مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۴ شماره ۴ صفحه‌های ۴۶۹ تا ۴۸۴ (۱۴۰۲)
مقاله پژوهشی

تاثیر فسفیت پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه لیموترش (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) در شرایط شوری

The Impact of Potassium Phosphite on Growth Parameters and Antioxidant Activities of Lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) Under Salinity Conditions

سارا اترش[۱]، منصوره شمیلی*[۲]، عبدالمجید میرزاعلیان دستجردی[۱]، آزاده گودرزی[۳]، 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.
نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (shamili@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۳

چکیده

شوری از جمله تنش‌های غیرزیستی محدودکننده رشد مرکبات است. در این راستا انتخاب روش مناسب به‌منظور بهبود صفات رشدی و واکنش آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش شوری می‌تواند مفید باشد. پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. گیاهان مورد استفاده، دانهال‌های شش ماهه (ارتفاع حدود ۶۰ سانتی‌متر) لیموترش سالم و عاری از بیماری بودند. تیمارهای آزمایشی شامل شوری (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 ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک منجر به کاهش تعداد برگ، طول ساقه و حجم ریشه (به‌ترتیب ۲۵/۲۷، ۱۳/۸ و ۴۷/۸ درصد) و افزایش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید (به‌ترتیب ۵۰/۴۷ و ۳۴/۵ درصد) شد. کاربرد فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) باعث افزایش تعداد برگ، طول ساقه، حجم ریشه و طول ریشه (به‌ترتیب ۳۳/۸۷، ۳۲/۳۸، ۱۵/۵ و ۱۱/۰۵ درصد) شد. علاوه براین تیمار با فسفیت پتاسیم سبب افزایش محتوای پروتئین و فعالیت کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، فنیل آلانین آمونیالیاز، گایاکول‌پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز (به‌ترتیب ۳۶/۹، ۹۵/۹۷، ۶۹/۱، ۳۰/۲۰، ۶۵/۷ و ۷۸/۵ درصد) و کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید (به‌ترتیب ۷۵/۷ و ۴۰/۶ درصد) شد. بر اساس نتایج می‌توان انتظار داشت 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 پایه لیموترش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنزیم آنتی‌اکسیدان، طول ساقه، فنول، کلرید سدیم، نشت یونی.

مقدمه

بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از اراضی و ۳۲ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در سطح جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند. تنش شوری با القاء تنش اسمزی و ممانعت از جذب آب توسط ریشه، باعث کاهش بازده فتوسنتزی گیاهان می‌شود و متعاقبا با ایجاد تنش یونی، بر رشد و عملکرد فیزیولوژیکی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Chen *et al*., 2023). گیاهان برای مقابله با تنش وارده، سیستم دفاعی آنتی‌آکسیدانی خود را فعال می‌کنند (Azizi *et al*., 2021). تغییرات در فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

دیسموتاز و کاتالاز می‌تواند منعکس‌کننده توانایی حذف گونه‌های اکسیژن فعال تحت تنش در گیاهان باشد (Akter *et al*., 2015). تنش شوری ناشی از کلرور سدیم در درختان زیتون (Hasani *et al*., 2021) و انجیر (Salimpour *et al*., 2018) 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*., 2021). 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 منجر به کاهش تعداد برگ، طول ساقه و افزایش میزان فنول در زیتون (*Olea europaea*) شد (Hasani *et al*., 2021).

تنش شوری در مرکبات از طریق ایجاد تنش اسمزی، سمیت یونی، برهم زدن تعادل یون‌ها و تنش اکسایشی سبب کاهش بازده فتوسنتزی برگ‌ها و مانع از رشد رویشی می‌شود. شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در ۱۰ ژنوتیپ مرکبات منجر به افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و نشت یونی و همچنین کاهش محتوای نسبی آب برگ شد (Gulain *et al*., 2014). از پاسخ‌های دفاعی مرکبات به تنش شوری، افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز بوده است. نمک ۲۰۰ میلی‌مولار منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاهش محتوای پروتئین در دو پایه سیترنج و نارنج شد (Abedi *et al*., 2021).

امروزه با پیشرفت‌های کشاورزی پایدار استفاده از ترکیباتی مانند فسفیت پتاسیم رو به افزایش است. نمک فسفیت حلالیت زیادی نسبت به نمک فسفات دارد و به بهبود جذب مواد غذایی، آسیمیلاسیون، تحمل به تنش‌های غیر زنده 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 موثر بهبود بخشد. تیمار کود فسفر (۱۶۰۰ میکرومولار) در گیاهان *Isatis cappadocica* منجر به کاهش مالون‌دی‌آلدئید، نشت یونی و فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز شد در حالی که فعالیت آنزیم گلوتاتیون‌ردوکتاز را افزایش داد (Souri *et al*., 2018). 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 باعث افزایش رشد اندام‌های هوایی، عملکرد و بهبود کیفیت کیوی شده است (Zhang *et al*., 2023 b).

کودهای حاوی پتاسیم و فسفر تأثیر قابل توجهی بر رشد مرکبات و مواد مغذی موجود در خاک دارند. کود فسفر موجب کاهش مالون‌دی‌آلدئید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گریپ‌فروت (*Citrus grandis*) (Meng *et al*., 2021) و افزایش محتوای پروتئین در پرتقال (*Citrus sinensis*) شد (Li *et al*., 2020). همچنین کود پتاسیم منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، افزایش طول و حجم ریشه و در نهایت بهبود رشد رویشی در پایه پرتقال شده است (Wu *et al*., 2021).

لیموترش (*Citrus aurantifolia*) متعلق به جنس *Citrus*، و تیره Rutaceae است (Darjani *et al*., 2013). منشاء آن هند است و عمدتا در مناطق مدیترانه‌ای، هند غربی، مکزیک و آمریکا پرورش داده می‌شود (Darjani *et al*., 2013). با توجه به بررسی‌های انجام شده تاکنون پژوهشی در زمینه مکانیسم تاثیر تنش شوری با کاربرد فسفیت پتاسیم در گیاه لیموترش گزارش 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 موثر باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارزیابی آثار سطوح شوری و تیمار فسفیت پتاسیم بر واکنش‌های ریخت‌شناسی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اکسیداسیون چربی غشاء سلولی در پایه گیاه لیموترش است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها

پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. گیاهان لیموترش 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 پائین به‌ترتیب ۱۹/۵، ۲۳ و ۱۷ سانتی‌متر) دارای زه‌کش، کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

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 سلسیوس 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 آب مقطر حل شد. مقادیر ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک به‌عنوان تیمار شوری (از طریق آب آبیاری 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 بیش‌ازحد نمک در گلدن‌ها، هر دو هفته یک‌بار آب شویی انجام شد. تیمار شوری، ۷ هفته به‌طول انجامید و پس از آن گلدان‌ها تا یک هفته با تیمار شاهد (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) آبیاری شدند (Pashangah *et al*., 2019). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. طی مدت قبل اعمال تیمار، همه گیاهان با محلول غذایی هوگلند (۰/۵ غلظت) تغذیه شدند. فسفیت پتاسیم (H_2KO_3P) مورد استفاده در این آزمایش از 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 تیمار شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و عدم تیمار فسفیت پتاسیم به‌عنوان شاهد درنظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اتمام تنش شوری، در انتهای آزمایش صفات زیر در گیاهان لیموترش ارزیابی شد.

شاخص‌های ریخت‌شناسی

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، مجددا هدایت الکتریکی (EC_2) ثبت شد. میزان نشت یونی از رابطه زیر محاسبه شد (Srivastav *et al*., 2010).

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

سنجش مالون‌دی‌آلدئید

به‌منظور سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید، ۰/۵ گرم برگ در هاون ساییده، به آن ۵ میلی‌لیتر بافرپتاسیم فسفات (pH=۷) اضافه و سانتریفیوژ (۱۴۰۰۰دور در دقیقه، ۳۰ دقیقه) شد. سپس به یک میلی‌لیتر از روشناور، یک میلی‌لیتر محلول ترکیبی ۰/۵ درصد اسیدتیوباربیوتیک و اسید تری‌کلرواستیک اسید ۲۰ درصد اضافه شد. محلول حاصل به‌مدت ۳۰ دقیقه ابتدا در حمام آب گرم (۶۵ درجه سلسیوس) و سپس در حمام یخ قرار داده شد. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و سپس میزان مالون‌دی‌آلدئید از رابطه زیر محاسبه شد (Kaboodkhani *et al*., 2023).

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

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

سنجش میزان فنول و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

برای تعیین میزان فنول و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، یک گرم برگ در هاون ساییده و ۴ میلی‌لیتر حلال استخراج (۸۵ درصد متانول و ۱۵ درصد استیک‌اسید) اضافه شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت، نمونه‌ها سانتریفیوژ (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، ۱۰ دقیقه) شدند.

فنول

برای سنجش فنول، روش فولین- سینگلتون با کمی تغییرات انجام شد (Vakili-Ghartavol and Alizadeh-Salteh, 2016).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

میزان ۰/۱ گرم اسیدگالیک 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 طول موج 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 طول موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد. میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رابطه زیر محاسبه شد (Vakili-Ghartavol and Alizadeh-Salteh, 2016).

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

که در آن A_{cont}: میزان جذب DPPH و A_{samp}: میزان جذب عصاره 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 پلی‌وینیل‌پیرولیدون و پنج میکرولیتر فنیل‌متان‌سولفونیل‌فلوراید 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٪ تری‌کلرواستیک اسید) و ۰/۰۷٪ دی‌تیوتریتول مخلوط و به‌مدت یک شب در دمای ۲۰- درجه سلسیوس قرار داده شدند. پس از خشک شدن رسوب، ۱۰۰ مایکرولیتر محلول برادفورد به هر فالکون اضافه شد تا پروتئین‌های استخراج شده در این بافر حل شود. سپس تا زمان سنجش پروتئین‌های کل در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Kaboodkhani *et al*., 2023). پروتئین آلبومین سرم گاوی (۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) به‌عنوان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات‌پراکسیداز، گایاکول‌پراکسیداز، پلی‌فنول‌اکسیداز 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.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)

سنجش فعالیت آنزیم از روش Saberi-Riseh و همکاران (۲۰۲۰) 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 طول موج ۲۹۰ nm خوانده شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

برای سنجش این آنزیم ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، با مخلوط واکنش (بافر فسفات‌پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، نیتروبلوتترازولیوم 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 مترمربع بر ثانیه) قرار داده شدند. جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد (Srivastav *et al*., 2010).

آنزیم کاتالاز (CAT)

برای سنجش فعالیت این آنزیم ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره، ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار و ۵ میکرولیتر پراکسیدهیدروژن ۳۰ درصد اضافه شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد (Srivastav *et al*., 2010).

آنزیم گایاکول‌پراکسیداز (GPX)

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

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 طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد (Saberi-Riseh *et al*., 2020).

آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز(PPO)

برای این منظور، ۵۰ میکرولیتر پیروگالول ۱۰۰ میلی‌مولار، ۳ میلی‌لیتر از بافر فسفات (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی با هم ترکیب شدند و با گذشت زمان واکنش، روند افزایش در میزان جذب مشاهده شد (Saberi-Riseh *et al*., 2020). میزان فعالیت آنزیم بر حسب مقادیر اکسید شده پیروگالول در طول موج ۴۲۰ نانومتر محاسبه شد.

آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (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 میلی مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی استفاده شد و جذب نمونه‌ها در طول موج ۲۹۰ nm خوانده شد (Srivastav *et al*., 2010).

واکاوی آماری داده‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل ۳ 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 نرم افزار SAS Ver.9.1.3 انجام شد. همچنین تصاویر با کمک برنامه EXCEL 2016 ترسیم شدند.

نتایج

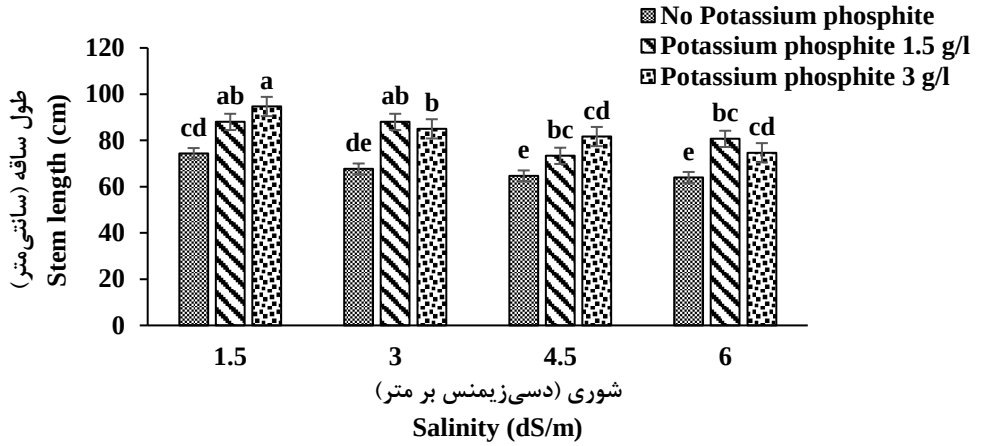
طول ساقه

نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی در طول ساقه مشاهده شد ولی کاربرد فسفیت پتاسیم در هر سطح شوری منجر به بهبود طول ساقه شد. تیمار ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر نمک سبب افزایش ۳۲/۳۸ درصدی طول ساقه نسبت به تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون اعمال فسفیت پتاسیم شد. بیشترین طول ساقه (۹۴/۶۶ سانتی‌متر) در تیمار شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و سطح ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین طول ساقه با میانگین (۶۴ سانتی‌متر) در تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون اعمال تیمار فسفیت پتاسیم مشاهده شد (شکل ۱).

تعداد برگ

با افزایش سطوح شوری، تعداد برگ در گیاه لیموترش نسبت به شاهد کاهش یافت. نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش۲۵/۲۷ درصدی تعداد برگ نسبت به نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد و کمترین تعداد برگ (۱۳۶/۳۳ عدد) در نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، هر چند که با شوری ۴/۵ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. بیشترین تعداد برگ (۱۸۲/۴۴) مربوط به تیمار ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم سبب افزایش تعداد برگ در لیموترش شد. تیمار ۳ گرم در لیتر دارای بیشترین تعداد برگ (۱۸۳/۲۵ عدد) و تیمار بدون فسفیت پتاسیم دارای کمترین تعداد برگ (۱۲۱/۱۷ عدد) بود. تیمار فسفیت پتاسیم ۳ گرم در لیتر نیز سبب افزایش ۳۳/۸۷ درصدی تعداد برگ نسبت به تیمار بدون فسفیت پتاسیم شد (جدول ۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]



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

Fig. 1. The interaction effect of salt stress and phosphitepotassium on stem length in lime. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test (P< 0.05).

طول ریشه

در پژوهش حاضر با افزایش سطوح شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر روند کاهشی در صفت طول ریشه مشاهد شد. نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش ۳۸/۱۶ درصدی طول ریشه نسبت به نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. گیاهان تیمار شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر (۳۱/۱۹ سانتی‌متر) و ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر (۵۰/۴۴) به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر طول ریشه را به خود اختصاص دادند. کاربرد فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر سبب افزایش ۱۱/۰۵ درصدی طول ریشه نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم شد. این گیاهان دارای بیشترین طول ریشه (۴۳/۳۱ سانتی‌متر) بودند. گیاهانی که فسفیت‌پتاسیم دریافت نکرده بودند، دارای کمترین طول ریشه (۳۸/۵۲ سانتی‌متر) بودند (جدول ۱).

جدول ۱- تاثیر سطوح شوری و فسفیت پتاسیم بر شاخص‌های ریخت‌شناسی و بیوشیمیائی لیموترش.

Table 1. Effects of salinity levels and potassium phosphite on morphological and biochemical indicators of lime.

شوری Salinity (dS/m)	تعداد برگ Leaf number	طول ریشه Root length (cm)	حجم ریشه Root volume (cm^3)	مالون‌دی‌آلدئید MDA (µmol/gDW)	فنول Phenol (mg Galic acid/gFW)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی DPPH (%)	پروتئین Protein (µg/ml)	گایاکول‌پراکسیداز GPX (mg /pr)
1.5	182.44 a	50.44 a	35.60 a	0.21 b	24.12 b	87.07 b	16.91 a	0.21 b
3	149.33 b	43.36 b	29.44 b	0.24 ab	26.34 a	88.69 a	13.94 b	0.24 ab
4.5	137.56 b	38.41 c	23.11 c	0.25 ab	26.04 a	89.27 a	14.94 b	0.27 a
6	136.33 b	31.19 d	18.55 d	0.32 a	27.15 a	89.49 a	13.71 b	0.29 a
فسفیت پتاسیم Potassium phosphite (g/l)								
0	121.17 c	38.52 c	24.5 c	0.32 a	23.48 c	88.40 c	11.45 c	0.13 c
1.5	149.83 b	43.31 a	29.0 a	0.19 c	27.98 a	90.66 a	15.05 b	0. 25 b
3	183.25 a	40.72 b	26.5 b	0.26 b	26.28 b	89.19 b	18.15 a	0.38 a

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

Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test (P< 0.05).

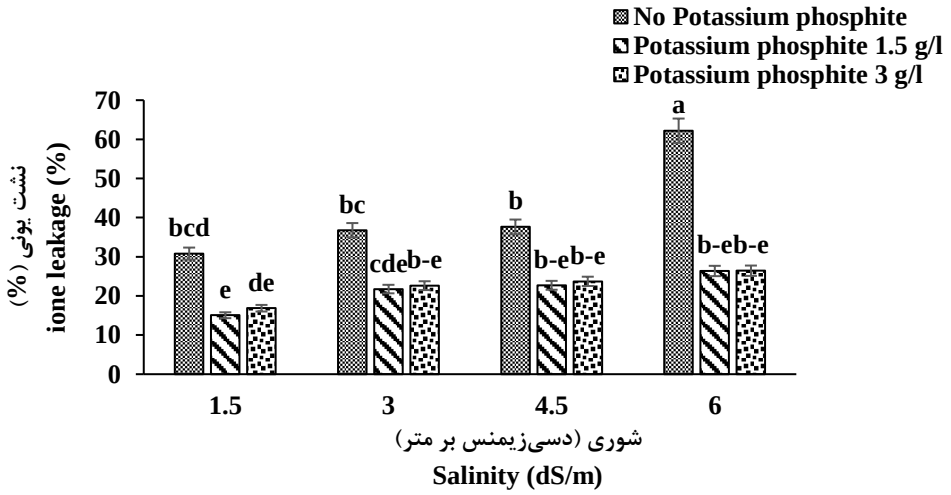
[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

حجم ریشه

با توجه به نتایج، با افزایش سطوح شوری حجم ریشه در گیاه لیموترش کاهش یافت.کمترین حجم ریشه (۱۸/۵۵ مترمکعب) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین حجم ریشه (۳۵/۶۰) مربوط به تیمار شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب کاهش ۴۷/۸ درصدی حجم ریشه نسبت به نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر منجر به افزایش ۱۵/۵ درصدی حجم ریشه شد. به‌طوری‌که بیشترین حجم ریشه (۲۹مترمکعب) مربوط به تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر و کمترین میزان این صفت (۲۴/۵ مترمکعب) مربوط به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم بود (جدول ۱).

نشت یونی

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش شوری در سطوح بالاتر سبب افزایش نشت یونی نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد و کاربرد فسفیت پتاسیم در شرایط تنش شوری سبب کاهش این صفت نسبت به گیاهان شاهد شد. بیشترین نشت یونی (۶۲/۱۹ درصد) در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بدون اعمال فسفیت پتاسیم مشاهده شد و کمترین نشت یونی (۱۵/۰۵ درصد) در تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر و شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. به‌طور کلی تیمار فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر منجر به کاهش ۷۵/۷ درصدی نشت یونی نسبت به گیاهان شاهد شد (شکل ۲). گیاهانی که فسفیت پتاسیم دریافت کرده بودند در سطوح ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر نمک اختلاف معنی‌داری در نشت یونی باهم نداشتند.



شکل ۲- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر نشت یونی در لیموترش. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 2. The mutual effect of salt stress and phosphitepotassium on ion leakage in lime. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

مالون‌دی‌آلدئید

اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم بر میزان مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که با افزایش سطح تنش نمک میزان مالون‌دی‌آلدئید نسبت به گیاهان شاهد روندی افزایشی پیدا کرد. نتایج نشان داد که سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش ۳۴/۳ درصدی مالون‌دی‌آلدئید در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین مالون‌دی‌آلدئید (۰/۳۲ میکرومول بر گرم وزن تر) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود و کمترین مالون‌دی‌آلدئید (۰/۲۱ میکرومول بر گرم وزن تر) در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین شوری در سطح ۳و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشد (جدول۱). کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم سبب کاهش مالون‌دی‌آلدئید نسبت به گیاهان بدون فسفیت پتاسیم گزارش شد. و کمترین مالون‌دی‌آلدئید (۰/۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم مشاهده شد

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

و بیشترین مالون‌دی‌آلدئید (۰/۳۲) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم بود. در نهایت کاربرد تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم موجب کاهش ۴۰/۶ درصدی این صفت نسبت به گیاهان بدون اعمال فسفیت پتاسیم مشاهده شد (جدول۱).

فنول

نتایج مقایسه میانگین اثرات شوری و فسفیت پتاسیم بر فنول مشخص کرد که با افزایش سطح نمک از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر، بر میزان فنول افزوده شد. در تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر از نمک، افزایش ۱۱/۱۶ درصدی فنول در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. بیشترین فنول (۲۷/۱۵ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر ثبت شد که با شوری ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین محتوای فنول (۲۴/۱۲ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) نیز به گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول۱). همچنین نتایج نشان داد که میزان فنول با تیمار فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر)، افزایش ۱۶/۰۸ درصدی نسبت به گیاهان شاهد داشت. بیشترین میزان فنول (۲۷/۹۸ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و کمترین میزان آن (۲۳/۴۸ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن تر) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد (جدول۱).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

بر اساس نتایج، تیمار کلرید سدیم در سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش (۲/۷ درصدی) ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، هرچند که با شوری ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۸۹/۴۹ درصد) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان آن (۸۷/۰۷ درصد) در تیمار شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد (جدول۱). همچنین فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) منجر به افزایش ۲/۴ درصدی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به گیاهان شاهد شد. بیشترین و کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۹۰/۶۶ و ۸۸/۴ درصد) به‌ترتیب به تیمار ۱/۵ و صفر گرم در لیتر فسفیت پتاسیم تعلق داشت (جدول۱).

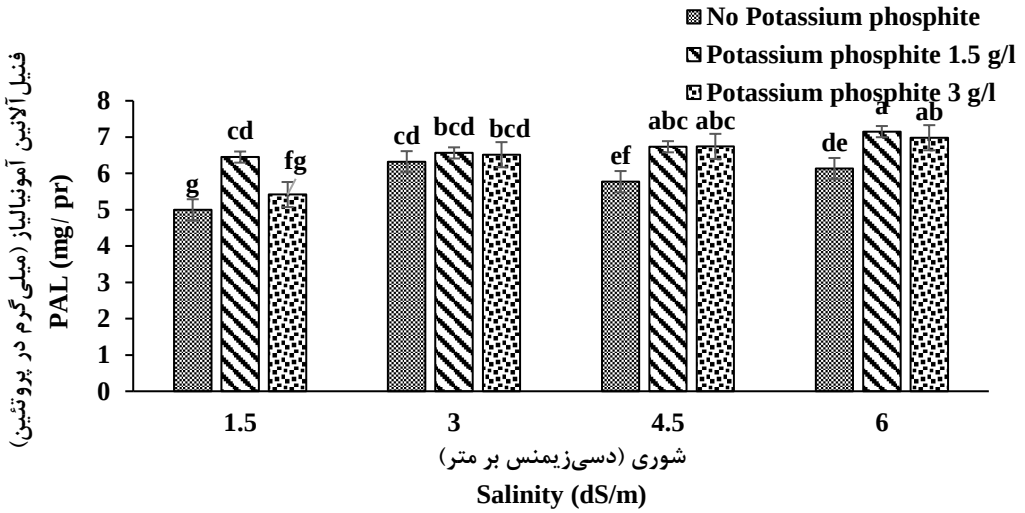
پروتئین

تیمار نمک از میزان پروتئین برگ لیموترش کاست. نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۱۸/۹ درصدی پروتئین نسبت به تیمار تنش شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین میزان پروتئین (۱۶/۹۱ میکروگرم در میلی‌لیتر) در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان پروتئین (۱۳/۷۱ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد، هر چند که با سطوح ۳ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول۱). فسفیت پتاسیم (۳ گرم در لیتر) منجر به افزایش ۳۶/۹ درصدی میزان پروتئین نسبت به گیاهان بدون کاربرد فسفیت پتاسیم شد. به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین (۱۸/۱۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر) در تیمار ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و کمترین میزان پروتئین (۱۱/۴۵ درصد) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد (جدول ۱).

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش شوری میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز روند افزایشی نسبت به گیاهان شاهد داشت به‌طوری‌که نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش ۱۸/۵۹درصدی آنزیم نسبت به شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر در گیاهان شاهد شد. همچنین کاربرد فسفیت پتاسیم سبب بهبود بهتر این آنزیم در شرایط تنش شوری نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. کاربرد فسفیت پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر با سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش ۳۰/۲۰ درصدی این آنزیم (۷/۱۵ میلی‌گرم در پروتئین) نسبت به گیاهان شاهد با تنش شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر (۴/۹۹ میلی‌گرم پروتئین) شد. فعالیت این آنزیم مربوط در دو سطح فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۳و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۳).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

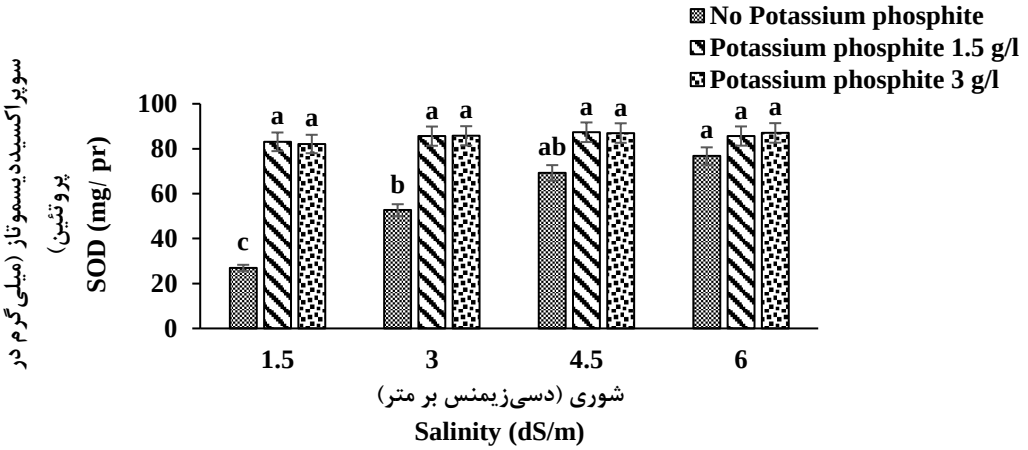


شکل ۳- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز در لیموترش. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 3. Interaction between salinity stress and phosphitepotassium on phenylalanine ammonialyase enzyme activity in lime. Values are the average of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز(SOD)

با افزایش سطح نمک از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش ۶۴/۸۶ درصدی در فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مشاهده شد. همچنین استفاده از ترکیب فسفیت پتاسیم در تمامی سطوح شوری باعث افزایش فعالیت این آنزیم شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۸۷/۳۳ میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر (۶۹/۱ درصد افزایش فعالیت آنزیم نسبت به گیاهان شاهد) و کمترین فعالیت آنزیم (۲۶/۹۷ میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود (شکل ۴).



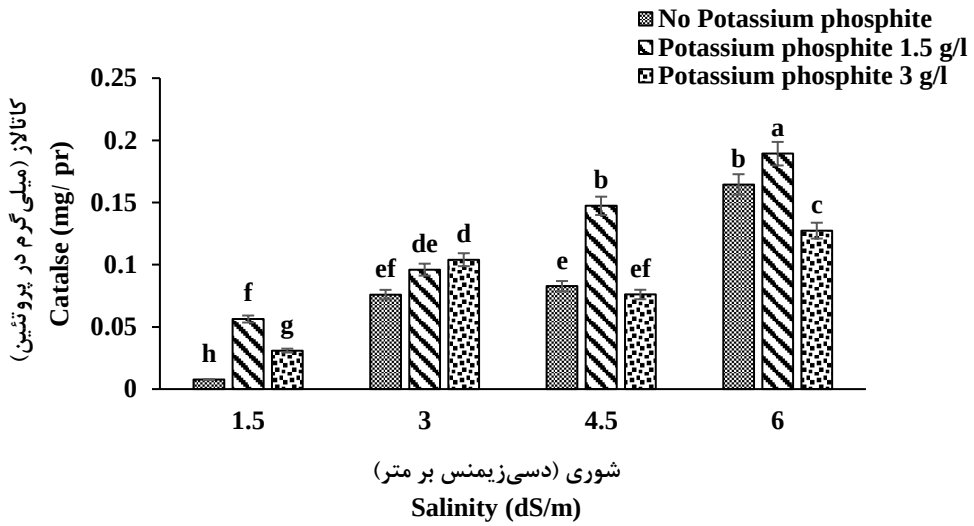
شکل ۴- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در لیموترش مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 4. Interaction between salinity stress and potassium phosphite on superoxide dismutase enzyme activity in lime. Values are the average of three repetitions and identical letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

آنزیم کاتالاز

افزایش نمک از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر سبب افزایش ۹۵/۲۵ درصدی در فعالیت آنزیم کاتالاز شد. همچنین استفاده از ترکیب فسفیت پتاسیم در تمامی سطوح شوری باعث افزایش فعالیت این آنزیم شد. بیشترین فعالیت آنزیم (۰/۱۸ میلی‌گرم در پروتئین) مربوط به تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین فعالیت مربوط به تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. گیاهان تیمار شده با نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سطح ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم دارای ۹۵/۹۷ درصد فعالیت بیشتر آنزیم در مقایسه با گیاهان تیمار شده با نمک ۱/۵دسی‌زیمنس بر متر در سطح بدون کاربرد فسفیت پتاسیم شد (شکل ۵).



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

Fig. 5. The interaction effect of salinity stress and potassium phosphite on catalase enzyme activity in lime. Values are the average of three repetitions and identical letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

آنزیم گایاکول‌پراکسیداز

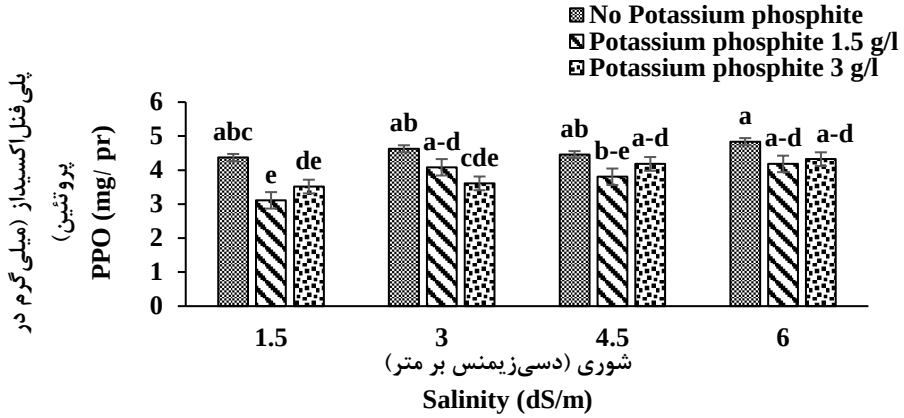
نتایج به‌دست آمده نشان داد که نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با سطح نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش ۲۷/۵ درصدی در فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز را باعث شد. بیشترین فعالیت این آنزیم (۰/۲۹ میلی‌گرم در پروتئین) در نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود که با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. کمترین فعالیت آنزیم (۰/۲۱ میلی‌گرم در پروتئین) نیز به نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر تعلق داشت (جدول ۱). تیمار گیاهان با فسفیت پتاسیم باعث افزایش این آنزیم نسبت به گیاهان شاهد شد به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با غلظت ۳ گرم در لیتر از فسفیت پتاسیم ۶۵/۷ درصد افزایش فعالیت آنزیم در مقایسه با گیاهان شاهد را داشتند. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم (۰/۳۸ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و کمترین فعالیت (۰/۱۳ میلی‌گرم در پروتئین) در تیمار بدون کاربرد فسفیت پتاسیم مشاهده شد (جدول ۱).

آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز

نتایج نشان داد که شوری در سطوح بالاتر سبب افزایش آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و کاربرد فسفیت پتاسیم در شرایط تنش شوری سبب کاهش فعالیت این آنزیم شد. بیشترین فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز (۴/۸۳ میلی‌گرم پروتئین) در تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر در گیاهانی که فسفیت‌پتاسیم را دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. کمترین فعالیت آنزیم (۳/۱۱ میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. به طور کلی تیمار

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش ۳۵/۶ درصدی فعالیت پلی‌فنول‌اکسیداز نسبت به تیمار شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر در سطح بدون فسفیت‌پتاسیم شد (شکل ۶).

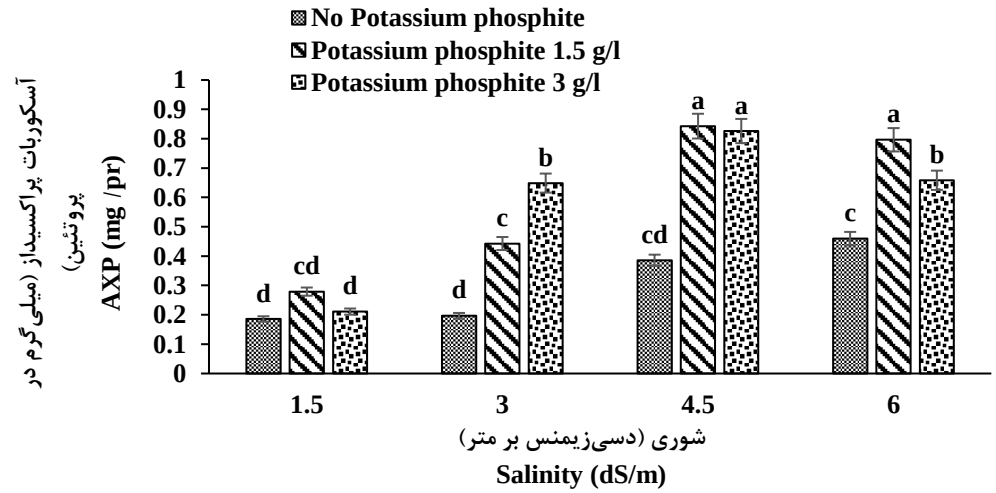


شکل ۶- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز لیموترش. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 6. The mutual effect of salt stress and potassium phosphite on the activity of lime polyphenol oxidase enzyme. Values are the average of three repetitions and identical letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش سطح نمک بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز افزوده شد به‌طوری‌که تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش ۶۰ درصدی در فعالیت آنزیم در مقایسه با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. همچنین کاربرد فسفیت پتاسیم سبب بهبود فعالیت این آنزیم در شرایط تنش شوری شد. تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر در سطح نمک ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به افزایش ۷۸/۵ درصدی فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز نسبت به گیاهان شاهد در سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز (۰/۸۴ میلی‌گرم پروتئین) مربوط به تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم‌درلیتر و نمک ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که با تیمار ۳ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم در همان سطح شوری اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین فعالیت آنزیم (۰/۱۸ میلی‌گرم پروتئین) نیز به تیمار نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر در گیاهان بدون فسفیت پتاسیم تعلق داشت. (شکل ۷).



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

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

Fig. 7. The interaction effect of salt stress and potassium phosphite on the activity of lime ascorbic peroxidase enzyme. Values are the average of three repetitions and identical letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

بحث

شوری سبب تغییرات ساختاری شامل کاهش طول ریشه، کاهش شاخساره، کاهش تعداد دستجات آوندی و افزایش سلول‌های پارانشیمی در گیاهان می‌شود . گیاهان با افزایش سطح ریشه به شاخساره و جذب بهتر آب، با شرایط تنش مواجه می‌شوند. در تنش شدید اما، ریشه به‌تدریج ضعیف شده و در نهایت از بین خواهد رفت (Azizi *et al*., 2021). تجمع بیش از حد Na^+ در بافت‌های رویشی گیاهان مورینگا (*Moringa oleifera*) با آسیب به برگ و کاهش رشد ساقه‌های آن‌ها همراه بود (Azeem *et al*., 2023). شوری (۱۵ دیسی‌زیمنس بر متر) سبب کاهش تعداد برگ، طول ریشه و محتوای آب نسبی برگ در گیاه پسته شد (Yazdi Sajjadi *et al*., 2020). همچنین تنش شوری باعث کاهش تعداد برگ و طول شاخساره در گیاه زیتون شده است (Hasani *et al*., 2021). شوری شدید، باعث کاهش رشد ریشه، کلروز، نکروز و ریزش برگ و در نهایت مرگ درختان مرکبات شده است (Syvertsen and Garcia-Sanchez, 2014). در پژوهش حاضر نیز، شوری موجب کاهش رشد رویشی در گیاه لیمو ترش 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 مواجه شده با تنش کمک می‌کند. کاربرد پتاسیم با افزایش نسبت پتاسیم به سدیم، موجب بهبود عملکرد و رشد در مرکبات می‌شود (Uthman and Garba, 2023). در پژوهشی بر نارنج سه برگ (*Poncirus trifoliata*) در مواجه با تنش شوری، کود پتاسیمی ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، فتوسنتز برگ را با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌میزان ۳۰ درصد افزایش داده، از زرد شدن و سوختن برگ‌ها تحت تنش شوری جلوگیری کرده و باعث افزایش رشد رویشی شد (Zhang *et al*., 2023 a). کاربرد فسفیت پتاسیم در گندم 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 پژوهش حاضر نیز، کاربرد فسفیت‌پتاسیم سبب بهبود رشد رویشی لیموترش شد. در صورت بروز تنش‌های غیر زیستی، 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 باعث پراکسیداسیون لیپیدی غشا می‌شود (Slama *et al*., 2015). مالون‌دی‌آلدئید یکی از مهم‌ترین محصولات پراکسیداسیون لیپید غشایی و نشان‌دهنده میزان آسیب به سیستم غشایی تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی است. پراکسیداسیون غشا همچنین باعث نشت یونی می‌شود. 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 مالون‌دی‌آلدئید در ژنوتیپ های مرکبات در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Gulain *et al*., 2014). در آزمایش حاضر نیز، تنش شوری با افزایش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید در گیاه لیموترش همراه بود.

کاربرد پتاسیم در گیاهان با محدود نمودن جذب و انتقال کلرید سدیم، باعث یکپارچگی و انسجام غشاء سلولی و در نتیجه ممانعت از نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید در سلول می‌شود (Shool *et al*., 2023). 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 مالون‌دی‌آلدئید شده بود. در این پژوهش نیز، تیمار فسفیت پتاسیم در هر دو غلظت باعث کاهش نشت یونی و محتوای مالون‌دی‌آلدئید در گیاه لیموترش شد.

براساس نتایج پژوهش حاضر، با افزایش سطح نمک، میزان پروتئین در برگ لیموترش کاهش پیدا کرد. کاهش مقدار پروتئین در گیاهان مواجه شده 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*.,

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

2023). کاهش میزان پروتئین و افزایش محتوای پرولین در اثر تنش شوری در انجیر (*Ficus carica*) گزارش شد (Salimpour *et al*., 2018).

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). کودهای حاوی پتاسیم و فسفر در گیاهان زغال اخته، محتوای پروتئین محلول را تا ۲/۱۱ برابر افزایش داد (Guo *et al*., 2022; Zhang *et al*., 2023 b).

یکی از سازوکارهای دفاع غیرآنزیمی برای رویارویی با تنش اکسیداتیو در گیاهان، تجمع ترکیب‌های فنولی است. فنول‌ها، متابولیت‌های ثانویه‌ی گیاهی هستند که از مسیر شیکمیک اسید و از متابولیسم فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند می‌دهد (Kumar *et al*., 2013). ترکیبات فنولی 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. افزایش مقدار فنول‌های محلول به‌ویژه پیش‌سازهای بیوسنتز لیگنین، با افزایش 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 پژوهش حاضر با افزایش تنش شوری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی در گیاه لیموترش افزایش یافت.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار فسفیت پتاسیم سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی در گیاه لیموترش 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 فنول کل (۱/۲۳ برابر) (Zhang *et al*., 2023 b) و بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همراه بوده است (Guo *et al*., 2022). همچنین محلول‌پاشی با نیترات پتاسیم و فسفات مونوپتاسیم باعث افزایش افزایش پروتئین، فنول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پرتقال والنسیا شد (Uthman and Garba, 2023).

تنش شوری موجب افزایش تولید آنیون‌های مخرب ازجمله 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. افزایش تجمع آنزیم‌های کاتالاز، گلوتاتیون ردوکتاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز باعث تبدیل پراکسید هیدروژن تولید شده به ترکیبات بی اثر می‌شود (Azizi *et al*., 2021). همچنین با تجمع ترکیبات فنولی در واکوئل، غشاهای نفوذپذیری انتخابی خود را ازدست‌داده و فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سیتوپلاسم سلول افزایش می‌یابد (Stepheniea *et al*., 2020). تاثیر تنش شوری در افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در انجیر (Salimpour *et al*., 2018) هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر در خصوص افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور در گیاه لیموترش است.

در پژوهش حاضر با افزایش تنش شوری فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز و فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه لیموترش افزایش یافت. گایاکول پراکسیداز از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که از ترکیبات فنولی مثل گایاکول برای سم‌زدایی و تجزیهٔ 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).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

پتاسیم با تاثیر بر جذب روی و مس، که نقش کوفاکتور برای برخی آنزیم‌ها را دارند، باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. تیمار با پتاسیم در تاماریکس تحت تنش نمک، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز شده است (Chen *et al*., 2023). در پژوهش حاضر، تیمار با فسفیت پتاسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و فنیل آلانین آمونیالیاز و کاهش میزان آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز در گیاه لیموترش گزارش شد. در تایید نتایج مطالعه حاضر، کاربرد سولفات پتاسیم باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه گردو (Darvishi and Ershadi, 2019)، کاربرد کود فسفر منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات‌پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در گیاه گریپ‌فروت (Meng *et al*., 2021) و همچنین کاربرد کود فسفر و پتاسیم سبب کاهش میزان آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و افزایش آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در گیاه زیتون (Dabbaghi *et al*., 2018) شده است.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد در مواجه با سطوح بالاتر نمک، بر میزان مالون‌دی‌آلدئید و نشت یونی افزوده و از تعداد برگ، حجم ریشه، طول ساقه و ریشه کاسته شد. تیمار گیاهان لیموترش با فسفیت پتاسیم با بهبود ویژگی‌های رویشی، باعث بهبود فعالیت آنزیم‌ها، کاهش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید شد. در مجموع این مطالعه نشان داد که تیمار ۱/۵ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم به عنوان راهکاری مناسب در گیاهان مواجه شده با شوری قابل توصیه است.

منابع References

Abedi, B., B. Esfandiari, S.R. Vasal., & G.M. Davodinejad. (2021). The effect of different levels of chitosan on some physiological characteristics of citrus dicotyledons under salt stress. *Journal of Plant Research*, *6*(2), 91-100. (in Persian).

Akter, S., Huang, J., Waszczak, C., Jacques, S., Gevaert, K., Van Breusegem, F., & Messens, J. (2015). Cysteines under ROS attack in plants: a proteomics view. *Journal of Experimental Botany*, *66*(10), 2935-2944.

Azeem, M., Pirjan, K., Qasim, M., Mahmood, A., Javed, T., Muhammad, H., & Rahimi, M. (2023). Salinity stress improves antioxidant potential by modulating physio-biochemical responses in Moringa oleifera Lam. *Scientific Reports*, *13*(1), 2895.

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*(6), 417-423.

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*(1-2), 248-254.

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.

Dabbaghi, O., Oden, S., Willems, T., Attia, F., Hammami, M., Prinsen, E., & Mechri, B. (2018). Foliar application of bio-fertilizers influenced the endogenous concentrations of phytohormones and amino acids in leaves and roots of olive trees (Olea europaea L. cv. Chemlali). *African journal of agricultural research*, *13*(34), AFC351B58218.

Danaee, E., & Abdossi, V. (2018). Effect of different concentration 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*(3), 171-182.

Darjani, F., S. Shahnazari, H. Ebadi, B. Adouli, A. Gholamian, J. Fatahi Moghadam, M. Golmohammadi, B. Moradi, Y. Mohammad Aliyan., & S. Abu Ahsani Yasuri. (2013). Guide to citrus fruit (planting, growing, harvesting), Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Vice President of Education and Promotion. *Agricultural Education Public*. (in Persian).

Darvishi, A & A. Ershadi. (2019). The effect of potassium sulfate application on quantitative and qualitative characteristics of Chandler walnut fruit. Nutrition and Irrigation (poster), the 12th Cong. *Horticultural Science Iran*. 14 to 17 September - Vali Asr Univ. Rafsanjan.

Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*, *196*, 82-90.

Gulain, B., V. Rabiei, F. Mirabbasi, R. Fifaei., & M.F. Halaji Sani. (2014). Investigating the effect of salinity stress on physiological and biochemical traits of citrus genotypes. *Journal of Horticultural Science*, *29*(3), 416-425. (in Persian).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

Guo, X., Li, S., Wang, D., Huang, Z., Sarwar, N., Mubeen, K., & Hussain, M. (2021). Effects of water and fertilizer coupling on the physiological characteristics and growth of rabbiteye blueberry. *PloS one*, *16*(7), e0254013.

Hasani, A., H. Shirzad, R. Jalili-Marandi., & A. Samadi. (2021). Morphological and physiological responses of two olive cultivars to salinity stress caused by sodium chloride. *Applied soil research*, 9, 101-88. (in Persian).

Hossain, A., Azeem, F., Shahriar, S. M., & Islam, M. T. (2021). Regulation of proline transporters in salt stress response in plants. In *Transporters and Plant Osmotic Stress* (pp. 291-306). Academic Press.

Kaboodkhani, M., Salek Mearaji, H., Aghaei, K., & Tavakoli, A. (2023). Investigation of the effect of salinity stress on physiological traits and grain yield of quinoa cultivars. *Journal of Crops Improvement*, *25*(1), 221-233.

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.

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.

Mohammed, U., Davis, J., Rossall, S., Swarup, K., Czyzewicz, N., Bhosale, R., ... & Swarup, R. (2022). Phosphite treatment can improve root biomass and nutrition use efficiency in wheat. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 4261.

Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, *59*, 651-681.

Pashangah, Z., M. Shamili, F. Abdulahi., & M. Ghasemi. (2019). Interaction of salinity and gibberellin on leaf fall, dry matter, activity of antioxidant enzymes and content of elements in guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of Plant Research*, *31*, 809-826. (in Persian).

Saberi-Riseh, R., Fathi, F., & Moradzadeh-Eskandari, M. (2020). Effect of some Pseudomonas fluorescens and Bacillus subtilis strains on osmolytes and antioxidants of cucumber under salinity stress. *Journal of Crop Protection*, *9*(1), 1-16.

Salimpour, A., M. Shamili, A. Dadkhodaei, H .Zare., & M. Haddanijad. (2018). The effect of salinity on the content of antioxidant enzymes, photosynthetic pigments, protein and proline in fig cultivars (*Ficua carica). Plant Process and Function*, *8*, 109-123. (in Persian).

Shool, A., 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*(1), 71-93.

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*(3), 647-653.

Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., & Savouré, A. (2015). Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of botany*, *115*(3), 433-447.

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*(10), 1316-1327.

Srivastav, M., Kishor, A., Dahuja, A., & Sharma, R. R. (2010). Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (Mangifera indica L.). *Scientia Horticulturae*, *125*(4), 785-788.

Stepheniea, S., Y. Ping Changb A. Gnanasekaranc, N. Mohd Esad., & Ch. Gnanaraj. (2020). An insight on superoxide dismutase (SOD) from plants for mammalian health enhancement. *Journal of Functional Food*, *68*, 1-10.

Syvertsen, J. P., & Garcia-Sanchez, F. (2014). Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, *103*, 128-137.

Uthman, A., & Garba, Y. (2023). Citrus Mineral Nutrition and Health Benefits: A Review. *Citrus Research-Horticultural and Human Health Aspects*.

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).

Vives-Peris, V., López-Climent, M. F., Moliner-Sabater, M., Gomez-Cadenas, A., & Perez-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*, 1145625.

Wu, S., Zhang, C., Li, M., Tan, Q., Sun, X., Pan, Z., ... & Hu, C. (2021). Effects of potassium on fruit soluble sugar and citrate accumulations in Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Scientia Horticulturae*, *283*, 110057.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

Yazdi Sajjadi, A., A. Panahpour, H. Nadian., & A. Vaghlami. (2020). The effect of sodium chloride salinity on some growth and morphological characteristics in three varieties of pistachio. Scientific. *Journal of Garden Plant Nutrition*, *3*(2), 17-28. (in Persian).

Ye, S., & Peng, B. (2019, November). Effects of application of nitrogen, phosphorus and potassium on soil fertility and enzyme activities of pear jujube under straw mulching. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 384, No. 1, p. 012098). IOP Publishing.

Zhang, M., Li, X., Wang, X., Feng, J., & Zhu, S. (2023). Potassium fulvic acid alleviates salt stress of citrus by regulating rhizosphere microbial community, osmotic substances and enzyme activities. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1161469.

Zhang, X., Li, S., An, X., Song, Z., Zhu, Y., Tan, Y., ... & Wang, D. (2023). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization on the yield and berry quality of blueberry. *Plos one*, *18*(3), e0283137.

Zhao ZuoPing, Z. Z., Duan Min, D. M., Yan Sha, Y. S., Liu ZhiFeng, L. Z., Wang Qi, W. Q., Fu Jing, F. J., & Tong Yan'an, T. Y. A. (2017). Effects of different fertilizations on fruit quality, yield and soil fertility in field-grown kiwifruit orchard. *Internationa Journal of Agriculture and Biology Engineering*, *10(2)*, 162–171.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 24 (4): 469-484 (2023)
Research article

The Impact of Potassium Phosphite on Growth Parameters and Antioxidant Activities of Lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) under Salinity Conditions

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
*Corresponding Author, Email: (shamili@ut.ac.ir)

Salinity is among the abiotic stresses restricts citrus growth. In this regard, the selection of appropriate method to improve growth characteristics and antioxidant response under salt stress conditions can be useful. The present pot research was conducted as factorial reperiment in a completely randomized design with three replications in the greenhouse of University of Hormozgan during 2021. The used lime plants were six-month-old seedlings (height about 60 cm) healthy and disease-free. Experimental treatments were included salinity (1.5, 3, 4.5, and 6 dS/m) and potassium phosphite (0, 1.5, and 3 g L^{-1}). The results revealed the 6 dS/m of salt led to a decrease in leaf number, stem length and root volume (25.27, 13.8 and 47.8% respectively) and increased ion leakage and malondialdehyde (50.47 and 34.5%, respectively). Application of potassium phosphite (1.5 g L^{-1}) increased leaf number, stem length, root volume and root length (33.87%, 32.38%, 15.5% and 11.05%, respectively). In addition, the potassium phosphite treatment increased protein content and activity of catalase, superoxide dismutase, phenylalanine ammonialyase, guaiacol peroxidase and ascorbic peroxidase (36.9, 95.97, 69.1, 30.20, 65.7 and 78.5%, respectively) and decreased ion leakage and malondialdehyde (75.7% and 40.6%, respectively). Based on the results, it can be expected that potassium phosphite (1.5 g L^{-1}) by stimulating the antioxidant system and neutralized oxygen free radicals, improves growth characteristics and moderates the harmful effects of salinity stress in lime.
Keywords: Antioxidant enzyme, Ion leakage, Phenol, Sodium chloride, Stem length.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-05]