فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۵۹، فروردین و اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۳ صفحه: ۱۲۳-۱۴۳
https://doi.org/10.22034/13.59.123

مقاله پژوهشی

تأثیر فسفیت پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانهال‌های نارنج (*Citrus aurantium* L.) در واکنش به تنش شوری

سارا اترش[۱]، منصوره شمیلی*[۲]، عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی[۱]، آزاده گودرزی[۳] و عبدالنبی باقری[۳]

[۱] گروه علوم باغبانی،دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۲] پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

[۳] بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴)

چکیده

تنش شوری از جمله تنش‌های غیرزیستی محدودکننده رشد مرکبات است. در این راستا اعمال راهکارهای مناسب به‌منظور بهبود صفات رشدی و واکنش آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش شوری می‌تواند مفید باشد. پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. گیاهان نارنج مورد استفاده، دانهال‌های شش ماهه (ارتفاع حدود ۶۰ سانتی‌متر) سالم و عاری از بیماری بودند. تیمارهای آزمایشی شامل شوری آب (۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. نتایج نشان داد که سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک منجر به کاهش تعداد برگ، طول ساقه و حجم ریشه (به‌ترتیب ۴۴/۰۹، ۱۱/۴ و ۳۷/۵ درصد) و سبب افزایش نشت یونی و مالون دی‌آلدئید (به‌ترتیب ۹/۲۳ و ۴۱/۷ درصد) شد. کاربرد فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) در مقایسه با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش تعداد برگ، طول ساقه، حجم ریشه و طول ریشه (به‌ترتیب ۴۳/۵، ۳۴/۴، ۶۷/۲ و ۲۷/۳ درصد) شد. علاوه بر این سبب افزایش محتوای پروتئین و فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، فنیل آلانین آمونیالیاز، گایاکول پراکسیداز و آسکوربیک پراکسیداز (به‌ترتیب ۳۳/۹، ۹۴/۴، ۶/۲۴، ۲۲/۸، ۷۳/۷ و ۹۴/۴ درصد) شد. فسفیت پتاسیم باعث کاهش نشت یونی و مالون دی‌آلدئید (به‌ترتیب ۲۸/۶ و ۲۴/۱۳ درصد) شد. در نهایت، این مطالعه نشان داد که فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) با تحریک سیستم آنتی‌اکسیدانی و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن، باعث بهبود خصوصیات رشدی و تعدیل اثرات مضر تنش شوری در دانهال‌های نارنج می‌شود.

کلمات کلیدی: آنزیم آنتی‌اکسیدان، طول ساقه، فنل، کلرید سدیم، نشت یونی

مقدمه

شور شدن خاک سطحی کشاورزی را محدود ساخته است که بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی و ۳۲ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در سطح جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند (Munns and Tester, 2008). وسعت اراضی خاک‌های شور در کشور حدود ۳۴ میلیون هکتار است که معادل ۲۰

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: shamili@ut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

درصد از مساحت کل کشور است (FAO, 2019). تنش کلرید سدیم با القاء تنش اسمزی و ممانعت از جذب آب در ریشه، باعث کاهش بازده فتوسنتزی برگ‌ها گردیده که متعاقباً ایجاد تنش یونی، بر رشد و عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان تأثیر می‌گذارد (Chen *et al*., 2019). گیاهان برای مقابله با تنش‌های مختلف، سیستم دفاعی آنتی‌آکسیدانی خود را فعال می‌کنند (Azizi *et al*., 2021). تغییرات در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌تواند منعکس‌کننده توانایی حذف گونه‌های اکسیژن فعال تحت تنش در گیاهان باشد (Liang *et al*., 2018; Akter *et al*., 2015). تنش شوری ناشی از کلرور سدیم در درختان زیتون (حسنی و همکاران، ۱۴۰۰)، انار (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۵)، انجیر (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) و سیب (Wang *et al*., 2022) منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. افزایش سنتز و انتقال اسمولیت‌های سازگار در اندام‌های گیاهی از دیگر استراتژی‌های مهم بقا در برابر تنش شوری است (Hossain *et al*., 2020). گیاهان در این شرایط اغلب پرولین، پروتئین و قندهای محلول را برای تعادل اسمزی در سطح سلولی افزایش می‌دهند (Akter *et al*., 2015). در پژوهشی شوری (۲۰۰ میلی‌مولار) منجر به کاهش تعداد برگ، طول ساقه و افزایش میزان فنل در زیتون (*Olea europaea*) شد (پوری و همکاران، ۱۳۹۶).

تنش شوری در مرکبات از طریق تنش اسمزی، سمیت یونی، برهم زدن تعادل یون‌ها و تنش اکسیداتیو سبب کاهش بازده فتوسنتزی برگ‌ها و مانع از رشد رویشی می‌شود (Moya *et al*., 2003). شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در ۱۰ ژنوتیپ مرکبات منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و نشت یونی و نیز کاهش محتوای نسبی آب برگ شد (گلعین و همکاران، ۱۳۹۴). از پاسخ‌های دفاعی مرکبات به تنش شوری، افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربیک پراکسیداز بوده است (Seday *et al*., 2014). نمک ۲۰۰ میلی‌مولار منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاهش محتوای پروتئین در دو پایه سیترنج و نارنج شد (عابدی و همکاران، ۱۴۰۰).

امروزه با پیشرفت‌های کشاورزی پایدار استفاده از ترکیباتی مانند فسفیت پتاسیم (H_2KO_3P) رو به افزایش است (Deliopoulos *et al*., 2010). نمک فسفیت حلالیت زیادی نسبت به نمک فسفات دارد و به بهبود جذب مواد غذایی، آسیمیلاسیون، تحمل به تنش‌های غیرزنده و افزایش رشد ریشه کمک می‌کند (Gomez-Merino and Trejo-Tellez, 2015). کودهای حاوی فسفر و پتاسیم با غلظت مناسب، می‌توانند عملکرد و کیفیت درختان میوه را در شرایط تنش محیطی از جمله شوری به‌طور مؤثر بهبود بخشد. تیمار کود فسفر (۱۶۰۰ میکرومولار) در گیاهان *Isatis cappadocica* منجر به کاهش مالون دی‌آلدئید، نشت یونی و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز شد در حالی‌که فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌ردوکتاز را افزایش داد (Souri *et al*., 2018). مطالعه ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیوی (*Actinidia deliciosa*) تحت تأثیر کاربرد کودهای فسفر و پتاسیم بیانگر افزایش محتوای فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بود (مرادی و رئیسی، ۱۳۹۶). کاربرد کود فسفر (۲/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، سبب بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیمی و افزایش میزان پروتئین در گلابی شد (Ye and Peng, 2019). همچنین کودهای حاوی فسفر و پتاسیم افزایش طول و حجم ریشه و در نهایت بهبود رشد رویشی در پایه پرتقال شده است (Alva *et al*., 2006).

کودهای حاوی فسفر و پتاسیم تأثیر قابل توجهی بر رشد مرکبات و مواد مغذی موجود در خاک دارند (Li *et al*., 2019). کود فسفر موجب کاهش مالون دی‌آلدئید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گریپ‌فروت (*Citrus grandis*) (Meng *et al*., 2021) و افزایش محتوای پروتئین در پرتقال (*Citrus sinensis*) شده است (Li *et al*., 2020). همچنین کود پتاسیم منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Wu *et al*.,

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

2021)، باعث افزایش رشد اندام‌های هوایی، عملکرد و بهبود کیفیت گیاه کیوی شد (Zhao *et al*., 2017).

نارنج (*Citrus aurantium L.*) از تیره Rutaceae، هیبرید بین *Citrus maxima* (Pomelo) و *Citrus reticulata* (Anwar *et al*., 2016)، بومی جنوب شرقی آسیا است که در آب و هوای نیمه‌گرمسیری و گرمسیری رشد می‌کند (Abdel-Wahed *et al*., 2022).

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده تاکنون تحقیقی در زمینه پاسخ گیاهان نارنج به تنش شوری با کاربرد فسفیت پتاسیم انجام نشده است. از آنجا که ارائه راهکار مناسب به‌منظور افزایش تحمل به تنش شوری می‌تواند بر بهبود خصوصیات رشدی و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی این گیاه مؤثر باشد، بنابراین، هدف از این تحقیق، ارزیابی آثار سطوح شوری و تیمار فسفیت پتاسیم بر واکنش‌های موفورلوژیکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اکسیداسیون چربی غشاء سلولی در دانهال‌های نارنج است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها: تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۱ در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان (طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه و ۵۹ ثانیه شمالی) به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. گیاهان نارنج (رقم محلی رودان) مورد استفاده، دانهال‌های شش ماهه (ارتفاع حدود ۶۰ سانتی‌متر) سالم و عاری از بیماری بودند که از یک باغ تجاری در شهرستان رودان (استان هرمزگان) تهیه شد. نهال‌ها در گلدان‌های پلاستیکی (ارتفاع، قطر بالا و قطر پایین به‌ترتیب ۱۹/۵، ۲۳ و ۱۷ سانتی‌متر) دارای زه‌کش کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت نهال‌ها، ترکیب خاک باغچه، خاک‌برگ و ماسه (۱:۱:۱) بود. گیاهان در دمای متوسط روزانه ۲±۲۹ و دمای متوسط شبانه ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۷۴ درصد نگهداری شدند. هشت هفته پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار شوری آغاز شد. نمک مورد استفاده کلرید سدیم (Merck, Germany) در آب‌مقطر حل شد. مقادیر ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر (به‌ترتیب صفر، ۱، ۱/۸ و ۲/۴ گرم نمک NaCl در ۱۳۵۰ سی‌سی آب) به‌عنوان تیمار شوری (از طریق آب آبیاری (۷۰۰ سی‌سی) و هفته‌ای سه بار)، در نظر گرفته شد. با توجه به سطح شوری آب آبیاری منطقه (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر)، تیمار نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر کمترین سطح نمک بود. به‌منظور جلوگیری از تجمع بیش از حد نمک در گلدن‌ها، هر دو هفته یک‌بار آب شویی انجام شد. تیمار شوری، هفت هفته به‌طول انجامید و پس از آن گلدان‌ها تا یک هفته با تیمار شاهد (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری شدند (پشنگه و همکاران، ۱۳۹۹). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰). طی مدت قبل اعمال تیمار، همه گیاهان با محلول غذایی هوگلند (۰/۵ غلظت) تغذیه شدند. فسفیت پتاسیم (H_2KO_3P) مورد استفاده (شماره ثبت کود ۸۳۰۲۷) در این آزمایش محصول شرکت موررا اسپانیا (Spain, Morera) بود. تیمار آبیاری با فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) دو بار (یک هفته قبل از تیمار شوری و سه هفته بعد از شروع تیمار شوری) اعمال شد. گیاهان تیمارشده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و عدم تیمار فسفیت پتاسیم به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اتمام تنش شوری، صفات زیر در گیاهان نارنج ارزیابی شد.

صفات مورفولوژیکی: ویژگی‌های تعداد برگ (شمارش)، طول ساقه و ریشه (خط‌کش)، حجم ریشه (استوانه مدرج حاوی ۲۵۰ میلی‌لیتر آب) ثبت شدند.

سنجش نشت یونی: به‌منظور سنجش نشت یونی، ۰/۵ گرم برگ در لوله‌های آزمایش حاوی ۱۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار داده و به‌مدت ۶۰ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شدند و هدایت الکتریکی (EC_1) ثبت شد. سپس لوله‌های آزمایش به‌مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو قرار داده و پس از خنک شدن، مجدداً هدایت الکتریکی (EC_2) ثبت شد. میزان نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد (Chakrabarty *et al*., 2009).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

$$\text{نشت یونی (درصد)} = \frac{EC_1}{EC_2} \times 100$$

سنجش مالون دی‌آلدئید: به‌منظور سنجش میزان مالون دی‌آلدئید، ۰/۵ گرم برگ در هاون ساییده، به آن ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات (pH=۷) اضافه و سانتریفیوژ (۱۴۰۰۰ دور در دقیقه، ۳۰ دقیقه) شد. سپس به یک میلی‌لیتر از روشناور، یک میلی‌لیتر محلول ترکیبی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیوتیک و اسید تری‌کلرو استیک اسید ۲۰ درصد اضافه شد. محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه ابتدا در حمام آب گرم (۶۵ درجه سانتی‌گراد) و سپس در حمام یخ قرار داده شد. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خونده شد و سپس میزان مالون دی‌آلدئید از رابطه زیر محاسبه شد (Horst and Cakmak,1991).

$$MDA = [\frac{A_{532} - A_{600}}{QD} \times QF)] \times DF$$

که در آن MDA: میزان مالون دی‌آلدئید، QD: قطر کووت، QF: ضریب خاموشی (۱۵۵ میلی‌مولار بر سانتی‌متر) و DF: فاکتور رقت (۲۰) بود.

سنجش پروتئین: به‌منظور استخراج پروتئین، به ۵۰ میلی‌گرم از مواد گیاهی خردشده توسط ازت مایع، ۴۹۵ میکرولیتر محلول بافر استخراج (۴۰ میلی‌مولار بافر تریس و ۶۰ میلی‌مولار دی‌تیوتریتول)، ۵۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل پیرولیدون و پنج میکرولیتر فنیل‌متان سولفونیل فلوراید ۲۰۰ میلی‌مولار افزوده شد و پس از چند ثانیه ورتکس، نمونه‌ها سانتریفیوژ (۸۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۵ دقیقه) شد. آنگاه ۳۰۰ میکرولیتر از فاز رویی با ۹۰۰ مایکرولیتر استون سرد (حاوی ۱۰٪ تری‌کلرو استیک اسید) و ۰/۰۷٪ دی‌تیوتریتول مخلوط و به‌مدت یک شب در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از خشک شدن رسوب، ۱۰۰ مایکرولیتر محلول برادفورد به هر فالکون اضافه شد تا پروتئین‌های استخراج‌شده در این بافر حل شود. سپس تا زمان سنجش پروتئین‌های کل در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Wessel and Flugge, 1984). برای سنجش غلظت پروتئین‌های کل از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. پروتئین آلبومین سرم گاوی (۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش میزان فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: برای تعیین میزان فنل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، یک گرم برگ در هاون ساییده و ۴ میلی‌لیتر حلال استخراج (۸۵ درصد متانول و ۱۵ درصد استیک اسید) اضافه شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) شدند (Bakhshi and Arakawa, 2006).

فنل: برای سنجش فنل، روش فولین- سینگلتون با کمی تغییرات انجام شد (Singleton and Rossi, 1965). میزان ۰/۱ گرم اسید گالیک با متانول به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و به آن محلول ۱۰ درصد فولین و کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه شد و محلول حاصل به‌مدت یک ساعت در تاریکی قرار داده و جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: به منظور سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب DPPH، به ۵۰ میکرولیتر از عصاره، ۹۵۰ میکرولیتر DPPH ۰/۱ نرمال اضافه شده و محلول به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. سپس جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رابطه زیر محاسبه شد (Vakili-Ghartavol and Alizadeh-Salteh, 2016).

$$\%\,DPPH = [(A_{cont} - A_{samp}) / A_{cont}] \times 100$$

که در آن A_{cont}: میزان جذب DPPH و A_{samp}: میزان جذب عصاره بود.

سنجش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز: جهت تهیه عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم برگ با ۵۰۰ میکرولیتر بافر استخراج (تریس ۰/۱۵ میلی‌مولار و pH=۷/۵) و ۵۰ میلی‌گرم پلی‌وینیل پیرولیدون، در هاون چینی ساییده شد و سپس نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۴۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) شدند. محلول روشناور به عنوان عصاره استخراج شده برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): برای سنجش این آنزیم ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، با مخلوط واکنش (بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلو تترازولیوم ۷۵ میلی‌مولار، ریبوفلاوین ۲ میکرومولار و EDTA ۰/۱ میلی‌مولار) به حجم ۳ میلی‌لیتر رسانده شد و نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه زیر نور فلورسنت (۳۵۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه) قرار داده شدند. جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد (Asgari and Diyanat, 2021).

آنزیم کاتالاز (CAT): سنجش فعالیت کاتالاز از روش Aebi (۱۹۸۴) انجام شد. به ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و ۵ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد اضافه شد. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX): برای سنجش این آنزیم، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=۷) ۵۰ میلی‌مولار، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۳۰ درصد، ۳ میکرولیتر محلول گایاکول ۲۰۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شد. جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد (Plewa *et al.*, 1991).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX): به‌منظور تعیین فعالیت این آنزیم، از ۶۰۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۰۰ میکرولیتر آسکوربیک اسید ۰/۱ میلی‌مولار، ۴۰۰ میکرولیتر H_2O_2 ۰/۱ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شد و جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۲۹۰ nm خوانده شد (Sofo *et al.*, 2015).

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO): برای این منظور، ۵۰ میکرولیتر پیروگالول ۱۰۰ میلی‌مولار، ۳ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با هم ترکیب و با گذشت زمان واکنش، روند افزایش در میزان جذب مشاهده شد (Kar and Mishra, 1976). میزان فعالیت آنزیم برحسب مقادیر اکسیدشده پیروگالول در طول‌موج ۴۲۰ نانومتر محاسبه شد.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL): سنجش فعالیت آنزیم از روش karthikeyan و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد. به ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی، یک میلی‌لیتر بافر استخراج و یک میلی‌لیتر L- فنیل آلانین ۱۲ میلی‌مولار اضافه شد. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول‌موج ۲۹۰ nm خوانده شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل سه گلدان) اجرا شد. فاکتورها شامل تنش شوری (۱/۵ (شاهد)، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر) و فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. نرمال بودن داده‌ها با روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. آزمون توکی برای مقایسه میانگین ($P < 0.01, 0.05$) انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS Ver.9.1.3 انجام شد.

نتایج و بحث

اثرات متقابل شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز، پلی‌فنل اکسیداز، طول ساقه، حجم ریشه در سطح ۵ درصد و آنزیم آسکوربیک اسید در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. اثر ساده فسفیت پتاسیم بر تعداد برگ، نشت یونی، مالون دی‌آلدئید، فنل، ظرفیت آنتی‌اکسیدان، گایاکول پراکسیداز در سطح یک درصد و فنیل آلانین آمونیالیاز، سوپراکسید دیسموتاز، طول ریشه، پروتئین در سطح ۵ درصد معنی‌دار شدند. اثر ساده شوری بر تعداد برگ، مالون دی‌آلدئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدان، گایاکول پراکسیداز در سطح ۱ درصد و فنل، فنیل آلانین آمونیالیاز، سوپراکسید دیسموتاز، نشت یونی، پروتئین از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شدند (جدول ۱ و ۲).

طول ساقه: نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین برای طول ساقه نشان داد که با افزایش سطوح شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی نسبت به شاهد در این صفت مشاهده شد ولی کاربرد فسفیت پتاسیم در هر سطح شوری منجر به حفظ بهتر طول ساقه نسبت به گیاهان شاهد شد. تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر فسفیت‌پتاسیم و سطوح شوری بر شاخص‌های مورفولوژیکی نارنج

تیمار	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول ساقه	تعداد برگ	طول ریشه	حجم ریشه
شوری	۳	۱۰۱/۲$^{n.s}$	۴۴۶/۲۵**	۸۲/۶$^{n.s}$	۶۰/۷**
فسفیت‌پتاسیم	۲	۴۸/۲$^{n.s}$	۸۱۹/۰۱**	۳۳۷/۲*	۷۵/۲*
شوری × فسفیت پتاسیم	۶	۲۲۱/۵*	۹/۴۴$^{n.s}$	۴۷/۲$^{n.s}$	۳۰/۶*
خطا	۲۴	۷۸/۱	۷۰/۳۰	۴۹/۹	۱۰/۲
ضریب تغییرات		۱۵/۴	۲۸/۰۲	۲۱/۳	۲۴/۸

****، * و ns به¬ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر سطوح شوری و فسفیت‌پتاسیم بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی نارنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نشت یونی	مالون دی‌آلدئید	فنول	ظرفیت آنتی‌اکسیدان	پروتئین	فنیل آلانین آمونیالیاز
شوری	۳	۱۳۷۴/۵*	۰/۰۳۴۸۳**	۱۱/۷۱*	۵۶/۵۹**	۲۹/۲۳*	۸/۸۶*
فسفیت‌پتاسیم	۲	۴۸۳/۱**	۰/۰۱۶۳۴**	۱۲۴/۷۶**	۷/۶۳**	۱۳۷/۸۳*	۸/۸۱*
شوری × فسفیت پتاسیم	۶	۴۱/۸$^{n.s}$	۰/۰۰۰۲۵^{ns}	۲/۸۸$^{n.s}$	۰/۴۷$^{n.s}$	۴/۲۱$^{n.s}$	۲/۳۵$^{n.s}$
خطا	۲۴	۷۴/۸	۰/۰۰۰۳۱	۳/۲۶	۱/۱۷	۶/۴۷	۱/۳۲
ضریب تغییرات	۱۵/۴	۲۴/۱	۶/۸۲	۶/۲۵	۱۵/۲۱	۱۷/۲۶	۲/۲۱

****، * و ns به¬ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

ادامه جدول ۲-

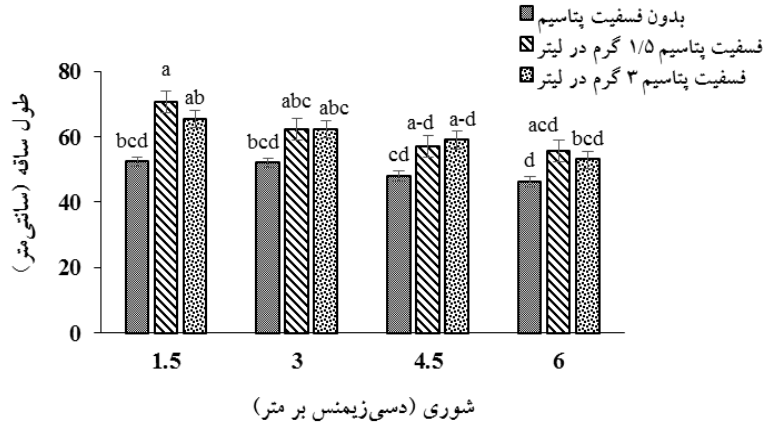
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	گایاکول پراکسیداز	پلی فنول اکسیداز	آسکوربیک اسید
شوری	۳	۹۸/۰۳*	۰/۰۳۱۷**	۰/۸۳۵**	۰/۰۸۲۷$^{n.s}$	۰/۴۱۲**
فسفیت‌پتاسیم	۲	۸۹/۹۶*	۰/۰۶۲۶*	۱/۳۰۱**	۱/۳۴۲*	۲/۸۱۳**
شوری × فسفیت پتاسیم	۶	۲/۰۷$^{n.s}$	۰/۰۰۳۲*	۰/۰۴۹$^{n.s}$	۱/۱۵۵*	۰/۱۴۹**
خطا	۲۴	۰/۸۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۱	۰/۲۵۴	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات		۱۵/۴	۲۲/۰۱	۲۷/۱۹	۱۳/۸۹	۱۷/۷۸

****، * و ns به¬ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری**

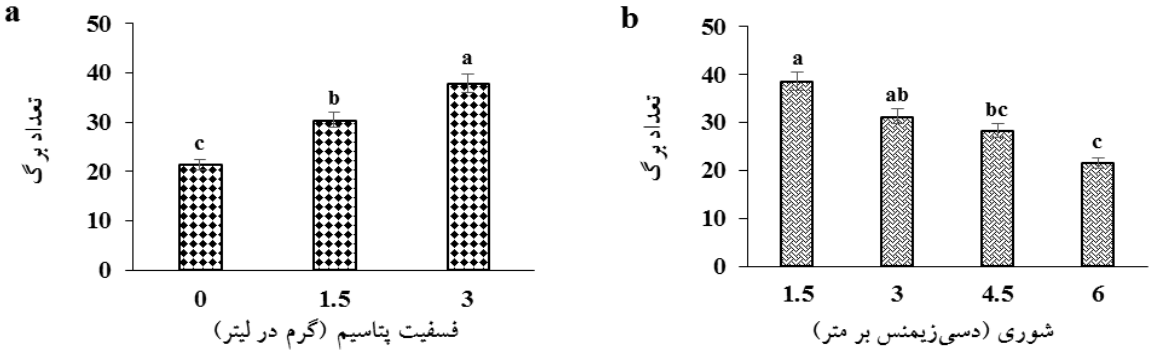
متر شوری سبب افزایش ۳۴/۴ درصدی طول ساقه نسبت به تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون اعمال فسفیت پتاسیم مشاهده شد (شکل ۱).

بیشترین طول ساقه (۷۰/۶۶ سانتی‌متر) در تیمار شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و سطح ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین طول ساقه با میانگین (۴۶/۳۳ سانتی‌متر)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]



شکل ۱- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر طول ساقه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.



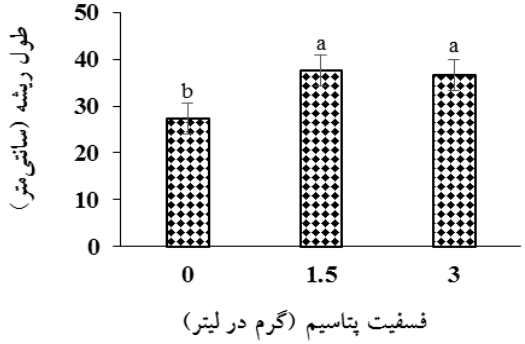
شکل ۲- اثر فسفیت پتاسیم (a) و شوری (b) بر تعداد برگ در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

در تیمار تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون اعمال تیمار فسفیت پتاسیم مشاهده شد (شکل ۱).

تعداد برگ: نتایج نشان داد که کاربرد فسفیت پتاسیم سبب حفظ بهتر تعداد برگ در نارنج شد. کاربرد فسفیت پتاسیم ۳ گرم در لیتر سبب افزایش ۴۳/۵۲ درصدی تعداد برگ نسبت به تیمار بدون فسفیت پتاسیم شد. بیشترین تعداد برگ (۳۷/۹۱ عدد) در تیمار ۳ گرم در لیتر و کمترین تعداد برگ (۲۱/۴۱ عدد) در گیاهان بدون فسفیت پتاسیم مشاهده شد (شکل ۲). با افزایش سطوح شوری تعداد برگ در گیاه نارنج کاهش یافت. اعمال شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش ۴۴/۰۹ درصدی تعداد برگ نسبت به نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد و کمترین تعداد برگ (۲۱/۵۵ عدد) در نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین تعداد برگ (۳۸/۵۵ عدد) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۲).

طول ریشه: در پژوهش حاضر مشاهد شد که کاربرد فسفیت پتاسیم باعث بهبود بهتر طول ریشه نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم گزارش شد. اعمال فسفیت پتاسیم ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر سبب افزایش (به‌ترتیب ۲۷/۳۹ و ۲۵/۵۳ درصدی) طول ریشه نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم شد. تیمار ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم دارای بیشترین طول ریشه (به‌ترتیب ۳۷/۵۶ و ۳۶/۶۲ سانتی‌متر) گزارش شد که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با هم نداشتند. کمترین طول ریشه (۲۷/۲۷ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان بدون فسفیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]



شکل ۳- اثر فسفیت پتاسیم بر طول ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی (P< 0.05) است.

پتاسیم بود (شکل ۳).

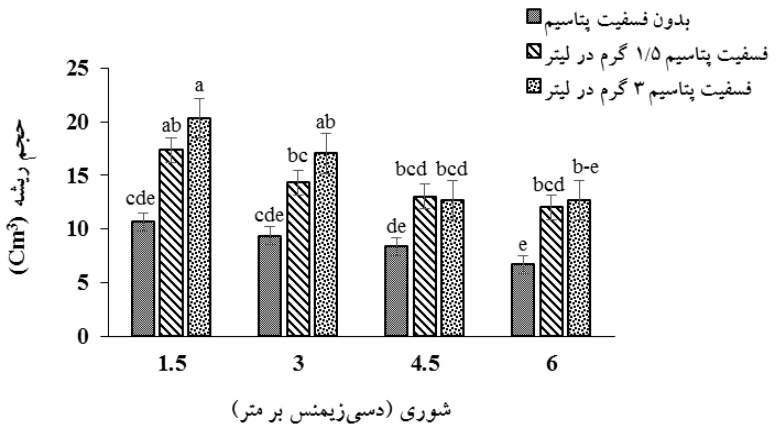
حجم ریشه: با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش سطوح شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی برای این صفت گزارش شد ولی کاربرد فسفیت پتاسیم در هر سطح شوری منجر به حفظ بهتر حجم ریشه نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم شد. تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ گرم در لیتر با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش ۶۷/۲ درصدی حجم ریشه نسبت به تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون فسفیت پتاسیم مشاهده شد. کمترین حجم ریشه (۶/۶۶ سانتی‌متر مکعب) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون تیمار فسفیت پتاسیم مشاهده شد و بیشترین حجم ریشه (۲۰/۳۳ سانتی‌متر مکعب) مربوط به تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ گرم در لیتر در شوری ۱/۵ دیسی‌زیمنس بر متر بود. بین سطوح ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در شرایط شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۴).

نشت یونی: با افزایش سطوح شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر میزان نشت یونی روند افزایشی نشان داشت. هر چند که سطح ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر نمک اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شوری ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش (به‌ترتیب ۵۵/۷ و ۴۴/۴۷ درصدی) نشت یونی شد. بیشترین نشت یونی (۵۱/۲۲ درصد) در سطح ۶ دسی‌زیمنس برمتر و کمترین صفت (۲۲/۶۴ درصد) در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر باعث کاهش این صفت شد که بیشترین نشت یونی (۳۹/۹۷ درصد) در سطح بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین صفت (۲۸/۵۲ درصد) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد و هر چند با تیمار ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم اختلاف معنی‌داری نداشت. کاربرد فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر در مقایسه با گیاهان بدون فسفیت پتاسیم و فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ گرم در لیتر باعث کاهش (به‌ترتیب ۲۸/۶ و ۲۸/۲۳ درصدی) نشت یونی شد (جدول ۳).

مالون دی‌آلدئید: اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم بر میزان مالون دی‌آلدئید نشان داد که با افزایش سطح تنش نمک میزان مالون دی‌آلدئید نسبت به گیاهان شاهد روندی افزایشی پیدا کرد. تنش شوری در تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش مالون دی‌آلدئید (۴۱/۱۷ درصدی) در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین مالون دی‌آلدئید (۰/۳۴ میکرومول در گرم وزن تر) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین مالون دی‌آلدئید (۰/۲۰ میکرومول در گرم وزن تر) در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۳).

کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم سبب کاهش مالون دی‌آلدئید نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم گزارش شد. بیشترین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]



شکل ۴- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر حجم ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر شوری و فسفیت پتاسیم بر فاکتورهای فیزیولوژیکی و آنتی‌اکسیدانی نارنج

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	نشت یونی (درصد)	مالون‌دی‌آلدئید (میکرومول در گرم وزن تر)	فنل (میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر)	ظرفیت آنتی آکسیدانی (درصد)	پروتئین (میکروگرم در میلی‌لیتر)	فنیل آلانین آمونیالیاز	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پراکسیداز
						(میلی‌گرم در پروتئین)		
۱/۵	۲۲/۶۴^{c}	۰/۲۰^{d}	۲۷/۶۱^{b}	۸۵/۴۷^{c}	۱۸/۷۹^{a}	۵/۳۳^{b}	۷۹/۹۲^{c}	۰/۳۵^{b}
۳	۲۸/۴۴^{c}	۰/۲۲^{c}	۲۸/۸۱^{ab}	۸۷/۶۷^{b}	۱۶/۹۷^{ab}	۶/۴۸^{a}	۸۵/۶۴^{b}	۰/۴۲^{b}
۴/۵	۴۰/۰۸^{b}	۰/۲۷ ^{b}	۲۸/۶۲^{ab}	۸۸/۶۹^{b}	۱۶/۶۹^{ab}	۷/۱۸^{a}	۸۶/۱۸^{b}	۰/۳۶^{b}
۶	۵۱/۲۲^{a}	۰/۳۴^{a}	۳۰/۴۲^{a}	۹۱/۵۱^{a}	۱۴/۴۰^{b}	۷/۶۰^{a}	۸۷/۱۶^{a}	۰/۹۹^{a}
فسفیت پتاسیم (گرم در لیتر)								
صفر	۳۹/۹۷^{a}	۰/۲۹^{a}	۲۵/۵۴^{c}	۸۷/۴۳^{b}	۱۳/۱۵^{c}	۵/۷۲^{b}	۸۱/۸۵^{c}	۰/۲۳^{c}
۱/۵	۲۸/۵۲^{b}	۰/۲۲^{c}	۲۹/۱۲^{b}	۸۸/۶۸^{a}	۱۹/۹۱^{a}	۶/۸۳^{a}	۸۷/۳۰^{a}	۰/۸۸^{a}
۳	۳۹/۷۴^{a}	۰/۲۶ ^{b}	۳۱/۹۸^{a}	۸۸/۹۱^{a}	۱۷/۰۸^{b}	۷/۴۱^{a}	۸۵/۰۲^{b}	۰/۴۹^{b}

مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

صفت (۰/۲۹ میکرومول در گرم وزن تر) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم و کمترین صفت (۰/۲۲ میکرومول در گرم وزن تر) مربوط به تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم بود. در نهایت کاربرد تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم موجب کاهش ۲۴/۱۳ درصدی این صفت نسبت به گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳).

فنل: نتایج مقایسه میانگین اثرات شوری و فسفیت پتاسیم بر فنل مشخص شد که با افزایش سطوح نمک از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر میزان فنل نسبت به گیاهان شاهد افزیش یافت. تنش شوری در تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش (۹/۲۳ درصدی) فنل در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین فنل (۳۰/۴۲ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین فنل (۲۷/۶۱ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که میزان فنل با اعمال فسفیت پتاسیم نسبت به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

گیاهان بدون فسفیت پتاسیم، افزایش یافت. بیشترین فنل (۳۱/۹۸ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در غلظت ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و کمترین فنل (۲۵/۵۴ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. به‌طورکلی کاربرد فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ گرم در لیتر سبب افزایش (۲۰/۱۳ درصدی) فنل نسبت به گیاهان شاهد شد (جدول ۳).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: براساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که تیمار کلرید سدیم در سطوح بالا منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد هر چند که شوری ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۹۱/۵۱ درصد) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۸۵/۴۷ درصد) در تیمار تنش شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش (۶/۶ درصدی) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد فسفیت پتاسیم روندی افزایشی از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم پیدا کرد. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم (به‌ترتیب ۸۸/۹۱ و ۸۸/۶۸ درصد) و کمترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۸۷/۴۳ درصد) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر منجر به افزایش (به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۴۰ درصدی) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به گیاهان شاهد گزارش شد (جدول ۳).

پروتئین: اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم بر پروتئین نشان داد وقتی که سطوح شوری افزایش یافت میزان پروتئین نسبت به تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی داشت. تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک باعث کاهش (۲۳/۳ درصدی) پروتئین نسبت به تیمار تنش شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد. بیشترین صفت (۱۸/۷۹ میکروگرم در میلی‌لیتر) مربوط به شوری با غلظت ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین پروتئین (۱۴/۴۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. تیمار ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با هم نداشتند (جدول ۳). کاربرد فسفیت پتاسیم سبب افزایش میزان پروتئین نسبت به گیاهان بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. بیشترین صفت (۱۹/۹۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و کمترین پروتئین (۱۳/۱۵ درصد) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر منجر به افزایش ۳۳/۹ درصدی پروتئین نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL): نتایج مقایسه میانگین بر آنزیم PAL نشان داد که تنش شوری در سطوح بالاتر سبب افزایش آنزیم نسبت به گیاهان شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین فعالیت آنزیم (۷/۶۰، ۷/۱۸ و ۶/۴۸ میلی‌گرم در پروتئین) به ترتیب مربوط به تنش شوری ۶، ۴/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که باهم اختلاف معنی‌داری نداشتند. کمترین میزان صفت (۵/۳۳ میلی‌گرم در پروتئین) مربوط به تنش شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. تیمار شوری ۶، ۴/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش (به‌ترتیب ۲۹/۸، ۲۵/۷ و ۱۷/۷۴ درصدی) این آنزیم نسبت به تیمار شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شد (جدول ۳). نتایج مشخص کرد که اعمال فسفیت پتاسیم منجر به افزایش آنزیم PAL در مقایسه با گیاهان بدون فسفیت پتاسیم شد. بیشترین میزان فعالیت این صفت (۷/۴۱ و ۶/۸۳ میلی‌گرم در پروتئین) به ترتیب مربوط به تیمار غلظت ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. کمترین فعالیت آنزیم (۵/۷۲ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. در کل فسفیت پتاسیم در غلظت ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر منجر به افزایش (به‌ترتیب ۲۲/۸ و ۱۶/۲۵ درصدی) فعالیت آنزیم PAL نسبت به گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم شد (جدول ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم بر آنزیم SOD مشخص کرد که تنش نمک در سطوح بالاتر منجر به افزایش فعالیت آنزیم SOD نسبت به گیاهان در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک گزارش شد. بیشترین فعالیت آنزیم (۸۷/۱۶ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود و کمترین فعالیت آنزیم (۷۹/۹۲ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک مشاهده شد. تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر شوری، افزایش ۸/۳۰ درصدی در مقایسه با سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک نشان داد. میزان این آنزیم در تیمارهای نمک ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری با هم نداشت (جدول ۳). تیمار فسفیت پتاسیم منجر به افزایش آنزیم SOD نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم مشاهده شد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم (۸۷/۳۰ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم گزارش شد و کمترین فعالیت آنزیم SOD (۸۱/۸۵ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم بود. گیاهان تیمارشده با سطح ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم باعث افزایش ۶/۲۴ درصدی آنزیم در مقایسه با گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم شدند (جدول ۳).

آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX): نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم نشان داد که تنش شوری در سطوح بالاتر سبب روند افزایشی فعالیت آنزیم نسبت به گیاهان شاهد شد.

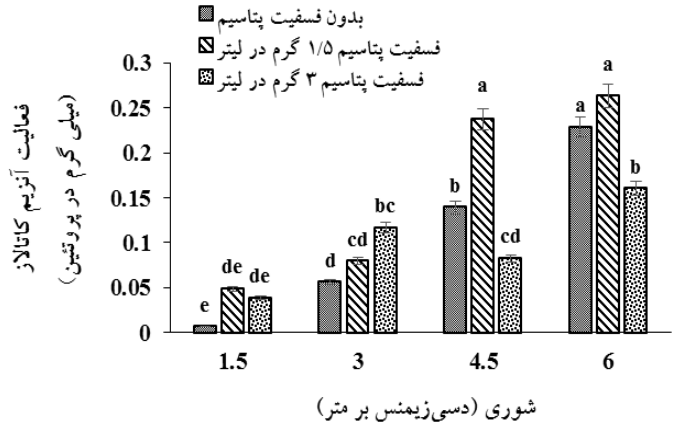
بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (۰/۹۹ میلی‌گرم در پروتئین) در نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود. تیمار شوری ۱/۵، ۴/۵ و ۳ سی‌زیمنس بر متر کمترین فعالیت آنزیم (به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۶ و ۰/۴۲ میلی‌گرم در پروتئین) داشتند که اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری با هم نداشتند. تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با سطح نمک ۱/۵، ۴/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر افزایش (به‌ترتیب ۶۴/۶۴، ۶۳/۶۳ و ۵۷/۵۷ درصدی) آنزیم گایاکول پراکسیداز را نشان داد (جدول ۳). اعمال فسفیت پتاسیم باعث افزایش این آنزیم نسبت به گیاهان شاهد شد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم (۰/۸۸ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین فعالیت آنزیم (۰/۲۳ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد. گیاهان تیمارشده با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم دارای ۷۳/۷ درصد فعالیت بیشتر آنزیم گایاکول‌پراکسیداز در مقایسه با گیاهان بدون تیمار با فسفیت پتاسیم داشتند (جدول ۳).

آنزیم کاتالاز (CAT): برهمکنش اثرات شوری و فسفیت پتاسیم بر آنزیم کاتالاز نشان داد که با افزایش تنش شوری از سطح ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب روند افزایشی کاتالاز نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. همچنین استفاده از ترکیب فسفیت پتاسیم در تمامی سطوح شوری باعث افزایش فعالیت این آنزیم می‌شود ولی اثر فسفیت پتاسیم بر حسب غلظت ممکن است تأثیرات متفاوتی داشته باشد. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۲۶ میلی‌گرم در پروتئین) مربوط به تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر و سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که با سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نداشت. در سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر بیشترین فعالیت در غلظت ۳ گرم در لیتر مشاهده شد. گیاهان تیمار شده با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سطح ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم دارای ۹۴/۴ درصد فعالیت بیشتری از آنزیم کاتالاز در مقایسه با گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر داشتند. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز مربوط به گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۱/۵دسی‌زیمنس بر متر مشاهد شد که با بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۵).

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO): نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش شوری در سطوح بالاتر سبب افزایش آنزیم نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد و کاربرد فسفیت پتاسیم در شرایط تنش شوری سبب کاهش این آنزیم نسبت به گیاهان شاهد شد.

بیشترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (۴/۹۷ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سطح بدون

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]



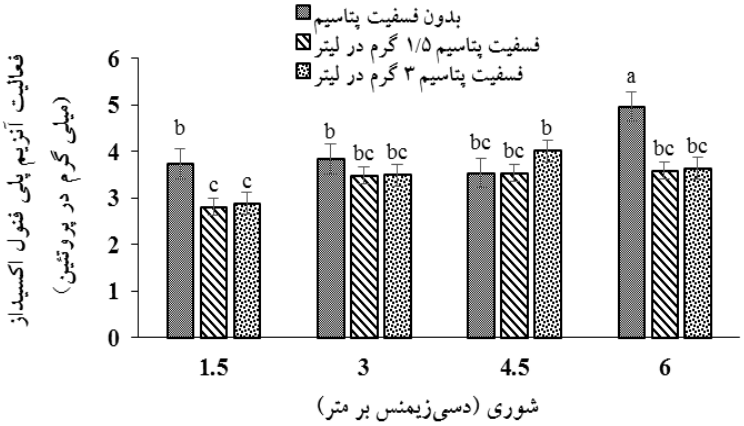
شکل ۵- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم کاتالاز نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

فسفیت پتاسیم مشاهده شد. تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر با سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر دارای کمترین فعالیت آنزیم (به‌ترتیب ۸۱/ ۲ و ۲/۸۸ میلی‌گرم در پروتئین) مشاهده شد. تیمار غلظت‌های ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۱/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد ولی نسبت به شاهد در همان سطح شوری اختلاف معنی‌داری مشاهد شد. به‌طورکلی تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر با سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش (به‌ترتیب ۴۳/۴۶ و ۴۲/۰۵ درصدی) فعالیت پلی‌فنل اکسیداز نسبت به گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (شکل ۶).

آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (APX): نتایج مقایسه میانگین بر آنزیم آسکوربیک پراکسیداز نشان داد که با افزایش تنش شوری میزان این آنزیم روند افزایشی نسبت به گیاهان شاهد داشت. همچنین کاربرد فسفیت پتاسیم سبب بهبود بهتر این آنزیم در شرایط تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (۱/۷۰ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر با سطح ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز (۰/۱۰ میلی‌گرم در پروتئین) در غلظت شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر در گیاه بدون فسفیت پتاسیم مشاهده شد. در کل تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر با سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش ۹۳/۴۹ درصدی فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز نسبت به گیاهان شاهد در سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. بین سطوح ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در شرایط شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۷).

شوری سبب تغییرات ساختاری شامل کاهش طول ریشه، کاهش شاخساره، کاهش تعداد دستجات آوندی و افزایش سلول‌های پارانشیمی در گیاهان می‌شود (Silva *et al*., 2021). گیاهان با افزایش سطح ریشه به شاخساره و جذب بهتر آب در شرایط تنش مواجه می‌شوند. در حالی‌که در تنش شدید، ریشه به‌تدریج تضعیف شده و در نهایت از بین خواهد رفت (Azizi *et al*., 2021). به گزارشی تجمع بیش از حد Na^+ در بافت‌های رویشی در گیاهان *Moringa oleifera* با آسیب برگ‌ها و کاهش رشد ساقه‌های آن‌ها همراه بود (Azeem *et al*., 2023). شوری (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) سبب کاهش تعداد برگ، طول ریشه و محتوای آب نسبی ساقه در گیاه پسته شد (یزدی سجادیه و همکاران، ۱۳۹۹). تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ و طول شاخساره در گیاه زیتون شده است (پوری و همکاران، ۱۳۹۶؛ حسنی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین شوری شدید، باعث کاهش رشد ریشه، کلروز، نکروز و ریزش برگ

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]



شکل ۶- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.



شکل ۷- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم آسکوربیک پراکسیداز نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

و در نهایت مرگ درختان مرکبات شد (Syvertsen and GarciaSanchez, 2014). در پژوهش حاضر نیز، تنش شوری موجب کاهش رشد رویشی در گیاه نارنج شد و تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر، بیشترین کاهش در طول ساقه، تعداد برگ، طول و حجم ریشه را باعث شد. پتاسیم با تحریک ساقه‌های قوی، افزایش رشد و همچنین افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه به بهبود رشد گیاهان مواجه‌شده با تنش کمک می‌کند (Gulser and Cig, 2021). کاربرد پتاسیم با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، موجب بهبود عملکرد و رشد در مرکبات می‌شود (Uthman and Garba, 2023). همچنین کودهای حاوی پتاسیم (۱ میلی‌مولار و بالاتر) سبب افزایش عملکرد و رشد در پرتقال *Citrus sinensis* شده است (Barlas, 2023). در پژوهشی بر اثر کود پتاسیمی بر نارنج سه برگ (*Poncirus trifoliata*)، در شرایط تنش شوری، کود پتاسیمی ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، فتوسنتز برگ را با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی به میزان ۳۰ درصد افزایش داده، از زرد شدن و سوختن برگ‌ها تحت تنش شوری جلوگیری کرده و باعث افزایش رشد رویشی شد (Zhang *et al*., 2023a). در پژوهش حاضر کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم سبب بهبود رشد رویشی نارنج شد. در تأیید نتایج به‌دست آمده، کودهای فسفر و پتاسیم در شرایط تنش باعث افزایش رشد رویشی، عملکرد میوه و کیفیت مرکبات شده‌اند (Zekri *et al*., 2012). کاربرد فسفیت در گندم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

نیز با افزایش تحمل گیاه به تنش غیرزیستی، موجب افزایش رشد ریشه، افزایش رشد شاخساره و افزایش فتوسنتز شد. فسفیت پتاسیم با بهبود جذب عناصر فسفر و پتاسیم، فتوسنتز را افزایش داده و از این طریق موجب بهبود رشد شاخساره و ریشه می‌شود (Mohammed *et al*., 2022).

در صورت بروز تنش‌های غیرزیستی، پراکسید هیدروژن با رادیکال سوپراکسید وارد واکنش شده و رادیکال‌های هیدروکسیل را تشکیل می‌دهد. این رادیکال‌ها از طریق واکنش با گروه‌های متیلن اسیدهای چرب غیراشباع (که از ترکیبات اصلی لیپیدهای غشا محسوب می‌شوند) باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشا می‌شود (Campo *et al*., 2014; Slama *et al*., 2015). مالون دی‌آلدئید یکی از مهم‌ترین محصولات پراکسیداسیون لیپید غشایی و نشان‌دهنده میزان آسیب به سیستم غشایی تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی است (Eraslan *et al*., 2008). پراکسیداسیون غشا همچنین باعث نشت یونی می‌شود (Tatte *et al*., 2015). تنش شوری در کتان (*Linum usitatissimum L*.) باعث پراکسیداسیون لیپیدی، تجمع قندهای محلول، پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد (Singh *et al*., 2021). همچنین افزایش مالون دی‌آلدئید در ژنوتیپ‌های مرکبات در شرایط تنش شوری گزارش شده است (گلعین و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایش حاضر نیز، تنش شوری باعث افزایش نشت یونی و مالون دی‌آلدئید در گیاه نارنج شد.

کاربرد پتاسیم در گیاهان با محدود نمودن جذب و انتقال کلرید سدیم، باعث یکپارچگی و انسجام غشاء سلولی (Shool *et al*., 2023) و در نتیجه ممانعت از نشت یونی و تجمع مالون دی‌آلدئید در سلول می‌شود (Gulser and Cig, 2021). تیمار با پتاسیم در تاماریکس (Chen *et al*., 2023) و تیمار با فسفر در ذغال اخته (Guo *et al*., 2022) تحت تنش شوری ، موجب کاهش تولید پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید شده بود. در این تحقیق نیز، تیمار فسفیت پتاسیم در هر دو غلظت باعث کاهش نشت یونی و محتوای مالون دی‌آلدئید در گیاه نارنج گردید.

براساس نتایج تحقیق حاضر، با افزایش سطح تنش شوری، میزان پروتئین در برگ نارنج کاهش پیدا کرد. کاهش مقدار پروتئین در گیاهان مواجه‌شده با تنش شوری، می‌تواند ناشی از کاهش سنتز پروتئین یا افزایش تجزیه آن، افزایش فعالیت پروتئاز، اکسیداسیون اسیدهای آمینه به گروه‌های کربونیل و تجزیه آنزیم‌های درگیر در سنتز پروتئین‌ها باشد (Vives-Peris *et al*., 2023; Shaaban *et al*., 2023). کاهش میزان پروتئین و افزایش محتوای پرولین در اثر تنش شوری در انجیر (*Ficus carica*) گزارش شده است (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). کمبود پتاسیم با کاهش فعالیت نیترات ردوکتاز، گلوتامین سنتتاز و گلوتامات سنتتاز؛ مهار جذب نیترات و کاهش سنتز پروتئین در مرکبات را به همراه داشته است. مطالعه اثر تنش شوری بر پرتقال نیز حاکی از کاهش پروتئین بود (Wu *et al*., 2021). نتایج این پژوهش حاکی از افزایش میزان پروتئین‌ها در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم بود. محلول‌پاشی با پتاسیم باعث تبدیل سریع نیتروژن معدنی به پروتئین می‌شود (Uthman and Garba, 2023). در پژوهشی بر گیاهان *Maize hybrids* مواجه شده با تنش شوری، استفاده از کود پتاسیم موجب افزایش میزان پروتئین‌ها شد (Abbasi *et al*., 2014). تیمار توأم فسفر و پتاسیم با افزایش سنتز پروتئین‌ها در گیاه Ryegrass تحت تنش شوری همراه بوده است (Wang *et al*., 2013). کودهای حاوی پتاسیم و فسفر در گیاهان ذغال اخته، محتوای پروتئین محلول را تا ۲/۱۱ برابر افزایش داد (Guo *et al*., 2022; Zhang *et al*., 2023b).

یکی از سازوکارهای دفاع غیرآنزیمی برای رویارویی با تنش اکسیداتیو در گیاهان، تجمع ترکیب‌های فنلی است. فنل‌ها، متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند که از مسیر شیکمیک اسید و از متابولیسم فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند (Vogt, 2010). ترکیبات فنلی با جمع‌آوری گونه‌های فعال اکسیژن، از اکسیداسیون مولکول‌های حیاتی سلول پیشگیری می‌کند، همچنین با مهار یا کاهش اکسیداسیون لیپیدها، مانع بروز تنش اکسیداتیو در سلول می‌شوند (Vogt, 2010). افزایش مقدار فنل‌های محلول به‌ویژه پیش‌سازهای بیوسنتز لیگنین، با افزایش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

ضخامت دیواره سلولی و ایجاد مانع زیستی جهت ورود نمک به سلول‌ها، تحمل آن‌ها را به سدیم کلرید افزایش می‌دهد (Kumar *et al.*, 2013). در تحقیق حاضر با افزایش تنش شوری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی در گیاه نارنج افزایش یافت.

نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار فسفیت پتاسیم سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنلی در گیاه نارنج شد. پتاسیم و فسفر با افزایش آسکوربیک اسید در گیاهان به‌عنوان یک بستر اولیه در مسیرهای چرخه‌ای برای سم‌زدایی پراکسید هیدروژن عمل می‌کنند. پتاسیم با داشتن بار مولکولی و اتصال به غشاها، آنها را تثبیت می‌کند و در نتیجه از اتصال رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال به غشاء سلولی جلوگیری می‌کند و به‌حفظ سلامت غشاهای بیولوژیکی کمک می‌کند (Danaee and Abdossi, 2018).

فسفیت پتاسیم با تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در تولید یا تجزیه H_2O_2 موجب افزایش موقت و جزئی در مقدار H_2O_2 و منجر به القای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلول و سایر پاسخ‌های کاهش‌دهنده اثرات منفی تنش می‌شود (Mohammed *et al.*, 2022). تیمار گیاهان ذغال اخته با کودهای پتاسیم و فسفر با افزایش محتوای فنل کل (۱/۲۳ برابر) (Zhang *et al.*, 2023b) و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه بود (Guo *et al.*, 2022). همچنین محلول‌پاشی با نیترات پتاسیم و فسفات مونوپتاسیم باعث افزایش افزایش پروتئین، فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پرتقال والنسیا شد (Uthman and Garba, 2023).

تنش شوری موجب افزایش تولید آنیون‌های مخرب از جمله آنیون‌های سوپراکسید در میتوکندری و خسارت اکسیداتیو می‌شود. در چنین شرایطی، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان یک آنزیم از بین برنده یون سوپراکسید افزایش می‌یابد (Yuzugullu Karakus, 2020). هر چند سوپراکسید دیسموتاز در خط مقدم دفاع علیه گونه‌های فعال اکسیژن عمل می‌نماید اما محصول عمل آن یعنی پراکسید هیدروژن همچنان برای سلول سمی است و افزایش تجمع آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز باعث تبدیل آن به ترکیبات بی اثر می‌شود (Anjum *et al.*, 2016; Maruta *et al.*, 2016; Pandey *et al.*, 2017; Azizi *et al.*, 2021). همچنین با تجمع ترکیبات فنلی در واکوئل، غشاهای نفوذپذیری انتخابی خود را از دست داده و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در سیتوپلاسم سلول افزایش می‌یابد (Stepheniea, *et al.*, 2020). تأثیر تنش شوری در افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در انجیر (سلیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) و بادام (مؤمن‌پور و همکاران، ۱۳۹۷)، هم‌راستا با نتایج تحقیق حاضر در خصوص افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور در گیاه نارنج است.

در تحقیق حاضر با افزایش تنش شوری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه نارنج افزایش یافت. گایاکول پراکسیداز از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که از ترکیبات فنلی مثل گایاکول برای سم‌زدایی و تجزیه پراکسید هیدروژن در شرایط تنش استفاده می‌کند (Stepheniea *et al.*, 2020). این آنزیم، پراکسید هیدروژن را تجزیه و به آب تبدیل می‌کند. افزایش فعالیت این آنزیم به‌همراه سایر مکانیسم‌های دفاعی در سیتوزول به حفظ پایداری در این بخش کمک شایانی می‌نماید (Azizi *et al.*, 2021). آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز نیز، به‌عنوان یک آنزیم کلیدی باعث بیوسنتز مسیرهای فنیل پروپانوئید و تولید اسید سینامیک به‌عنوان پیشرو در بیوسنتز مواد فنولیک مانند لیگنین می‌شود. همچنین با اثر بر گونه‌های اکسیژن فعال یا ایجاد نقص در مکانیسم سنتز آن‌ها، می‌تواند باعث افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های محیطی شود (Danaee and Abdossi, 2018).

در پژوهش حاضر، تیمار با فسفیت پتاسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و فنیل آلانین آمونیالیاز و کاهش میزان آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در گیاه نارنج گزارش شد. پتاسیم با تأثیر بر جذب روی و مس، که نقش کوفاکتور برای برخی آنزیم‌ها را دارند، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Gulser and Cig, 2021). تیمار با پتاسیم در گیاه گز (*Tamarix ramosissima*) تحت تنش نمک، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز شده است (Chen *et al.*, 2023). بهبود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

وضعیت پتاسیم در گیاهان می‌تواند تولید گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش (Ahmad *et al.*, 2010) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را افزایش دهد (Abbasi *et al.*, 2016). در تأیید نتایج مطالعه حاضر، کاربرد سولفات پتاسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه گردو (درویشی و ارشادی، ۱۴۰۰)، کاربرد کود فسفر منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه گریپ‌فروت (Meng *et al.*, 2021) و همچنین کاربرد کود فسفر و پتاسیم سبب کاهش میزان آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و افزایش آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاهان هلو (Hernandez-Fuentes *et al.*, 2002) و زیتون (Dabbaghi *et al.*, 2018) شد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد در شرایط شوری بالای آب آبیاری، بر میزان مالون دی‌آلدئید و نشت یونی افزوده و از تعداد برگ، حجم ریشه، طول ساقه و ریشه کاسته شد. تیمار گیاهان نارنج با فسفیت پتاسیم با بهبود ویژگی‌های رویشی، باعث بهبود فعالیت آنزیم‌ها، کاهش نشت یونی و مالون دی‌آلدئید شد. در مجموع این مطالعه نشان داد که تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم به عنوان راهکاری مناسب در گیاهان مواجه‌شده با تنش شوری قابل توصیه است.

منابع

پشنگه، زهرا، شمیلی، منصوره، عبدالهی، فرزین، و قاسمی، مصطفی (۱۳۹۹). برهمکنش شوری و جیبرلین بر ریزش برگ، ماده خشک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای عناصر در گواوا (*Psidium guajava* L.). *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۳۱، ۸۰۹-۸۲۶.

پوری، نغیمه، سیفی، اسماعیل، و علیزاده، مهدی (۱۳۹۶). ارزیابی اثر تنش شوری و پرولین بر برخی از صفات ریخت‌شناسی، فیزیکی و فیتوشیمیایی برگ در سه رقم زیتون (*Olea europaea*). *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۸(۵)، ۸۵-۶۹.

حسنی، عباس، شیرزاد، حبیب، جلیلی‌مرندی، رسول، و صمدی، عباس (۱۴۰۰). پاسخ‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو رقم زیتون به تنش شوری ناشی از کلرور سدیم. *تحقیقات کاربردی خاک*، ۹، ۸۸-۱۰۱.

درویشی، انیسه، و ارشادی، احمد (۱۴۰۰). اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه گردوی رقم چندلر. تغذیه و آبیاری، دوازدهمین کنگره علوم باغبانی ایران، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران.

سلیم‌پور، الهداد، شمیلی، منصوره، دادخدائی، علی، زارع، حمید، و حدادی‌نژاد، مهدی (۱۳۹۸). تأثیر شوری بر محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، رنگیزه‌های فتوسنتزی، پروتئین و پرولین در ارقام انجیر (*Ficua carica*). *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۸، ۱۰۹-۱۲۳. DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.25.7

طاوسی، مجتبی، کاوه، فریدون، علیزاده، امین، بابازاده، حسین، و تهرانی‌فر، علی (۱۳۹۵). اثر کم‌آبی و شوری بر میوه انار رقم شیشه کپ. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۴، ۴۹۹-۵۰۷.

عابدی، بهرام، اسفندیاری، بهنام، وصال، سعیدرضا، و داوودی نژاد، غلامحسین (۱۴۰۰). تأثیر سطوح مختلف کیتوسان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک دو پایه مرکبات تحت تنش شوری. *دو فصلنامه پژوهش‌های میوه‌کاری*، ۶(۲)، ۱۰۰-۹۱. DOI: 10.30466/rip.2021.53368.1162

عباسی، معصومه، حیدری، مختار، و ذاکرین، عبدالرسول (۱۳۹۰). اثر کاربرد کلرید سدیم بر رشد رویشی و غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در دانهال‌های دو رقم انبه (*Mangifera indica* L.). *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۵، ۱-۸. DOI: 10.22067/jhorts4.v1390i1.9731

گلعین، بهروز، ربیعی، ولی، میرعباسی، فائزه، فیفایی، رضا، و حلاجی ثانی، محمدفاضل (۱۳۹۴). بررسی تأثیر تنش شوری روی صفات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

فیزیولوژیکی بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مرکبات. *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۹(۳)، ۴۲۵-۴۱۶. DOI: 10.22067/jhorts4.v0i0.31371

مرادی، بیژن، و رئیسی، طاهره (۱۳۹۶). عملکرد و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کیوی پرورش یافته تحت روش‌های مختلف کوددهی. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

مؤمن‌پور، علی، ایمانی، علی، و بخشی، داوود (۱۳۹۷). تأثیر تنش شوری بر برخی از صفات بیوشیمیایی چهار رقم بادام. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۲(۲)، ۲۱۵-۲۰۱. DOI: 10.22092/JWRA.2018.116954

یزدی سجادی، امید، پناه‌پور، ابراهیم، نادیان، حبیب‌اله، وغلامی، علی (۱۳۹۹). تأثیر شوری کلرید سدیمی بر برخی خصوصیات رشدی و مورفولوژیکی در سه رقم پسته. *نشریه علمی تغذیه گیاهان باغی*، ۳(۲)، ۲۸-۱۷. DOI: 10.22070/HPN.2020.5019.1063

Abbasi, G. H., Akhtar, J., Anwar-Ul-Haq, M., & Ali, S. (2014). Exogenous potassium differentially mitigates salt stress in tolerant and sensitive *Maize hybrids*. *Pakistan Journal of Botany, 46,* 135-146.

Abbasi, H., Jamil, M., Haq, A., & Ali, S. (2016). Salt stress manifestation on plants, mechanism of salt tolerance and potassium role in alleviating it: A review. *Zemdirbyste, 103,* 229-238. DOI 10.13080/z-a.2016.103.030

Abdel-Wahed, M. S., Mohsen, M. G., & Salamjwar, A. (2022). Effect of spraying with ferti mar and growx amino mix on some chemical characteristics of *Citrus aurantium* seedlings (*Citrus aurantium L.*). *University of Thi-Qar Journal of Agricultural Research, 11,* 131-141. DOI: https://doi.org/10.54174/utjagr.v11i2.192

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology, 105,* 121-126. DOI: 10.1016/s0076-6879(84)05016-3

Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical Reviews in Biotechnology, 30,* 161-175. DOI:10.3109/07388550903524243

Akter, S., Huang, J. J., Waszczak, C., Jacques, S., & Gevaert, K. (2015). Cysteines under ROS attack in plants: A proteomics view. *Journal of Experimental Botany, 66,* 2935-2941. DOI: 10.1093/jxb/erv044

Alva, A. K., Mattos Jr, D., Paramasivam, S., Patil, B., Dou, H., & Sajwan, K. S. (2006). Potassium management for optimizing citrus production and quality. *International Journal of Fruit Science, 6*(1), 3-43. https://doi.org/10.1300/J492v06n010-02

Anjum, N. A., Sharma, P., Gill, S. S., Hasanuzzaman, M., Khan, E. A., Kachhap, K., Mohamed, A. A., Thangavel, P., Devi, G. D., Vasudhevan, P., Sofo, A., Khan, N. A., Misra, A. N., Lukatkin, A. S., Singh, H. P., Pereira, E., & Tuteja, N. (2016). Catalase and ascorbate peroxidase-representative H_2O_2-detoxifying heme enzymes in plants. *Environmental Science and Pollution Research, 23,* 19002-19029. DOI: 10.1007/s11356-016-7309-6

Anwar, S., Ahmed, N., Speciale, A., Cimino, F., & Saija, A. (2016). Bitter orange (*Citrus aurantium* L.) oils. *In Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 259-268. Doi: 10.1016/B978-0-12-416641-7.00029-8

Asgari, F, & Diyanat, M. (2021). Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis var*. Minima) plants grown under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(4), 536-549.

Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., Yang, S., Dong, R., Ali, B., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in *Moringa oleifera* Lam. *Scientifc Reports, 13,* 1-17. https://doi.org/10.1038/s41598-023-29954-6

Azizi, I., Esmaielpour, B., & Fatemi, H. (2021). Exogenous nitric oxide on morphological, biochemical and antioxidant enzyme activity on savory (*Satureja hortensis* L.) plants under cadmium stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 20,* 417-423. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.05.003

Bakhshi, D, & Arakawa, O. (2006). Induction of phenolic compounds biosynthesis with light irradiation in the Tesh of red and yellow apples. *Journal of Applied Horticulture, 8,* 101-104. DOI:10.37855/jah.2006.v08i02.23

Barlas, N. T. (2023). Citrus response to various foliar potassium treatments. *Journal of Plant Nutrition, 46*(9), 1920-1932. DOI:10.1080/01904167.2022.2105714

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry, 72,* 248-254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999

Campo, S., Baldrich, P., Messeguer, J., Lalanne, E., Coca, M., & San Segundo, B. (2014). Overexpression of a calcium-dependent protein kinase confers salt and drought tolerance in rice by preventing membrane lipid peroxidation. *Plant Physiology, 165*(2), 688-704. DOI: 10.1104/pp.113.230268

Chakrabarty, D., Verma, A. K., & Datta, S. K. (2009). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in Hemerocallis (day lily) flowers. *Journal of Horticulture and Forestry, 1*(6), 113-119.

Chen, X., Cheng, X. W., Zhu, H., Banuelos, C., Shutes, B., & Wu, H. T. (2019). Influence of salt stress on propagation, growth and nutrient uptake of typical aquatic plant species. *Nordic Journal of Botany, 37,* 12. https://doi.org/10.3390/su15086553

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

Chen, Y., Li, H., Zhang, S., Du, S., Zhang, J., Song, Z., & Jiang, J. (2023). Analysis of the main antioxidant enzymes in the roots of *Tamarix ramosissima* under NaCl stress by applying exogenous potassium (K^+). *Frontiers in Plant Science, 14,* 1114266. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1114266

Dabbaghi, O., Tekaya, M., M'barki, N., Ouled ali, S., Oden, S., Mezghani, M. A., Attia, F., Labidi, F., Prinsen, E., Hammami, M., & Mechri, B. (2018). Effect of foliar bio-fertilization on growth and biochemical parameters of olive trees at flowering. *Journal of Plant Nutrition, 41*(18), 2281-2297. DOI:10.1080/01904167.2018.1500592

Danaee, E, & Abdossi, V. (2018). Effect of different concentrations and application methods of polyamines (Putrescine, Spermine, Spermidine) on some morphological, physiological, and enzymatic characteristics and vase life of *Rosa hybrida* cv. 'Dolce Vita' cut flower. *Journal of Ornamental Plants, 8,* 171-182.

Deliopoulos, T., Kettlewell, P. S., & Hare, M. C. (2010). Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. *Crop Protection, 29*(10), 1059-1075. DOI:10.1016/j.cropro.2010.05.011

Eraslan, F., Inal, A., Pilbeam, D. J., & Gunes, A. (2008). Interactive effects of salicylic acid and silicon on oxidative damage and antioxidant activity in spinach (*Spinacia oleracea* L. CV. Matador) grown under boron toxicity and salinity. *Plant Growth Regulatin, 55,* 207-219.

FAO. (2019). FAO STAT Agricultural Statistic. Available online at: http://www. Fao. Org.

Gomez-Merino, F, & Trejo-Tellez, L. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196,* 82-90. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.035

Gulser, F. & Cig, A. (2021). Relationships between potassium nutrition and flower quality in ornamental plants. 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary, Izmir,Turkey.

Guo, X. L., Li, S. S., Wang, D. L., Huang, Z. S., & Mubshar, H. (2022). Effects of water and fertilizer coupling on the physiological characteristics and growth of rabbiteye blueberry. *PloS One, 16,* 1-13. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254013

Hernandez-Fuentes, A. D., Colinas, M. T. L., & Pinedo-Espinoza, J. M. (2002). Effect of fertilization on the concentration of n, p, k, ca, mg, fe, mn, cu, zn and phenylalanine ammonio-lyase activity in fruit of'zacatecas'-type peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *In Xxvi International Horticultural Congress: Key Processes in the Growth and Cropping of Deciduous Fruit and Nut Trees, 636,* 521-525. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.636.65

Horst, J. H, & Cakmak, I. (1991). Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycin max*). *Physiologia Plantarum, 83,* 463-468. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x

Hossain, A., Azeem, F., Shahriar, S. M., & Islam, M. T. (2020). Regulation of proline transporters in salt stress response in plants. *In Transporters and Plant Osmotic Stress,* 291-306. DOI:10.1016/B978-0-12-817958-1.00019-0

Kar, M, & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology, 57*(2), 315-319. DOI: 10.1104/pp.57.2.315

Karthikeyan, M., Radhika, K., Mathiyazhagan, S., Bhaskaran, R., Samiyappan, R., & Velazhahan, R. (2006). Induction of phenolics and defense-related enzymes in coconut (*Cocos nucifera* L.) roots treated with biocontrol agents. *Brazilian Journal of Plant Physiology, 18,* 367-377. DOI: 10.1590/S1677-04202006000300003

Kumar, D., Mishra, D. S., Chakraborty, B., & Kumar, P. (2013). Pericarp browning and quality management of litchi fruit by antioxidants and salicylic acid during ambient storage. *Journal of Food Science and Technology, 50,* 797-802. DOI: 10.1007/s13197-011-0384-2

Li, D., Li, X., Han, Q., Zhou, Y., Dong, J., & Duan, Z. (2020). Phosphorus application improved the yield of citrus plants grown for three years in an acid soil in the Three Gorges Reservoir Area. *Scientia Horticulturae, 273,* 109596. DOI: 10.26717/BJSTR.2022.41.006612

Li, Z. G., Zhang, R. H., Xia, S. J., Wang, L., Liu, C., & Zhang, R. Q. (2019). Interactions between N, P and K fertilizers affect the environment and the yield and quality of satsumas. *Global Ecology and Conservation, 19,* 1-13. DOI:10.1016/j.gecco.2019.e00663

Liang, W. J., Ma, X. L., Wan, P., & Liu, L. Y. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochemical and Biophysical Research Communications, 495,* 286-291. DOI: 10.1016/j.bbrc.2017.11.043

Maruta, T., Sawa, Y., Shigeoka, S., & Ishikawa, T. (2016). Diversity and evolution of ascorbate peroxidase functions in chloroplasts: more than just a classical antioxidant enzyme? *Plant and Cell Physiology, 57,* 1377-1386. DOI: 10.1093/pcp/pcv203

Meng, X., Chen, W. W., Wang, Y. Y., Huang, Z. R., Ye, X., Chen, L. S., & Yang, L. T. (2021). Effects of phosphorus deficiency on the absorption of mineral nutrients, photosynthetic system performance and antioxidant metabolism in *Citrus grandis*. *PLoS One, 16,* 0246944. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246944

Mohammed, U., Davis, J., Rossall, S., Swarup, K., Czyzewicz, N., Bhosale, R., Foulkes, J., Murchie, E. H., & Swarup, R. (2022). Phosphite treatment can improve root biomass and nutrition use efficiency in wheat. *Frontiers in Plant Science, 13,* 1017048. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1017048

Moya, J. L., Gomez-Cadenas, A., Primo- millo, E., & Talon, M. (2003). Chloride absorption in saltsensitive Carrizo Citrange and salt-tolerant *Cleopatra mandarin* citrus rootstocks in linked to water use. *Journal of Experimental*

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

Botany, 54, 825-833. https://doi.org/10.1093/jxb/erg064
Munns, R, & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology, 59,* 651-681. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
Pandey, S., Fartyal, D., Agarwal, A., Shukla, T., James, D., Kaul, T., Negi, Y. K., Arora, S., & Reddy, M. K. (2017). Abiotic stress tolerance in plants: Myriad roles of ascorbate peroxidase. *Frontiers in Plant Science, 8,* 1-13.
Plewa, M. J., Smith, S. R., & Wanger, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research, 247,* 57-64. https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90033-K
Seday, U., Gulsen, O., & Toprak, G. (2014). Response of citrus rootstocks to different salinity levels for morphological and antioxidative enzyme activites. *The Journal of Animal and Plant Sciences, 24*(2), 512-520.
Shaaban, A., Taia, A., El-Mageed, A., Abd El-Momen, V. A. R., Saudy, H. S., & Al-Elwany, O. A. A. I. (2023). The integrated application of phosphorous and zinc affects the physiological status, yield and quality of canola grown in phosphorus-suffered deficiency saline soil. *Gesunde Pflanzen, 8,* 1-9. DOI:10.1007/s10343-023-00843-2
Shool, A., Esmaeilzadeh, M., Roosta, H. R., & Dashti, H. (2023). Effects of irrigation-based potassium fertilizer on leaf and nut nutrients of two pistachio cultivars. *Journal of Nuts, 14,* 71-93. DOI:10.22034/JON.2022.1959492.1175
Silva, B. R. S., Batista, B. L., & Lobato, A. K. S. (2021). Anatomical changes in stem and root of soybean plants submitted to salt stress. *Plant Biology, 23*(1), 57-65. https://doi.org/10.1111/plb.13176
Singh, A., Shekhar, S., Marker, S., & Ramteke, P. W. (2021). Changes in morpho-physiological attributes in nine genotypes of linseed (*Linum usitatissimum* L.) under different level of salt (NaCl) stress. *Vegetos, 34,* 647-653.
Singleton, V. L, & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture, 16*(3), 144-158. DOI: 10.5344/ajev.1965.16.3.144
Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., & Savoure, A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of Botany, 115,* 433-447. DOI: 10.1093/aob/mcu239
Sofo, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., & Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences, 16,* 13561-13578. DOI: 10.3390/ijms160613561
Souri, Z., Karimi, N., & de Oliveira, L. M. (2018). Antioxidant enzymes responses in shoots of arsenic hyperaccumulator, *Isatis cappadocica* Desv., under interaction of arsenate and phosphate. *Environmental Technology, 39,* 1316-1327. DOI: 10.1080/09593330.2017.1329349
Stepheniea, S., Ping Changb Y., Gnanasekaranc, A., Mohd Esad, N., & Gnanaraj, Ch. (2020). An insight on superoxide dismutase (SOD) from plants for mammalian health enhancement. *Journal of Functional Foods, 68,* 1-10. DOI:10.1016/j.jff.2020.103917
Syvertsen, J. P, & Garcia-Sanchez, F. (2014). Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environmental and Experimental Botany, 103,* 128-137. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.015
Tatte, S., Singh, A., & Ahlawat, T. R. (2015). Effect of polyamines on postharvest quality and vaselife of *Rose* var. Samurai. *The Bioscan, 10*(2), 675-678.
Uthman, A, & Garba, Y. (2023). Citrus mineral nutrition and health benefits: A review. *Citrus Research - Horticultural and Human Health Aspects, 13,* 529-615. DOI: 10.5772/intechopen.107495
Vakili-Ghartavol, M, & Alizadeh-Salteh, S. (2016). Comparison between metabolites and antioxidant activity of saffron (*Crocus sativus* L.) from Kashmar and Marand regions. *Saffron Agronomy and Technology, 4*(3), 215-224. https://doi.org/10.22048/jsat.2016.38671
Vives-Peris, V., Lo´pez-Climent, M. F., Moliner-Sabater, M., Go´mez-Cadenas, A., & Pe´rez-Clemente, R. M. (2023). Morphological, physiological, and molecular scion traits are determinant for salt-stress tolerance of grafted citrus plants. *Frontiers in Plant Science, 14,* 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145625
Vogt, T. (2010). Phenyl propanoid biosynthesis. *Molecular Plant, 3,* 2-20. DOI: 10.1093/mp/ssp106
Wang, D., Gao, Y., Sun, S., Lu, X., Li, Q., Li, L., & Liu, J. (2022). Effects of salt stress on the antioxidant activity and malondialdehyde, solution protein, proline, and chlorophyll contents of three Malus species. *Life, 12*(11), 1929. https://doi.org/10.3390/life12111929
Wang, Q., Liang, X., Dong, Y., Xu, L., Zhang, X., Hou, J., & Fan, Z. (2013). Effects of exogenous phosphate-potassium on cadmium toxicity, element contents and antioxidative system in perennial ryegrass. *Plant Growth Regulation, 69,* 11-20. DOI:10.4067/S0718-95162018005000601
Wessel, D, & Flugge, U. I. (1984). A method for the quantitative recovery of protein in dilute solution in the presence of detergents and lipids. *Analytical Biochemistry, 138,* 141-143. https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90782-6
Wu, S., Zhang, Ch., Li, M., Tan, Q., Sun, X., Pan, Z., Xiuxin, D., & Hu, Ch. (2021). Effects of potassium on fruit soluble sugar and citrate accumulations in Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Scientia Horticulturae, 283,* 110057. DOI:10.1016/j.scienta.2021.110057
Ye, S, & Peng, B. (2019). Effects of application of nitrogen, phosphorus and potassium on soil fertility and enzyme

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

activities of pear jujube under straw mulching. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science, 384,* 1-7. DOI:10.1088/1755-1315/384/1/012098

Yuzugullu Karakus, Y. (2020). Typical Catalases: Function and Structure. IntechOpen, London. Doi: 10.5772/intechopen. 90048.

Zekri, M., Obreza, T., & Koo, R. (2012). Irrigation, Nutrition, and Citrus Fruit Quality. Gainesville: *Soil and Water Science*, 3. DOI:10.32473/edis-ss426-2003

Zhang, M., Li, X., Wang, X., Feng, J., & Zhu, S. (2023a). Potassium fulvic acid alleviates salt stress of citrus by regulating rhizosphere microbial community, osmotic substances and enzyme activities. *Frontiers in Plant Science, 14,* 1-12. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1161469

Zhang, X., Li, S., An, X., Song, Z., Zhu, Y., & Tan, Y. (2023b). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization on the yield and berry quality of blueberry. *PLoS One, 18*(3), 1-13. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283137

Zhao, Z. P., Duan, M., Yan, S., Liu, Z. F., Wang, Q., & Fu, J. (2017). Effects of different fertilizations on fruit quality, yield and soil fertility in field-grown kiwifruit orchard. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 10*(2), 162-71. DOI: 10.3965/j.ijabe.20171002.2569

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

The impact of potassium phosphite on growth parameters and antioxidant activities of sour orange (*Citrus aurantium* L.) in response to salinity

Sara Atrash[1], Mansoore Shamili[*2], Abdolmajid Mirzaalian Dastjerdi[1], Azadeh Goudarzi[3], Abdoolnabi Bagheri[3]

[1] Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Hormoz Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[3] Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran
(Received: 2023/08/24, Accepted: 2023/09/12)

Abstract

Salinity stress is among the abiotic stresses that restrict citrus growth. In this regard, the appropriate suitable solutions to improve growth characteristics and antioxidant responses under salt stress conditions can be useful. The present pot research was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of the University of Hormozgan during 1401. The used sour orange plants were six-month-old seedlings (height about 60 cm) that were healthy and disease-free. Experimental treatments included water salinity (1.5, 3, 4.5, and 6 dS/m) and potassium phosphite (KPhi)(0, 1.5, and 3 g/l). The results revealed that the salinity of 6 dS/m compared to the salinity of 1.5 dS/m led to a decrease in leaf number, stem length and root volume (44.09, 11.4 and 37.5%, respectively) and increased ion leakage and malondialdehyde (9.23 and 41.7%, respectively). Application of potassium phosphite (KPhi)(1.5 g/l) compared to the salinity of 6 dS/m increased leaf number, stem length, root volume and root length (43.5%, 34.4%, 67.2% and 27.3%, respectively). In addition, increased protein content and activity of catalase, superoxide dismutase, phenylalanine ammonialyase, guaiacol peroxidase and ascorbic peroxidase increased (33.9, 94.4, 6.24, 22.8, 73.7 and 94.4%, respectively). Potassium phosphite (KPhi)decreased ion leakage and malondialdehyde (28.6% and 24.13%, respectively). Finally, this study showed that potassium phosphite (KPhi)(1.5 g/l) stimulates the antioxidant system, neutralizes oxygen free radicals, improves growth characteristics and moderates the harmful effects of salinity stress in sour orange seedlings.

Keywords: Antioxidant enzyme, Ion leakage, Phenol, Sodium chloride, Stem length

Corresponding author, Email: shamili@ut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]