Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Effects of Salinity on Antioxidant Enzymes and some Morphophysiological Traits of Two Interspecies Hybrid Pistachio Rootstocks

Elahe Mirabi[1], Esmaeil Seifi[*2], Hossein Hokmabadi[3]

1. Ph.D. Student, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: elahemirabi977@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: esmaeilseifi@gau.ac.ir
3. Associate Prof., Semnan Center of Agricultural Research, Education and Extension, Semnan, Iran. E-mail: hokmabah@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.06.2023
Revised: 12.13.2023
Accepted: 12.19.2023

Keywords:
Arota,
Catalase,
Peroxidase,
Phenol,
Pistacia

ABSTRACT

Background and Objectives: Abiotic stresses, such as salinity, are recognized as one of the foremost threats to agricultural security. Given the strategic significance of pistachios as a valuable crop and the notable rise in soil salinity levels in Iran, this research aims to examine the impact of salinity stress induced by sodium chloride on antioxidant enzymes and various morphophysiological traits. Specifically, the study compares two interspecific and promising pistachio hybrids, Arota 1 and Arota 2, with their parent species Atlantica (*P. atlantica*) and Integerrima (*P. integerrima*).

Materials and Methods: The experiment was conducted in the year 2021 at the research greenhouse of the Agricultural Organization in Shahrood city and the laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. It followed a factorial experiment in frame of a completely randomized design with three replications on one-year-old seedlings. The first factor involved salinity stress at three levels (zero, 100, and 200 mM sodium chloride), while the second factor consisted of four different rootstocks (Arota 1, Arota 2, Atlantica, and Integerrima). The Arota rootstocks were obtained through controlled crossbreeding, with Atlantica serving as the female parent and Integerrima as the male parent. Salt stress was applied for a duration of 90 days, after which antioxidant enzymes and morphophysiological traits were measured.

Results: The findings demonstrate that salinity stress leads to a decrease in rootstock height, with Arota 2 exhibiting the lowest percentage of decline. The sodium content of all four rootstocks increased as salinity levels rose, with Arota 2 recording the lowest concentration of sodium (5.06 mg g^{-1} of DW) in the control treatment. The highest potassium content (21.77 mg g^{-1} DW) was observed in the control and in Arota 1. The highest concentrations of total anthocyanin and total phenol were recorded at salinity levels of 200 µM and in Arota 1 and 2. The highest amount of leaf proline (5.07 µg g^{-1} FW) was observed at a salinity level of 200 µM and in Arota 1. Antioxidant enzyme activity was more pronounced in Arota genotypes under extreme stress conditions, with Arota 2 exhibiting the lowest malondialdehyde level (31.13 nmol g^{-1} FW) in stress conditions.

Conclusion: In conclusion, the findings of this study indicated that the Atlantic rootstock displayed susceptibility and performed poorly under

stress conditions, as evidenced by various traits. On the other hand, the promising genotypes of Arota exhibited superior performance in most traits compared to their parent species, demonstrating their resilience in stressful conditions. The Arota rootstocks emerged as the most tolerant genotypes to salinity stress, underscoring the significance of identifying and utilizing tolerant genotypes to mitigate the impact of abiotic stresses, such as salinity, on sustainable agricultural production.

Cite this article: Mirabi, Elahe, Seifi, Esmaeil, Hokmabadi, Hossein. 2024. Effects of Salinity on Antioxidant Enzymes and some Morphophysiological Traits of Two Interspecies Hybrid Pistachio Rootstocks. *Journal of Plant Production Research,* 31 (1), 213-229.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21976.3097
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

اثر شوری بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک در دو پایه دورگ بین‌گونه‌ای پسته

الهه میرابی[۱]، اسماعیل سیفی*[۲]، حسین حکم‌آبادی[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: elahemirabi977@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: esmaeilseifi@gau.ac.ir

۳. دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: hokmabah@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۸

واژه‌های کلیدی:
آروتا،
پراکسیداز،
فنول،
کاتالاز،
Pistacia

چکیده

سابقه و هدف: تنش‌های غیرزیستی مانند شوری یکی از مهم‌ترین تهدیدات در زمینه امنیت کشاورزی به حساب می‌آیند. با توجه به اهمیت محصول پسته (*Pistacia vera* L.) به‌عنوان محصولی راهبردی و افزایش قابل‌توجه شوری خاک در ایران، این پژوهش با هدف بررسی اثرات تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک در دو پایه دورگ بین‌گونه‌ای و امیدبخش پسته (آروتا ۱ و آروتا ۲) در مقایسه با والدین آن‌ها آتلانتیکا (*P. atlantica*) و اینتگریما (*P. integerrima*) انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در گلخانه پژوهشی جهاد کشاورزی شاهرود و آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار روی نهال‌های یک‌ساله بذری صورت گرفت. فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم پایه در چهار سطح (آروتا ۱، آروتا ۲، آتلانتیکا و اینتگریما) بودند. پایه‌های آروتا حاصل تلاقی کنترل‌شده بین پایه‌های آتلانتیکا به عنوان والد ماده و اینتگریما به عنوان والد نر بودند. تنش شوری به مدت ۹۰ روز اعمال شد و سپس فعالیت آنتی‌اکسیدانی و صفات مورفوفیزیولوژیک اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری ارتفاع پایه‌ها کاهش یافت و کم‌ترین درصد کاهش ارتفاع در پایه آروتا ۲ مشاهده شد. با افزایش شوری محتوای سدیم برگ در هر چهار پایه افزایش یافت و کم‌ترین میزان تجمع سدیم (۵/۰۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ) در

تیمار شوری صفر و در پایه آروتا ۲ بود. بیش‌ترین میزان پتاسیم برگ (۲۱/۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) در شرایط تیمار شوری صفر و در پایه آروتا ۱ مشاهده گردید. بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین کل و فنول کل در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در هر دو پایه آروتا ۱ و آروتا ۲ دیده شد و بین این دو پایه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیش‌ترین مقدار پرولین برگ (۵/۰۷ میکروگرم بر گرم وزن تر) نیز در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و در پایه آروتا ۱ مشاهده گردید. میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شدید و در پایه‌های آروتا ۱ و آروتا ۲ بیش‌تر بود. کم‌ترین مقدار مالون‌دی‌آلدهید (۳۱/۱۳ نانومول بر گرم وزن تر) در شرایط تنش مربوط به پایه آروتا ۲ بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش پایه آتلانتیکا در شرایط تنش و در اغلب صفات عملکرد مناسبی نداشت. هم‌چنین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش پایه‌های امیدبخش آروتا ۱ و ۲ در اغلب صفات موفق‌تر از والدین خود عمل کرده و کارایی بهتری داشتند؛ بنابراین این پایه‌ها به عنوان متحمل‌ترین پایه‌ها نسبت به شوری معرفی می‌گردند.

استناد: میرابی، الهه، سیفی، اسماعیل، حکم‌آبادی، حسین (۱۴۰۳). اثر شوری بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک در دو پایه دورگ بین‌گونه‌ای پسته. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۱ (۱)، ۲۲۹-۲۱۳.
DOI: 10.22069/JOPP.2023.21976.3097

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) درختی نیمه‌گرمسیری و خزان‌دار متعلق به خانواده Anacardiaceae است. در بین گونه‌های مختلف این جنس، تنها *P. vera* دارای میوه اقتصادی می‌باشد. این محصول آجیلی منبع غنی از مواد مغذی و معدنی، پروتئین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها است (۱). پسته در مناطق گرم و خشک خاورمیانه، کشورهای مدیترانه و ایالات‌متحده پرورش داده می‌شود. ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان پسته می‌باشد (۲).

یکی از عوامل مؤثر بر کاهش عملکرد گیاهان، تنش‌های محیطی است که حدود ۵۰ درصد از عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. از این میزان، کاهش عملکرد در اثر تنش شوری ۲۱ درصد برآورد شده است. در حال حاضر، حجم قابل‌توجهی از منابع آبی جهان متأثر از شوری می‌باشد (۳). علاوه بر تأثیر مستقیم شوری بر گیاهان، تنش اکسایشی در اثر تجمع بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) حاصل می‌شود (٤). در ایران، عمده اراضی زیر کشت پسته در حاشیه کویر قرار دارند و یکی از مشکلات عمده این اراضی شوری خاک و آب است که رشد و عملکرد گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۵).

شوری سرعت تنفس ریشه‌ها را افزایش می‌دهد و گیاهان در محیط شور برای تنفس نیاز به قند بیشتری دارند. بیست‌وپنج درصد کاهش رشد ناشی از شوری مربوط به افزایش تنفس ریشه است که به‌وسیله نمک تحریک می‌شود، بقیه به کاهش فتوسنتز نسبت داده شده است (٦). گیاهان در فرآیند تکاملی خود چندین راهبرد مبتنی بر سیستم آنتی‌اکسیدانی را جهت پاک‌سازی این ترکیبات سمی در خود به وجود آورده‌اند؛ بنابراین افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تحمل آن‌ها را در برابر عوامل مختلف تنش‌زا افزایش خواهد داد (۷). از جمله روش‌های مقابله مؤثر در برابر اثرات مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، از جمله مهم‌ترین این آنزیم‌ها کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، می‌باشند (۸).

پایه‌های اهلی پسته به عنوان پایه متداول در اغلب باغ‌های پسته کشور کشت می‌شوند؛ اما در سال‌های اخیر با توجه به حساسیت این پایه‌ها به گموز، ورتیسیلیوم و نماتد مولد غده استفاده از آن با مشکلاتی همراه شده که لزوم مطالعه روی پایه‌های جدید را افزایش می‌دهد. با توجه به این‌که درختان پسته از طریق پیوند تکثیر می‌شوند، استفاده از پایه‌های مناسب متحمل به تنش‌های محیطی، از جمله شوری، اهمیت ویژه‌ای دارد؛ بنابراین، این پژوهش با هدف مقایسه پایه‌های امیدبخش پسته به منظور یافتن متحمل‌ترین پایه نسبت به تنش شوری انجام شد و در آن فعالیت آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بررسی شدند.

مواد و روش‌ها

معرفی پروژه: این پژوهش در سال ١٤٠٠ در گلخانه‌ای در شهرستان شاهرود و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل بر پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول تنش شوری در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و فاکتور دوم پایه در چهار سطح (آروتا ۱، آروتا ۲، آتلانتیکا و اینتگریما) بودند. نام آروتا از شرکت‌های دانش‌بنیانی که اجرای تلاقی را به‌عهده داشتند (آرزوی بهار و تات) گرفته شده است. برای تولید پایه‌های آروتا، ۲۲۲ تلاقی کنترل‌شده با ۳ تکرار بین ۳۷ درخت ماده آتلانتیکا و ٦ درخت نر اینتگریما انجام گرفت. ٦٦٦ دورگ حاصل از تلاقی‌ها بررسی شده و از بین آن‌ها ١٦

دورگ برتر از نظر قدرت جوانه‌زنی بذر، سرعت رشد و یکنواختی انتخاب گردید. از بین آن‌ها، آروتا ۱ و آروتا ۲ ویژگی‌های رشدی مطلوب‌تری داشته و به‌منظور بررسی مقاومت به شوری انتخاب شدند.

اعمال تیمارها: در اسفند، پایه‌های بذری یک‌ساله از نهالستان شرکت زیست‌فناوری ایتاصدرای قزوین خریداری و به گلخانه منتقل شدند. گلدان‌های ۱۰ کیلویی حاوی مخلوط خاک زراعی و ماسه آماده‌شده و هر گلدان یک نهال کشت شد. طبق نتایج تجزیه خاک، بافت آن شنی- لومی با شوری معادل ۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر و pH معادل ۷/۳ بود. به‌منظور تولید برگ کافی، دانهال‌ها تا پایان خرداد در گلخانه نگهداری شدند و طی این مدت هر ده روز یک‌بار با محلول کودی (N: P: K: 20: 20: 20) به‌ازای هر نهال یک گرم در لیتر آبیاری شدند. اعمال تیمارهای شوری در اول تیر و پس از رشد کامل برگ‌ها آغاز شد. بدین‌منظور، از نمک کلرید سدیم خالص آزمایشگاهی استفاده شد. تیمار شوری در سه سطح ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (به‌ترتیب معادل (۲/۱، ۹/۱ و ۱۹/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به مدت ۹۰ روز اعمال شد. برای جلوگیری از بروز شوک نمکی و پلاسمولیز در نهال‌ها، غلظت محلول نمک به‌تدریج افزایش یافت و پس از گذشت دو هفته به غلظت نهایی رسید. هم‌چنین پس از هر سه مرتبه آبیاری زه‌آب تعدادی از گلدان‌ها به‌طور تصادفی جمع‌آوری و هدایت الکتریکی و pH آن‌ها اندازه‌گیری شد. چنان‌چه شوری زه‌آب گلدان‌ها از شوری محلول تیمار بالاتر بود، آبشویی گلدان‌ها با محلولی با شوری پایین‌تر انجام گرفت.

اندازه‌گیری صفات: در پایان آزمایش، ارتفاع نهال‌ها با متر اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر گزارش شد. برای سنجش سدیم و پتاسیم برگ ۰/۲ گرم ماده خشک در کوره چینی با دمای ۵۸۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤ ساعت حرارت داده شد و خاکستر حاصل با ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک شستشو داده شد تا کاتیون‌ها آزاد شوند و سپس عصاره از کاغذ صافی عبور داده شد. به‌منظور اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم‌فتومتر و منحنی استاندارد استفاده گردید (۹).

برای سنجش میزان آنتوسیانین کل از روش نوگوس و بیکر (۲۰۰۰) استفاده شد (۱۰). مقدار ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ با ۳ میلی‌لیتر متانول اسیدی شامل متانول و اسید کلریدریک به نسبت ۹۹ به ۱ هموژن شد. هموژن حاصل به مدت ٢٤ ساعت در دمای ٦ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. جذب عصاره حاصل پس از ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ در ٤۰۰۰ دور در دو طول موج ۵۳۰ و ٦۵۷ نانومتر قرائت گردید.

برای اندازه‌گیری پرولین از روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد (۱۳). ۰/۵ گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ساییده شده و سانتریفوژ گردید. سپس دو میلی‌لیتر از عصاره حاصل با نین هیدرین و اسید استیک خالص مخلوط شده و در حمام آب گرم قرار گرفت. سپس با تولوین مخلوط شده و جذب نور فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد.

فنول کل با روش فولین سیوکالتو اندازه‌گیری شد (۱۱). بر طبق این روش، در لوله آزمایش با ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره اتانولی با محلول استاندارد اسید گالیک (غلظت ۲۵-۳۰۰ میکروگرم)، ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیکالتو (رقیق شده با آب مقطر به نسبت ۱ به ٤۰) و ۰/٤ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه و مخلوط شد. بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای آزمایشگاه، جذب نوری توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷٦۵ نانومتر قرائت شد.

اندازه‌گیری آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با توجه به روش جاپینسکا و

همکاران (۲۰۰۸) انجام شد (۱٤). مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم برگ پودر شده در نیتروژن مایع با ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات خیلی سرد (۵۰ میلی‌مولار و pH معادل ۷/۵) حاوی ۵۰ میلی‌مولار EDTA و پلی وینیل پیرولیدین ۱ درصد هموژنیزه شده و محلول همگن شده برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد و ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. شناور شفاف به‌دست آمده برای تعیین فعالیت آنزیم‌ها به‌کار رفت. سپس فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (۱۵)، سوپراکسید دیسموتاز (۱٦) و کاتالاز (۱۷) اندازه‌گیری شد.

مقدار مالون‌دی‌آلدهید به روش دو و براملیگ (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد (۱۲). برای این منظور، ۰/۲۵ گرم بافت برگ با تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد هموژن گردید. هموژن حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. از فاز بالایی برای سنجش میزان پراکسیداسیون استفاده گردید. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ٤٤۰، ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر قرائت شد. میزان پراکسیداسیون لیپیدها بر اساس مقدار مالون دی‌آلدهید موجود در عصاره طبق رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$LP\ (nmol/ml) = [[(A532-A600) -[(A440\times A600)\ (MA)]]/155000] \times 10^6 \quad (۱)$$

که در این رابطه، LP مقدار مالون‌دی‌آلدئید بر حسب نانومول بر میلی‌لیتر و MA جذب مولی ساکارز در غلظت‌های ۱ تا ۱۰ میلی‌مولار در ۵۳۲ و ٤٤۰ نانومتر است.

تجزیه داده‌ها: برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ استفاده گردید. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات متقابل شوری و پایه بر ارتفاع نهال، مقدار سدیم برگ و مقدار پتاسیم برگ در سطح احتمال ۱ درصد و بر مقدار پرولین، کاتالاز و پراکسیداز برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود؛ بنابراین، در این صفات اثرات متقابل مقایسه میانگین خواهند شد. اثرات ساده شوری و پایه بر تمام صفات فوق‌الذکر نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در صفات آنتوسیانین کل، فنول کل، سوپراکسید دیسموتاز و مالون‌دی آلدهید، اثرات متقابل معنی‌دار نبود و اثرات ساده شوری و پایه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود؛ بنابراین، در این صفات اثرات ساده مقایسه میانگین خواهند شد.

مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که در هر چهار پایه با افزایش تنش شوری از میزان ارتفاع نهال کاسته و کم‌ترین میزان ارتفاع نهال در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. تنش شوری شدید (۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) باعث کاهش ارتفاع نهال در پایه آتلانتیکا به میزان ۱۳/۵۲ درصد، در پایه اینتگریما به میزان ۱٤/۰۹ درصد، در پایه آروتا ۱ به‌میزان ۹/۲٦ درصد و در پایه آروتا ۲ به میزان ۷/۸۷ درصد گردید. تنش شوری ممکن است با کاهش فشار تورژسانس در گیاه و در نتیجه کاهش رشد و نمو بیش‌تر سلول، ریشه، اندام هوایی و برگ را کاهش دهد (۱۸). در ارقام مختلف بامیه نیز، تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ و طول میان‌گره و ارتفاع شد (۱۹)، که با نتایج این پژوهش سازگار است.

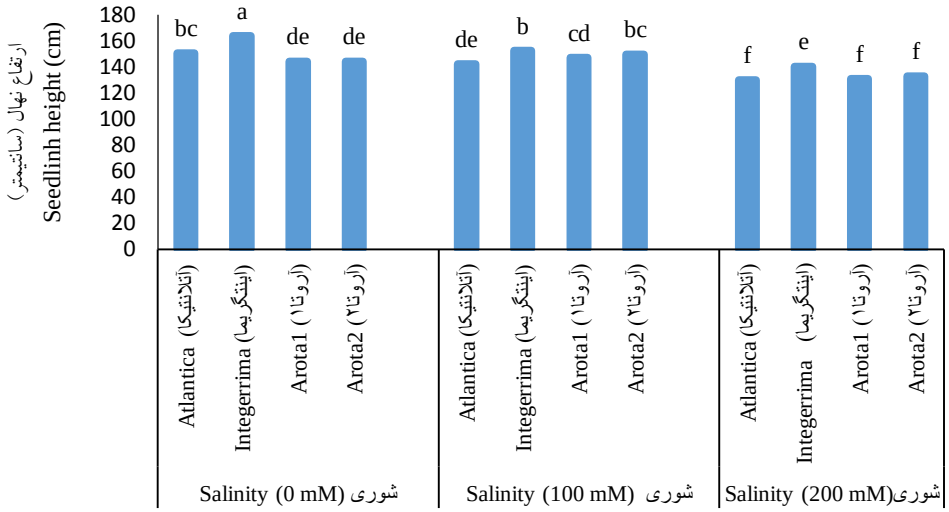
جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر شوری و پایه بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک در چهار پایه پسته.

Table 1. Analysis of variance of the effect of salinity and rootstock on morphophysiological traits of four pistachio rootstocks.

منبع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares				
		ارتفاع نهال Seedling height	سدیم Sodium	پتاسیم Potassium	پرولین Proline	آنتوسیانین کل Total anthocyanin
شوری Salinity	2	1026.86**	273.84**	132.07**	1518.36**	5.94**
پایه Rootstock	3	270.32**	8.45**	9.34**	223.79**	0.29**
شوری × پایه Salinity × Rootstock	6	50.71**	2.45**	0.92**	52.16*	0.02ns
خطا Error	2	8.088	0.449	0.04	9.931	0.058
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		1.97	4.205	2.32	9.47	13.21
		فنول کل Total phenol	کاتالاز Catalase	سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	پراکسیداز Peroxidase	مالون‌دی‌آلدهید Malondialdehyde
شوری Salinity	2	7.27**	1792.25**	1.69**	4.01**	2.19**
پایه Rootstock	3	0.8**	183.56**	0.72**	0.77**	0.14**
شوری × پایه Salinity × Rootstock	6	0.002ns	8.62*	0.02ns	0.25*	0.08ns
خطا Error	2	0.025	6.95	0.029	0.068	0.007
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.95	7.09	8.44	13.8	5.25

** و * به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. ns عدم تفاوت معنی‌دار

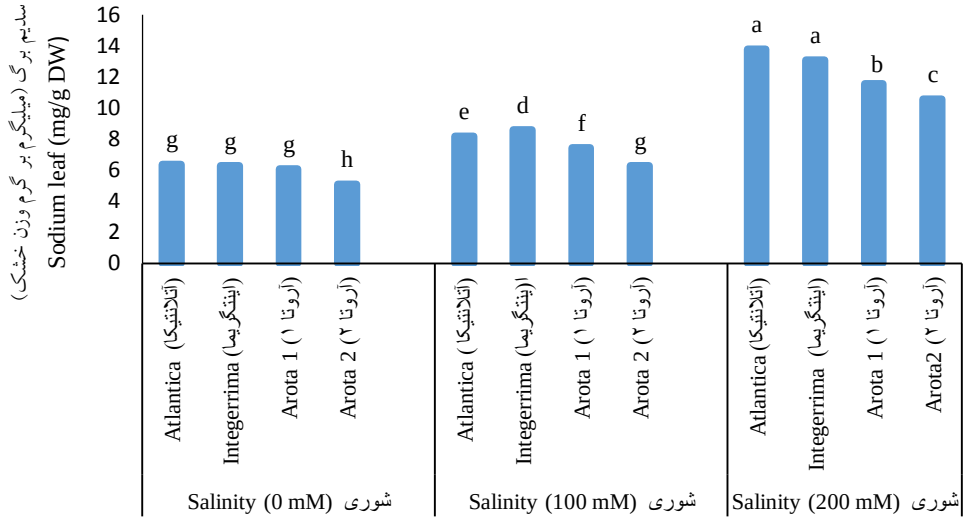
**, * Significant difference at 1 and 5% probability level, respectively. ns no significant difference



شکل ۱- اثر متقابل شوری و پایه بر ارتفاع نهال در چهار پایه پسته.

Fig. 1. Interaction effect of salinity and rootstock on seedling height of four pistachio rootstocks.

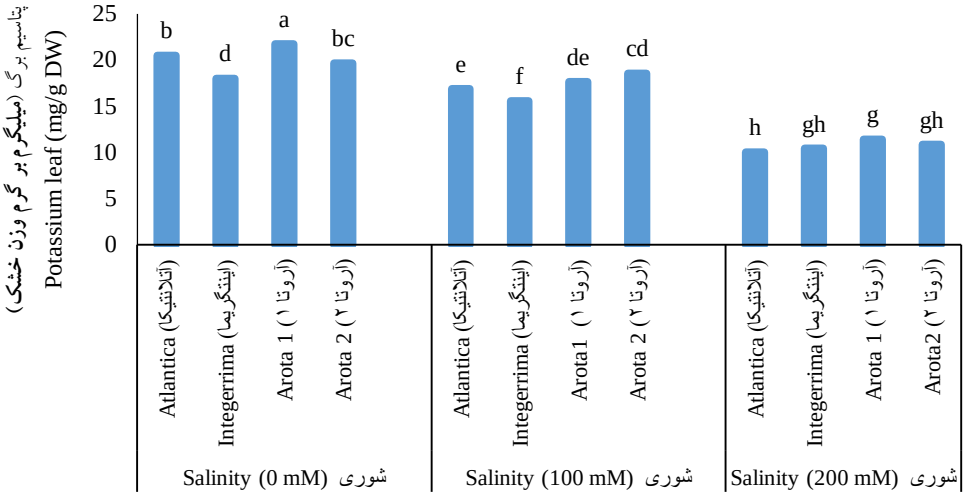
بیش‌ترین سدیم برگ در پایه آتلانتیکا و اینتگریما در تیمار شوری ۲۰۰ میلی‌مولار بود (شکل ۲). هم‌چنین در تنش شدید کم‌ترین تجمع سدیم در پایه آروتا ۲ مشاهده شد. در تیمار شوری صفر میلی‌مولار میزان سدیم برگ آروتا ۲ نسبت به سایر پایه‌ها کم‌تر بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین در شرایط تنش شوری پایه آروتا ۲ و سپس آروتا ۱ تجمع کم‌تری از سدیم برگ را نشان دادند. سدیم یک یون سمی اولیه است که با تداخل در جذب پتاسیم و بر هم زدن تنظیم روزنه‌ای، در نهایت باعث از دست دادن آب و نکروزه شدن می‌شود (۲۰). عوامل مختلفی مانند سطح شوری، ترکیب پایه و پیوندک، ترکیب و اجزا یونی خاک در تجمع سدیم دخالت دارند. در سطوح مختلف شوری، میزان تحمل و قدرت دفع پایه‌های مختلف می‌تواند اثرگذار باشد و برخی پایه‌ها می‌توانند از ورود سدیم اضافی به درون بافت‌های خود جلوگیری کنند (۲۱). یون سدیم برای متابولیسم سلولی سمی است و بر فعالیت برخی آنزیم‌ها اثر می‌گذارد. غلظت بالای یون سدیم سبب بر هم خوردن تعادل اسمزی و ساختار غشا و ممانعت از تقسیم سلولی می‌گردد (۲۲). میزان بالای سدیم می‌تواند باعث آسیب به هدایت هیدرولیکی یا نفوذپذیری بافت به آب و جابجایی پتاسیم در مکان‌های تبادلی شود، بنابراین شانس بقای گیاه کاهش می‌یابد (۲۳). با توجه به این‌که تحمل به شوری با میزان سدیم در برگ همبستگی منفی دارد (۲٤)، به‌نظر می‌رسد که مکانیسم دفع سدیم در پایه‌های امیدبخش آروتا قوی‌تر عمل کرده و مقاومت این پایه‌ها به شوری بیش‌تر است.



شکل ۲- اثر متقابل شوری و پایه بر میزان سدیم برگ در چهار پایه پسته.

Fig. 2. Interaction effect of salinity and rootstock on leaf sodium content of four pistachio rootstocks.

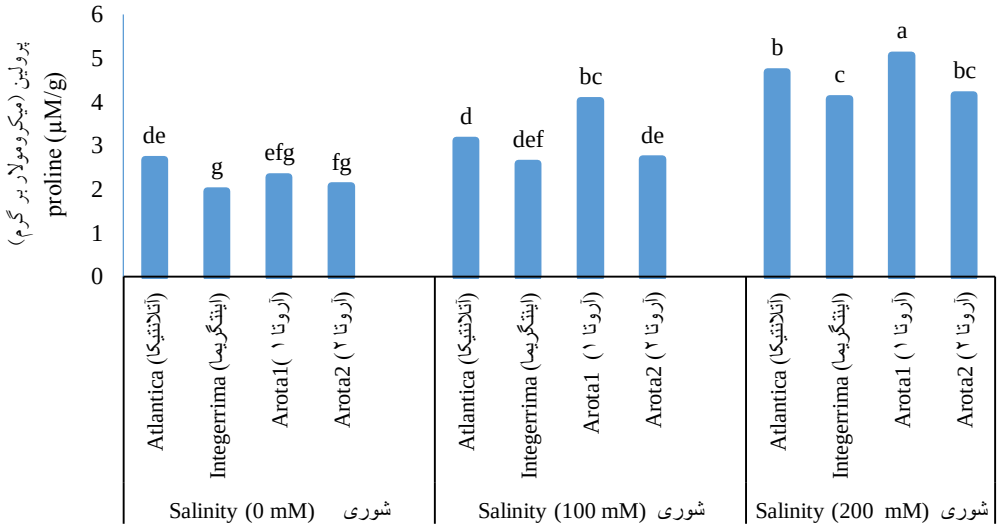
با افزایش تنش شوری از میزان پتاسیم برگ در هر چهار پایه کاسته شد (شکل ۳). تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت به تیمار شاهد باعث کاهش پتاسیم برگ به میزان ۵۱/۱٤ درصد در پایه آتلانتیکا، ٤۲/۱۱ درصد در پایه اینتگریما، ٤۷/۵۸ درصد در پایه آروتا ۱ و ٤٤/۸۹ درصد در پایه آروتا ۲ گردید. کاهش جذب و تجمع پتاسیم در تیمارهای تحت تنش شوری، از جمله عوامل مهم محدودکننده رشد گیاه محسوب می‌شود، زیرا این عنصر نقش اساسی در بسیاری از فرآیندهای گیاهی ایفا می‌کند (۲۵). افزایش شوری همراه با افزایش سدیم و کاهش پتاسیم باعث کاهش پتانسیل اسمزی آب شده و گیاه مجبور به صرف انرژی بیش‌تر جهت جذب عناصر ضروری خود می‌گردد. آدیش و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که گیاهانی که توانایی بیش‌تری در جذب عناصر ضروری در شرایط شور دارند، تحمل بهتری نسبت به تنش شوری نشان می‌دهند (۲٦).



شکل ۳- اثر متقابل شوری و پایه بر میزان پتاسیم برگ در چهار پایه پسته.

Fig. 3. Interaction effect of salinity and rootstock on leaf potassium content of four pistachio rootstocks.

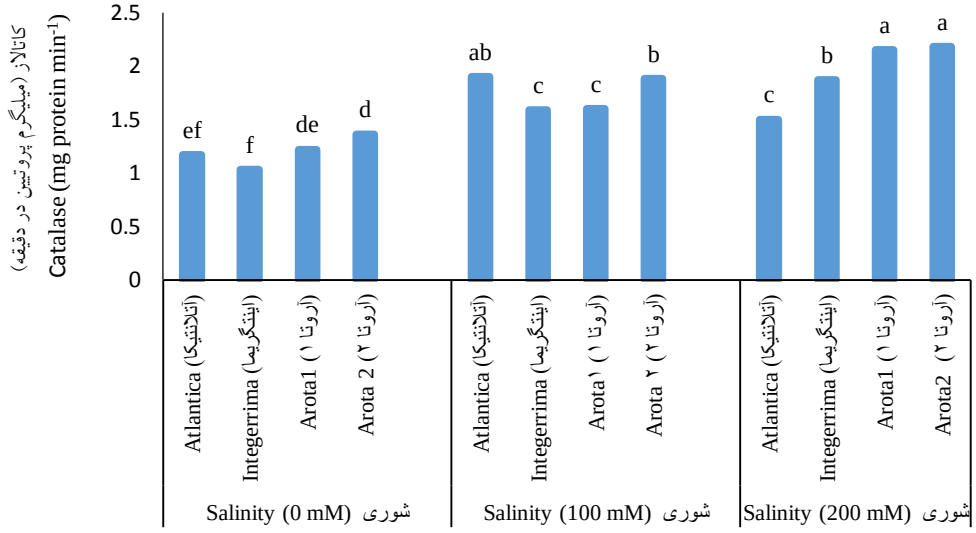
در هر چهار پایه تحت بررسی، افزایش تنش شوری با افزایش میزان پرولین همراه بود. در تیمار شاهد بیش‌ترین میزان پرولین مربوط به پایه آتلانتیکا بود، اما در تنش شوری شدید (۲۰۰ میلی‌مولار) بیش‌ترین میزان پرولین در پایه آروتا ۱ و کم‌ترین میزان آن در پایه اینتگریما مشاهده شد (شکل ٤). تجمع پرولین در پایه‌هایی که تحمل بیش‌تری به شوری دارند یک مکانیسم دفاعی برای مقابله و تحمل به تنش می‌باشد (۲۷). افزایش سطح پرولین تحت تنش شوری به این دلیل است که پرولین اسمولیت سازگاری است که اکسیژن‌های آزاد تولیدشده در طول تنش‌های محیطی را حذف و از مولکول‌های بزرگ حفاظت می‌نماید (۲۸). پرولین هم‌چنین با بیان پروتئین‌های درگیر در تنش شوری، باعث ارتقای سازگاری گیاهان به این تنش غیرزیستی می‌شود (۲۹).



شکل ٤- اثر متقابل شوری و پایه بر میزان پرولین برگ در چهار پایه پسته.

Fig. 4. Interaction effect of salinity and rootstock on leaf proline content of four pistachio rootstocks.

در هر چهار پایه با افزایش تنش شوری بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز افزوده شد. در پایه آتلانتیکا با افزایش تنش از سطح متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار) به شدید (۲۰۰ میلی‌مولار) از میزان فعالیت این آنزیم کاسته شد و بیش‌ترین مقدار آن در تنش شوری متوسط مشاهده شد (شکل ٥). در پایه‌های اینتگریما، آروتا ۱ و آروتا ۲ بیش‌ترین میزان فعالیت آنزیم در تنش شوری شدید حاصل شد. در پایه آروتا ۲، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در تنش شدید نسبت به تیمار شاهد ۳۷/٦۱ درصد بیش‌تر بود، ولی اختلاف معنی‌داری با پایه آروتا ۱ نداشت.

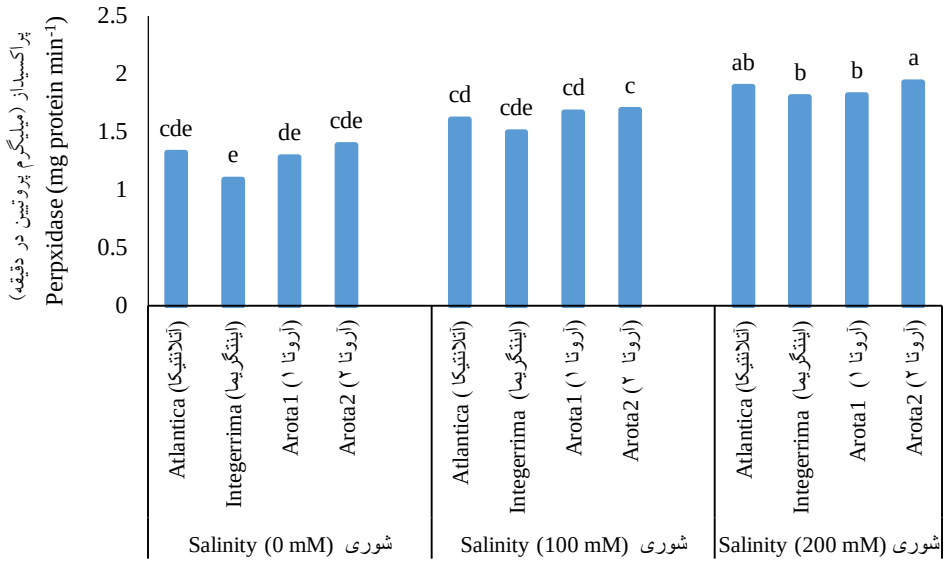


شکل ۵- اثر متقابل شوری و پایه بر فعالیت آنزیم کاتالاز در چهار پایه پسته.

Fig. 5. Interaction effect of salinity and rootstock on catalase enzyme activity of four pistachio rootstocks.

از مهم‌ترین تغییرات ایجادشده در گیاهان تحت تنش تجمع گونه‌های اکسیژن فعال است که در متابولیسم‌های سلولی تولیدشده و در غیاب مکانیسم‌های محافظتی می‌توانند واکنش‌های طبیعی سلول را مختل کنند. گیاهان برای مقابله با تنش شوری مکانیسم‌های متفاوتی دارند که از جمله می‌توان به تجمع اسمولیت‌هایی مثل قندهای احیا و پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اشاره کرد (۳۵). نتیجه پژوهش حاضر با نتایج باقرزاده و همکاران (۲۰۱۶) و کامیاب و همکاران (۲۰۱٤) روی پسته مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش شوری همخوانی داشت (۳٦ و ۳۷). وقتی گیاه در معرض تنش‌های نامطلوب، از جمله شوری، قرار می‌گیرد، میزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش می‌یابد. آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیرآنزیمی هر دو در از بین بردن اثرات سو این رادیکال‌ها نقش دارند. با کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز در پایه آتلانتیکا در شرایط تنش چنین به‌نظر می‌رسد که فرآیند انهدام H_2O_2 در این پایه از کارایی کم‌تری برخوردار است.

در هر چهار پایه تحت بررسی، با افزایش میزان شوری فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت (شکل ٦). بیش‌ترین میزان فعالیت این آنزیم در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و در پایه آروتا ۲ و کم‌ترین میزان فعالیت آن در تیمار شوری صفر و در پایه اینتگریما مشاهده شد. به‌طورکلی فعالیت آنزیم مذکور در پایه آروتا ۲ در تمام سطوح تنش بیش‌تر از پایه‌های دیگر بود. افزایش در فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تنش شوری در گیاهان مختلف مشاهده شده است و طبق نتایج تعدادی از این پژوهش‌ها، در رقم‌های متحمل‌تر و در سطوح بالای شوری، فعالیت آنزیم مذکور بیش‌تر است (۳۸). با توجه به نقش آنزیم پراکسیداز در حذف پراکسید هیدروژن و جلوگیری از تنش اکسیداسیونی، افزایش فعالیت این آنزیم باعث کاهش اثرات منفی ناشی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و مقاومت بهتری به تنش در پایه‌ها ایجاد می‌کند.



شکل ٦- اثر متقابل شوری و پایه بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در چهار پایه پسته.

Fig. 6. Interaction effect of salinity and rootstock on peroxidase enzyme activity of four pistachio rootstocks.

با افزایش تنش شوری تا سطح متوسط (۱۰۰ میلی‌مولار) بر میزان آنتوسیانین برگ افزوده شد، اما با افزایش میزان تنش به سطح ۲۰۰ میلی‌مولار از میزان آنتوسیانین اندکی کاسته شد (جدول ۲). نتایج بررسی‌های بهزادی راد (۲۰۲۲) نشان داد که با اعمال تنش شوری بر میزان محتوای آنتوسیانین پایه‌های پسته افزوده شد و آنتوسیانین به عنوان یک اسمولیت از هدر رفتن آب سلول جلوگیری می‌کند (۳۰). آنتوسیانین علاوه بر این‌که به عنوان یک ضداکسایش عمل می‌کند به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمز نیز عمل می‌کند. سمیت یون‌های سدیم و کلر می‌تواند سنتز و تجمع آنتوسیانین را مهار کند؛ بنابراین، تجمع آنتوسیانین با مقاومت گیاه به نمک مرتبط است (۳۱). در این پژوهش محتوای آنتوسیانین برگ در پایه‌های آروتا ۱ و ۲ بیش‌تر از دو پایه دیگر بود.

با افزایش تنش شوری بر میزان محتوای فنول برگ افزوده شد (جدول ۲). هم‌چنین بیش‌ترین میزان فنول در پایه آروتا ۱ (۲/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین آن در پایه اینتگریما (۱/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. تقویت متابولیسم فنول از جمله پاسخ‌ها به تنش غیرزیستی محسوب می‌شود (۳۲). ترکیبات فنولی ترکیباتی با خاصیت ضداکسایشی شناخته شده و دارای قابلیت بالای دفع رادیکال می‌باشند که با تجمع در بافت گیاه تحت تنش شوری، مانع آسیب تنش اکسیداتیو می‌شوند (۳۳). ترکیبات فنولی جزو مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه هستند که در گیاهان تحت تنش شوری تولید می‌شوند، تولید این ترکیبات در اثر شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است. ترکیبات فنولی با دادن الکترون به آنزیم‌های پراکسیداز و سمیت‌زدایی از آن‌ها می‌تواند در سلول به عنوان یک ضداکسایش قوی عمل کنند (۳٤).

جدول ۲- اثرات ساده تنش شوری و پایه بر برخی صفات فیزیولوژیک در چهار پایه پسته.

Table 2. Simple effects of salinity and rootstock on some physiological traits of four pistachio rootstocks.

تیمار Traits	آنتوسیانین کل (میکرومول بر گرم وزن تر) Total anthocyanin (μmol g^{-1} FW)	فنول کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total phenol (mg g^{-1} FW)	سوپراکسید دیسموتاز (میلی‌گرم پروتئین در دقیقه) Superoxide dismutase (mg protein min^{-1})	مالون‌دی‌آلدهید (نانومول برگرم وزن تر) Malondialdehyde (nmol g^{-1} FW)
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)				
0	1.263[c]	1.652[c]	1.731[c]	26.924[c]
100	2.395[a]	2.037[b]	1.923[b]	33.87[b]
200	2.031[b]	3.151[a]	2.456[a]	50.69[a]
پایه Rootstock				
آتلانتیکا Atlantica	1.75[b]	2.12[b]	1.70[c]	38.77[b]
اینتگریما Integerrima	1.56[b]	1.93[c]	1.90[b]	41.87[a]
آروتا ۱ Arota 1	2.04[a]	2.55[a]	2.20[a]	36.86[b]
آروتا ۲ Arota 2	2.22[a]	2.50[a]	2.32[a]	31.13[c]

در هر تیمار از یک ستون، حروف مختلف تفاوت معنی‌دار (در سطح احتمال ۱ درصد، LSD) را نشان می‌دهند

In each treatment of a column, different letters indicate significant difference (at 1% probability level, LSD)

با افزایش تنش شوری بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزوده شد و بیش‌ترین میزان فعالیت آن در پایه‌های آروتا ۱ و آروتا ۲ مشاهده شد (جدول ۲). پایه‌های اینتگریما و آتلانتیکا به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز که در شرایط تنش افزایش می‌یابد، اولین آنزیمی است که در چرخه آنتی‌اکسیدانی فعال می‌گردد (۳۹). این آنزیم به عنوان اولین خط دفاعی سیستم آنتی‌اکسیدانی در مقابل فرم‌های مولکولی فعال اکسیژن عمل می‌کند و موجب تبدیل رادیکال‌های آزاد به H_2O_2 می‌شود. در ادامه H_2O_2 به آب و اکسیژن تجزیه می‌گردد که این عمل توسط آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز انجام می‌شود (۴۰).

با افزایش میزان شوری بر مقدار مالون‌دی‌آلدئید افزوده شد. بیش‌ترین مقدار آن (۴۱/۸۷ نانومول بر گرم وزن تر) در پایه اینتگریما به‌دست آمد و کم‌ترین آن (۳۱/۱۳ نانومول بر گرم وزن تر) در پایه آروتا ۲ مشاهده شد. پایه‌های آتلانتیکا و آروتا ۱ اختلاف معنی‌داری از نظر میزان مالون‌دی‌آلدئید نداشتند (جدول ۲). مالون‌دی‌آلدئید محصول پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع در فسفولیپیدها است. از سطح پراکسیداسیون لیپید به‌عنوان نشانه‌ای از حضور رادیکال آزاد مضر در غشاء سلولی تحت شرایط تنش استفاده می‌شود و در تنش شوری از این عامل به‌عنوان معرفی برای میزان صدمات غشا استفاده می‌گردد (۴۱). افزایش تنش شوری در ژنوتیپ‌های متحمل و

فعالیت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی جهت حذف رادیکال‌های آزاد می‌تواند با سرکوب پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید همراه باشد (۴۲).

نتیجه‌گیری کلی

تنش شوری پدیده پیچیده‌ای است که شامل تنش اسمزی، سمیت یونی و کمبود عناصر غذایی می‌باشد و بر سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی در گیاه تأثیر می‌گذارد. بررسی اثرات تنش شوری بر پایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد که در هر چهار پایه کلیه صفات مورد بررسی تحت‌تأثیر تیمار شوری قرار گرفتند. با افزایش تنش شوری از میزان ارتفاع نهال و پتاسیم برگ کاسته شد. محتوای آنتوسیانین کل، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، میزان فنول کل و پرولین، مقدار سدیم برگ و میزان مالون‌دی‌آلدئید با اعمال تنش شوری افزایش یافت. در اغلب صفات مورد بررسی پایه‌های امیدبخش آروتا موفق‌تر عمل کردند. در صفات ارتفاع نهال، محتوای سدیم و پتاسیم برگ و مالون‌دی‌آلدئید پایه آروتا ۲ عملکرد بهتری داشت. در افزایش محتوای فنول کل و آنتوسیانین کل و نیز فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز دو پایه آروتا ۱ و آروتا ۲ تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در افزایش محتوای پرولین، پایه آروتا ۱ کارکرد بهتری داشت. فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط تنش در پایه آروتا ۲ و آتلانتیکا بیش‌تر بود. با توجه به عملکرد بهتر سیستم دفاع ضداکسایشی و نیز تجمع کم‌تر سدیم در برگ‌ها در کنار حفظ پتاسیم بیش‌تر و نیز تخریب کم‌تر غشا سلولی (محتوای مالون‌دی‌آلدئید پایین‌تر) می‌توان بیان کرد که در غربالگری اولیه، پایه‌های آروتا در مقایسه با آتلانتیکا و اینتگریما نسبت به شوری متحمل‌تر بودند.

منابع

1. Raoufi, A., Rahemi, M., Salehi, H. & Pessarakli, M. (2020). *Pistacia vera* L. genotypes; a potetial rival for UCB-1 rootstock for cultivating under salt stress conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, 101515.
2. Shahbazi, S., Kamali, K. & Tajabadi, A. (2021). Optimizing nutrition of pistachio. *Pistacio sience and technology*, 8, 105-119.
3. Ashraf, M. & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
4. Bor, M., Özdemir, F. & Türkan, I. (2003). The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet Beta vulgaris L. and wild beet *Beta maritima* L. *Plant science*, 164(1), 77-84.
5. Farhadi, H., Sharifani, M. M. & Hokmabadi, H. (2021). Investigation of the Effects of Free and Controlled Pollination of Pollen Grains of Domestic and *Integerrima* Species on some Quantitative and Qualitative Characteristics of Pistachio (*Pistachio vera* L.) Fruit of Fandoghi Variety. *Journal of Pistachio Science and Technology*, 5(10), 45-65.
6. Wu, Q. S., Zou, Y. N. & He, X. H. (2010). Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of *citrus* seedlings under salt stress. *Acta physiologiae plantarum*, 32, 297-304.
7. Seday, U., Gulsen, O., Uzun, A. & Toprak, G. (2014). Response of citrus rootstocks to different salinity levels for morphological and antioxidative enzyme activites. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 24(2), 512-520.

8.Giri, B., Kapoor, R. & 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, 753-760.
9.Emami, A. (1983). Methods of plant decomposition. Water and soil research institute. Technical publication. No, 102.
10.Nogues, S. & Baker, N. R. (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *Journal of experimental botany*, 51(348), 1309-1317.
11.McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27, 177-237.
12.Du, Z. & Bramlage, W. J. (1992). Modified thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(9), 1566-1570.
13.Bates, L. S., Waldren, R. A. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
14.Gapińska, M., Skłodowska, M. & Gabara, B. (2008). Effect of short-and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30, 11-18.
15.Silveira, J. A., Silva, S. L., Silva, E. N. & Viégas, R. A. (2010). Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*, 1, 161-18.
16.Masayasu, M. & Hiroshi, Y. (1979). A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica chimica acta*, 92(3), 337-342.
17.Sirousmehr, A., Arbabi, J. & Asgharipour, M. R. (2014). Effect of drought stress levels and organic manures on yield, essential oil content and some morphological characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum*). *Advances in Environmental Biology*, 8(4), 880-885.
18.Khatoon, R., Hossain, M. M., Rahim, M. A., Rahman, M. H. & Akter, L. (2022). Genotypic differences in plant growth responses and ion accumulations to salt stress conditions of sweet gourd (*Cucurbita moschata*). *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2), 373-384.
19.Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P. & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22, 4056-4075.
20.Din, J., Khan, S. U., & Ali, I. (2008). Physiological response of wheat (*Triticum aesitivum* L.) varieties as influenced by salinity stress. *Journal Animal and Plant Science*, 18(4), 125-129.
21.Mittal, S., Kumari, N. & Sharma, V. (2012). Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant physiology and biochemistry*, 54, 17-26.
22.Shiyab, S. M., Shibli, R. A. & Mohammad, M. M. (2003). Influence of sodium chloride salt stress on growth and nutrient acquisition of sour orange in vitro. *Journal of Plant Nutrition*, 26(5), 985-996.
23.Abbaspour, H., Afshari, H. & 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.
24.Bezirğanoğlu, İ. (2017). Response of five triticale genotypes to salt stress in vitro culture. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41(5), 372-380.
25.Flowers, T. J. & Hajibagheri, M. A. (2001). Salinity tolerance in *Hordeum vulgare*: ion concentrations in root cells of cultivars differing in salt tolerance. *Plant and soil*, 231, 1-9.
26.Adish, A., Fekri, M. & Hokmabadi, H. (2010). Response of Badami-Zarand pistachio rootstock to salinity stress. *International Journal of Nuts Related Sciences*. 1, 1-11.

27. Alizadeh, M., Singh, S. K., Patel, V. B., Bhattacharya, R. C. & Yadav, B. P. (2010). In vitro responses of grape rootstocks to NaCl. *Biologia Plantarum*, 54, 381-385.
28. Kao, C. H. (2017). Mechanism of salt tolerance in rice plant: Reactive oxygen species scavenging-systems. *Taiwan Agriculture Resources*, 66 (1), 1-8.
29. Golein, B., Rabiei, V., Mirabbasi, F., Fifaei, R. & Sani, M. H. (2016). Effect of salinity stress on physiological and biochemical traits in citrus genotypes. *Horticultural science*. 29(4), 416-425. [In Persian]
30. Behzadi Rad, P., Roozban, M. R., Karimi, S., Ghahremani, R. & Vahdati, K. (2021). Osmolyte accumulation and sodium compartmentation has a key role in salinity tolerance of pistachios rootstocks. *Agriculture*, 11(8), 708.
31. Nakabayashi, R., Yonekura-Sakakibara, K., Urano, K., Suzuki, M., Yamada, Y., Nishizawa, T. ... & Saito, K. (2014). Enhancement of oxidative and drought tolerance in Arabidopsis by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *The Plant Journal*, 77(3), 367-379.
32. Kumar, S. P. & Kumar, C. V. (2014). Impact of cinnamic acid on physiological and anatomical changes in maize plants (*Zea mays* L.) grown under salinity stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 10(2), 44-54.
33. Barbosa Brito, M. E., da Silva, E. C. B., Fernandes, P. D., dos Santos Soares Filho, W., Filho, M. A. C., da Silva Sa, F. V. ... & Barbosa, R. C. A. (2015). Salt balance in substrate and growth of 'Tahiti' acid lime grafted onto Sunki mandarin hybrids under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 9(10), 954-961.
34. Sai Kachout, S., Ben Mansoura, A. J. C., Leclerc, J. C., Mechergui, R., Rejeb, M. N. & Ouerghi, Z. (2010). Effect of heavy metals on antioxidant activities of *Artiplex Hortensis* and *A. rosea*. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9, 444-457.
35. Abogadallah, G. M. (2010). Insights into the significance of antioxidative defense under salt stress. *Plant signaling & behavior*, 5(4), 369-374.
36. Bagherzadeh, A., Kavisi, H., Khezri, M. & Merzaei, S. (2016). Study of protein expression of Badami sefid and Badami zarand Pistachio rootstocks under salt stress. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 8(3), 16-32.
37. Kamiab, F., Talaie, A., Khezri, M. & Javanshah, A. (2014). Exogenous application of free polyamines enhance salt tolerance of pistachio (*Pistacia vera* L.) seedlings. *Plant Growth Regulation*, 72, 257-268.
38. Neffati, M., Sriti, J., Hamdaoui, G., Kchouk, M. E. & Marzouk, B. (2011). Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts. *Food Chemistry*, 124(1), 221-225.
39. Chakraborty, U. & Pradhan, B. (2012). Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H_2O_2 accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24, 117-130.
40. Gratão, P. L., Polle, A., Lea, P. J. & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional plant biology*, 32(6), 481-494.
41. Tang, N., Zhang, B., Chen, Q., Yang, P., Wang, L. & Qian, B. (2020). Effect of salt stress on photosynthetic and antioxidant characteristics in purslane (*Portulaca oleracea*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 24(5), 1309-1314.
42. Fattahi, M., Shamshiri, M. H. & Esmaeilizade, M. (2014). Evaluation of leaf physiomorphological responses of three pistachio rootstocks inoculated with arbuscular mycorrhizae to salt stress. *Iranian Horticulture*, 15(5), 469-482.