری ۷ دسی‌زیمنس بر متر باشد.

جدول آنالیز واریانس عناصـر موجود در ریشـه، سـاقه و برگ نشـــان می‌دهد اثر شـــوری، رقم و اثر متقابل شـــوری و رقم بر غلظت عناصر در ساقه، ریشه و برگ معنی‌دار بود (جدول۵).

اثر متقابل جمعیت‌های بذری دورگه و شوری بر ٤ ویژگی غلظت پتاسیم ساقه، منیزیم ساقه، سدیم ریشه و منیزیم برگ معنی‌دار بود (جدول ٦).

داده‌های جدول ٦ نشان داد بیشترین پتاسیم ساقه به ترکیب (سرخس * m_{15}) بدون اختلاف معنی‌دار با سایر میانگین‌ها به‌دست آمد. بیشترین منیزیم ساقه متعلق به این گروه بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بود: (فندقی *m_2) در شوری ۷، (ابراهیمی * m_{16}) در شوری ۱٤، (بادامی زرند * m_{16}) در شوری ۱٤ و (بادامی زرند * m_{15}) در شوری ۱٤ دسی‌زیمنس بر متر.

بیشترین سدیم ریشه متعلق به ٤ جمعیت بذری دورگه در شوری ۱٤ دسی‌زیمنس بر متر بود که با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند: (رضایی * m_2)، (ممتاز * m_2)، (کله قوچی * m_3) و (بادامی زرند * m_{15}).

بیشترین منیزیم برگ هم بدون اختلاف آماری معنی‌دار به این گروه از جمعیت‌های بذری دورگه و شوری تعلق گرفت : (رضایی *m_3) و (فندقی * m_3) در شوری ۱٤ (کله قوچی * m_3) و (رضایی * m_2) در شوری ۷ و (سرخس * m_{16})، (ممتاز * m_3)، (فندقی * m_2) و (فندقی *m_3) در شوری صفر.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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

شوری	جمعیت بذری دورگه	وزن خشک ریشه (گرم)	ارتفاع نهال (سانتی‌متر)	نهال زنده (درصد)
۰	ابراهیمی * m16	۳/۷۰^{abc}	۱٤/٥٧^{fgh}	۰/۷۰^{gh}
	ابراهیمی * m15	٤/۰۷^{a}	۱۲/٥۳^{ijk}	۰/۷۰^{gh}
	بادامی زرند * m16	۳/۳۳^{bcd}	۱۳/٦۷^{hij}	۰/۷۰^{gh}
	بادامی زرند * m15	۲/۷۷^{def}	۱٥/۸۷^{def}	۰/۷۰^{gh}
	سیف الدینی * m16	۳/۷۰^{abc}	۱۳/٤۰^{hij}	۰/۷۰^{gh}
	سیف الدینی * m15	۲/۳۰^{efg}	۱٤/٥۷^{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$^{i-l}$	۱٤/۰۷^{ghi}	۰/۷۰^{gh}
	کله قوچی * m3	۲/۲۰^{fgh}	۲۲/۳۳^{bc}	۰/۷۰^{gh}
	رضایی * m2	۱/۹۷^{hij}	۲۳/٦۷^{b}	۰/۷۰^{gh}
	رضایی * m3	۲/۰۰^{hij}	۲٤/۰۰^{b}	۰/۷۰^{gh}
	ممتاز * m2	۲/۸۳^{cde}	۱۷/٥۷^{de}	۰/۷۰^{gh}
	ممتاز * m3	۳/۹۳^{ab}	۱٦/٤۳^{ef}	۰/۷۰^{gh}
	فندقی * m2	۲/۱۰^{ghi}	۲٥/۷۳^{a}	۰/۷۰^{gh}
	فندقی * m3	۲/۸۷^{cde}	۱٦/۸۷^{de}	۰/۷۰^{gh}
۷	ابراهیمی * m16	۲/۳۳^{ghi}	۱۰/۲۰^{lmn}	۰/۷۰^{gh}
	ابراهیمی * m15	۲/٥۷^{efg}	۱۱/٥۰^{klm}	۰/۷۰^{gh}
	بادامی زرند * m16	۲/۳۷^{fgh}	۱۰/۲۰^{lmn}	۰/۷۰^{gh}
	بادامی زرند * m15	۲/۱۳^{hij}	۱۱/۰۰^{klm}	۰/۷۰^{gh}
	سیف الدینی * m16	۲/۷٦^{def}	۱٤/۲۷^{ghi}	۱/۲۸^{def}
	سیف الدینی * m15	۱/٥۷$^{k-n}$	۱۰/٤۳^{lmn}	۰/۷۰^{gh}
	سرخس * m16	۰/۷۳$^{o-r}$	٥/۷۰^{s}	۱/۰٥^{fg}
	سرخس * m15	۱/٤۰$^{l-o}$	۸/٦۰^{pqr}	۱/۱٤^{ef}
	کله قوچی * m2	۱/۱۳$^{m-p}$	۱۱/۸۳^{jkl}	۱/۰٥^{fg}
	کله قوچی * m3	۱/٦۳^{jklm}	۱۳/۲۷^{hij}	۰/۷۰^{gh}
	رضایی * m2	۱/۱۳$^{m-p}$	۱۳/۱۷^{hij}	۰/۷۰^{gh}
	رضایی * m3	۰/۹۷$^{n-q}$	۱۳/٥۰^{hij}	۰/۷۰^{gh}
	ممتاز * m2	۲/٤۰^{fgh}	۱٤/۸۳^{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}	۱٤/٤۳^{ghi}	۰/۷۰^{gh}

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

ادامه جدول ۳

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

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 دامنه‌ایی دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ٤. مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده (شاخص های 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	۳/٦ ^{a}	۱/۹۵ ^{a}	٤/۷ ^{a}	۰/۷ ^{b}	۰ ^{b}
۷	۲/۵ ^{b}	۱/۳۸ ^{b}	۳/۹ ^{ab}	۰/۸۵ ^{b}	٤/۵ ^{b}
۱٤	۱/٦ ^{c}	۱/۰۵ ^{b}	۳/۰ ^{b}	۱/۱۵ ^{a}	۱۵/٦ ^{a}

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

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. به‌طوری‌که بیشترین غلظت سدیم ساقه و سدیم برگ به سطوح شوری ۷ و ١٤ دسی‌زیمنس بر متر بدون اختلاف 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 ١٤ دسی‌زیمنس بر متر اختلافی مشاهده نشد. پتاسیم برگ ٤٨/۳ درصد و کلسیم برگ ۱۱/۳ درصد با شوری کاهش یافتند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

جدول۵. تجزیه واریانس عناصر اندازه گیری شده

		میانگین مربعات										
	df	سدیم ساقه	پتاسیم ساقه	کلسیم ساقه	منیزیم ساقه	سدیم ریشه	پتاسیم ریشه	کلسیم ریشه	منیزیم ریشه	سدیم برگ	پتاسیم برگ	کلسیم برگ	منیزیم برگ
تکرار	۲	۰/۰۰۹	۰/۰۳۰	٤/٥٩٧	۰/۰۷۱	۰/۰۲۹	۱/٤۹۳	۲۹/۷۲	۲/۳٤۷	۰/۰۰۹	۲/٤۲٤	۱٥/۳۳	۰/۰۲۲
شوری	۲	۰/۱٥٥*	۰/۳۱۸*	٦/۲۷۱ns	۰/۱۸۹ ns	۰/۱۱٥**	۰/٤۲٥ns	۱۷/۱۸ns	۰/۳۳۲ ns	۰/۱٥۱*	۱۱/۷۱*	۲۹/٦۳**	۰/۲۹۸*
خطا	٤	۰/۰۱۲	۰/۰۳۱	۱/۷۸٤	۰/۱۲۷	۰/۰۰٦	۰/۷۷۹	۷/۸۰٤	۰/۲۸٥	۰/۰۱۰	۱/٦۰۱	۳/٤۸۸	۰/۰۸۳
رقم	۱٥	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۸٤ ns	۰/٦۲۸ns	۰/۰۷۰ ns	۰/۰۰۲ *	۰/۱٤ ns	۰/٥۳ ns	۰/۲۰٥ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/٦۳**	۰/۲۹۷ ns	۰/۲۲*
شوری*رقم	۳۰	۰/۰۰۲ ns	۰/۱۸۱**	۰/٤۳ ns	۰/۰۹٥**	۰/۰۰۳*	۰/۱۷ ns	۰/۷۳ ns	۰/۱٦۳ ns	۰/۰۰۲ ns	۰/۳۲ ns	۰/٥۸۳ ns	۰/۲۰*
خطا	۹۰	۰/۰۰۲	۰/۰٦٤	۰/۳٥٥	۰/۰٤۸	۰/۰۰۱	۰/۱٥۱	۰/٦۳٥	۰/۱۳۹	۰/۰۰۲	۰/۲٦۱	۰/٤٥۰	۰/۱۱۸
ضریب تغییرات		٤۲/٥٦	۲۸/٥٦	۲۸/۸۱	۳٥/۳۲	۳٤/٥۸	٤٥/۷٦	۳۰/۱۳	٤۱/۱۱	٤۱/۸٤	٤۳/٦۲	۲۳/۲٤	۳۹/۰۰

** : معنی‌داری در سطح ۱٪، * : معنی‌داری در سطح ۵٪ و ns: عدم معنی‌داری

جدول ٦.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)
۰	ابراهیمی * m16	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/٥٦۷^{cde}	۰/۱۰۷^{fgh}	۰/۷۰۰^{efg}
	ابراهیمی * m15	۰/۹۳۳$^{c-g}$	۰/٦۳۳$^{b-e}$	۰/۰٦۰^{ijk}	۰/۹٦۷$^{c-f}$
	بادامی زرند * m16	۰/۸۳۳$^{d-g}$	۰/٤۳۳^{de}	۰/۰٦۰^{ijk}	۱/۱۰۱$^{b-e}$
	بادامی زرند * m15	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/۳۳۳^{e}	۰/۰٥۷^{jk}	۰/۷٦۷$^{d-g}$
	سیف الدینی * m16	۰/۹۰۰$^{c-g}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۰٥۷^{jk}	۰/۸۰۰$^{d-g}$
	سیف الدینی * m15	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/٤۳۳^{de}	۰/۰٥۰^{k}	۰/۹٦۷$^{c-f}$
	سرخس * m16	۰/۷۰۰^{fg}	۰/٤۳۳^{de}	۰/۰٦۰^{ijk}	۱/۲۳$^{a-d}$
	سرخس * m15	۲/۰۳۱^{a}	۰/۷۳۳$^{a-e}$	۰/۰٦۷$^{h-k}$	۰/۸٦۷$^{c-g}$
	کله قوچی * m2	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/۸۳۳$^{a-d}$	۰/۰٦۳$^{h-k}$	۱/۱۳۲$^{b-e}$
	کله قوچی * m3	۰/٤٦۷^{g}	۰/٥٦۷^{cde}	۰/۰٥۰^{k}	۰/۰۷۰^{efg}
	رضایی * m2	۱/۰۳۰$^{b-e}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۰٦۳$^{h-k}$	۰/۸۰۰$^{d-g}$
	رضایی * m3	۰/٦٦۷^{efg}	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۱۲۷$^{d-g}$	۰/۹۰۰$^{c-g}$
	ممتاز * m2	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/٥۰۰^{cde}	۰/۰۷۰$^{j-k}$	۰/۹۰۰$^{c-g}$
	ممتاز * m3	۱/۰۳۳$^{b-e}$	۰/٦۳۳$^{b-e}$	۰/۰۹۰$^{e-h}$	۱/۲۷۱^{abc}
	فندقی * m2	۱/۰۳۲$^{b-e}$	۰/٦۳۳$^{b-e}$	۰/۰۷۷$^{f-j}$	۱/۱۷۲$^{a-d}$
	فندقی * m3	۱/۰۳۱$^{b-e}$	۰/٥۰۰^{cde}	۰/۰٥۳^{jk}	۱/۳۰۱^{ab}
۷	ابراهیمی * m16	۰/۹٦۷$^{b-g}$	۰/۷۳۳$^{a-e}$	۰/۱۲۰$^{e-h}$	۰/۹۰۰$^{c-g}$
	ابراهیمی * m15	۰/۸۰۰$^{d-g}$	۰/٦۳۳$^{b-e}$	۰/۱۳۳$^{d-g}$	۰/۷۳۳$^{d-g}$
	بادامی زرند * m16	۱/۰۰۰$^{b-f}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۱۰۷^{fgh}	۰/۸۳۳$^{c-g}$
	بادامی زرند * m15	۰/۸٦۷$^{c-g}$	۰/٤٦۷^{de}	۰/۱۰۷^{fgh}	۰/۹۳۳$^{c-f}$
	سیف الدینی * m16	۰/۹۳۳$^{c-g}$	۰/۷٦۷$^{a-e}$	۰/۰۸۷$^{e-i}$	۰/٤٦۷^{g}
	سیف الدینی * m15	۰/۹۳۳$^{c-g}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۱۲۳$^{d-h}$	۰/۸۰۰$^{d-g}$
	سرخس * m16	۱/۰۰۱$^{b-f}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۰٥۳^{jk}	۰/۷۰۰^{efg}
	سرخس * m15	۰/٥۳۳^{fg}	۰/٥٦۷^{cde}	۰/۱۱۰$^{e-h}$	۰/٦٦۷^{efg}
	کله قوچی * m2	۰/٤٦۷^{g}	۰/٥٦۷^{cde}	۰/۰۷۷$^{f-j}$	۱/۰۳۱$^{b-f}$
	کله قوچی * m3	۰/٦۰۰^{efg}	۰/۹۰۰^{ab}	۰/۱۳۰$^{d-g}$	۱/۱۷۲$^{a-d}$
	رضایی * m2	۰/۷٦۷$^{d-g}$	۰/٤۰۰^{e}	۰/۰٦۰^{ijk}	۱/۲۳۱$^{a-d}$
	رضایی * m3	۰/۸۰۰$^{d-g}$	۰/٦٦۷$^{b-e}$	۰/۰۸۰$^{f-j}$	۰/۸۳۳$^{c-g}$
	ممتاز * m2	۰/۸۰۰$^{d-g}$	۰/٥۳۳^{cde}	۰/۱۰۷^{fgh}	۰/۹۰۰$^{c-g}$
	ممتاز * m3	۰/۹۰۰$^{c-g}$	۰/۸۳۳$^{a-d}$	۰/۰۹۰$^{e-h}$	۰/٥۰۰^{fg}
	فندقی * m2	۰/۸٦۷$^{c-g}$	۰/۹٦۷^{a}	۰/۰۷۷$^{f-j}$	۰/۷۳۳$^{d-g}$
	فندقی * m3	۰/٦٦۷^{efg}	۰/٦۳۳$^{b-e}$	۰/۱۱۳$^{e-h}$	۰/۹۰۰$^{c-g}$

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

ادامه جدول ٦

١٤	ابراهیمی ❋ m16	٠/٧٦٧$^{d-g}$	١/٠٠^{a}	٠/١١٠$^{e-h}$	٠/٨٣٣$^{c-g}$
	ابراهیمی ❋ m15	٠/٩٦٧$^{b-g}$	٠/٧٦٧$^{a-e}$	٠/١٠٧^{fgh}	٠/٦٦٧^{efg}
	بادامی زرند ❋ m16	٠/٩٦٧$^{b-g}$	١/٠٠٠^{a}	٠/١٧٧^{bcd}	٠/٩٠٠$^{c-g}$
	بادامی زرند ❋ m15	٠/٩٣٣$^{c-g}$	١/٠٠٠^{a}	٠/١٩٠^{abc}	٠/٥٣٣^{fg}
	سیف الدینی ❋ m16	١/٠٣$^{b-e}$	٠/٧٦٧$^{a-e}$	٠/١٨٠^{bcd}	٠/٦٦٧^{efg}
	سیف الدینی ❋ m15	٠/٨٦٧$^{c-g}$	٠/٦٣٣$^{b-e}$	٠/١٦٧^{cde}	٠/٥٠٠^{fg}
	سرخس ❋ m16	٠/٩٠٠$^{c-g}$	٠/٦٠٠^{cde}	٠/١١٠$^{e-h}$	٠/٩٦٧$^{c-f}$
	سرخس ❋ m15	٠/٦٣٣^{efg}	٠/٩٣٣^{ab}	٠/١١٠$^{e-h}$	٠/٩٠٠$^{c-g}$
	کله قوچی ❋ m2	٠/٨٣٣$^{d-g}$	٠/٦٣٣$^{b-e}$	٠/١٦٠$^{c-f}$	١/٠٠٠$^{c-f}$
	کله قوچی ❋ m3	١/٠٠٠$^{b-f}$	٠/٤٦٧^{de}	٠/٢٠٠^{ab}	٠/٥٠٠^{fg}
	رضایی ❋ m2	٠/٨٠٠$^{d-g}$	٠/٥٣٣^{cde}	٠/٢٧٠^{a}	٠/٧٠٠^{efg}
	رضایی ❋ m3	٠/٦٣٣^{efg}	٠/٣٦٧^{e}	٠/١٨٠^{bcd}	١/٩٠٢a
	ممتاز ❋ m2	٠/٩٠٠$^{c-g}$	٠/٤٦٧^{de}	٠/٢٠٣^{ab}	٠/٦٠٠^{efg}
	ممتاز ❋ m3	٠/٩٠٠$^{c-g}$	٠/٥٦٧^{cde}	٠/١٣٣$^{d-g}$	٠/٧٣٣$^{d-g}$
	فندقی ❋ m2	٠/٨٦٧$^{c-g}$	٠/٤٣٣^{de}	٠/١٨٠^{bcd}	٠/٧٣٣$^{d-g}$
	فندقی ❋ m3	١/٠٧٢^{bcd}	٠/٦٠٠^{cde}	٠/١٦٠$^{c-f}$	١/٣٠١^{ab}

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 دامنه‌ایی دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

جدول ٧. 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)
٠	٠/٠٤ ^{b}	٠/٠٤ ^{b}	١/٧٤ ^{a}	٣/٧ ^{a}
٧	٠/١٤ ^{a}	٠/١١ ^{a}	٠/٩ ^{b}	٢/٦ ^{b}
١٤	٠/١٤ ^{a}	٠/١٤ ^{a}	٠/٨٧ ^{b}	٢/٢ ^{b}

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

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که تنش شوری تأثیر قابل‌توجهی بر کلیه شاخص‌های رشدی دورگه‌های پسته دارد، اما درجه این تأثیر به‌طور معنی‌داری بین دورگه‌های مختلف متفاوت بود. کاهش ٥٥–٤٦ درصد در وزن خشک ساقه و ریشه تحت شوری ١٤دسی‌زیمنس بر متر که در این مطالعه مشاهده شد، از یک سو با گزارش‌های قبلی مبنی بر کاهش ٤٢–٣٥ درصد در ارقام حساس پسته همسو است (٩)، اما از سوی دیگر، نوآوری اصلی تحقیق حاضر در شناسایی دامنه وسیع تنوع ژنتیکی (از ٢٠ تا ٦٠ 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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

هیبریدهای پسته	نسبت سدیم به پتاسیم		
	ساقه	ریشه	برگ
ابراهیمی* m_{15}	۰/۱۱ ab	۰/۰۹ b	۰/۱۱ a
ابراهیمی* m_{16}	۰/۱۲ ab	۰/۱۲ ab	۰/۰۹ a
بادامی زرند* m_{15}	۰/۱۲ ab	۰/۱۳ ab	۰/۰۸ a
بادامی زرند* m_{16}	۰/۱ ab	۰/۱۳ ab	۰/۰۷ a
سیف الدینی* m_{15}	۰/۱ ab	۰/۱۱ ab	۰/۰۸ a
سیف الدینی* m_{16}	۰/۱۱ ab	۰/۱۵ a	۰/۰۶ a
سرخس* m_{15}	۰/۱ ab	۰/۰۹ b	۰/۱ a
سرخس* m_{16}	۰/۱۳ a	۰/۱۲ ab	۰/۱ a
کله قوچی * m_2	۰/۱۶ a	۰/۱۴ a	۰/۰۵ a
کله قوچی * m_3	۰/۱۳ a	۰/۱۲ ab	۰/۰۶ a
رضایی * m_2	۰/۰۸ b	۰/۱۴ a	۰/۰۶ a
رضایی * m_3	۰/۱۱ ab	۰/۱۲ ab	۰/۰۹ a
ممتاز * m_2	۰/۱۲ ab	۰/۱۵ a	۰/۰۸ a
ممتاز * m_3	۰/۱۱ ab	۰/۱۱ ab	۰/۱ a
فندقی * m_2	۰/۰۹ b	۰/۱۲ ab	۰/۱ a
فندقی * m_3	۰/۰۸ b	۰/۱۳ ab	۰/۰۶ a

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 دامنه‌ایی دانکن دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

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*m_2) توانایی قابل‌توجهی در محدود کردن انتقال سدیم به اندام‌های هوایی داشتند، درحالی‌که دورگه‌های حساس مانند (کله قوچی * m_2) 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 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*m_2) توانست تحت شرایط شوری شدید، غلظت پتاسیم برگ را در سطح ۰/۸۷ درصد حفظ کند، درحالی‌که این مقدار در دورگه حساس (کله قوچی*m_2) به ۰/۵۰ درصد کاهش یافت. این یافته با مطالعات چن و همکاران (۶) که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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 دورگه های 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 قابل‌توجهی 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 فیزیولوژیک 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

٤ .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 ۱٦ دورگه مورد بررسی، واکنش‌های ریخت شناسی و فیزیولوژیک 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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 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.

منابع

1. 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.
2. Alipour, H., S. Ghasemi, M. Sadeghi and A. Naderi. 2021. Ion homeostasis and photosynthetic performance of pistachio under salinity. *Agricultural Water Management* 245: 106583.
3. Alipour, H., S. Ghasemi, M. Sadeghi and A. Naderi. 2022. Rootstock selection for saline environments: Lessons from pistachio. *Agricultural Water Management* 271: 107798.
4. 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).
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Ferguson, L., R. Beede, M. Freeman, D. Haviland, B. Holtz and C. Kallsen. 2005. Pistachio Production Manual. University of California, California.
9. Ghasemi, M., M. Rahemi, V. Tavallali and H. Rahnama. 2022. Morpho-physiological responses of pistachio genotypes to salinity stress. *Scientia Horticulturae* 295: 110855.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]

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 ExperimentalBotany* 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-13]

[DOI: 10.47176/jcpp.16.1.38762]