مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۵ شماره ۱ صفحه های ۷۷ تا ۹۲ (۱۴۰۳)
مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر فسفیت پتاسیم بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و جذب عناصر در گیاه نارنج (*Citrus aurantium* L.) درشرایط تنش شوری

Investigating the Effect of Potassium Phosphite on Morphological Characteristics and the Absorption of Elements in Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) under Salinity Stress

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

۱- گروه علوم باغبانی،دانشگاه هرمزگان،بندرعباس

۲- * پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳- بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک:(shamili@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱

چکیده

نارنج از پایه‌های متحمل به سرما، خشکی و مناسب کاشت در خاک‌های با زهکشی ضعیف است. از آنجا که شوری یکی از تنش‌های مخرب بر رشد مرکبات است پس ارائه راهکار مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن می‌تواند موثر باشد. به‌منظور بررسی تاثیر آب شور و فسفیت پتاسیم بر گیاه نارنج، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار به‌صورت گلدانی انجام شد. گیاهان مورد استفاده، دانهال‌های شش‌ماهه نارنج (ارتفاع حدود ۶۰سانتی‌متر) سالم و عاری از بیماری بودند. تیمارها شامل شوری (۱/۵ ،۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر) و فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که سطح شوری شدید منجر به کاهش وزن تر و خشک ساقه (به‌ترتیب ۶۳ و ۶۰/۲۲ درصد)، محتوای نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم و آهن (به‌ترتیب ۴، ۱۵/۷، ۸، ۱۸/۶ و ۱۲/۲ درصد) در نارنج شد. تیمار فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) باعث افزایش محتوای پتاسیم، فسفر، نیتروژن، آهن (به‌ترتیب ۳۲/۶، ۲۰/۶، ۱۹/۷ ، ۴۶/۵ درصد)، وزن تر و خشک ساقه (به‌ترتیب ۶۳/۹ و ۶۰/۲ درصد)، وزن تر و خشک ریشه (به‌ترتیب ۵۸/۱۸ و ۶۱/۰۱ درصد) شد. به طور کلی، کاربرد فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) منجر به بهبود ویژگی‌های ریخت‌شناسی، جذب عناصر و کاهش اثرات نامطلوب شوری در نارنج شد.

واژه‌های کلیدی: تنش نمک، عناصر پرمصرف، عناصر کم‌مصرف، وزن تر، وزن خشک.

مقدمه

گیاهان در محیط‌های پویا و تنش‌زا رشد می‌کنند که این محیط‌ها همیشه برای رشد و نمو آن‌ها مطلوب نیستند. تنش‌های غیرزیستی مانند شوری، خشکی، سرما و فلزات سمی، ناشی از تغییرات مداوم اقلیم و زوال محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی، بر رشد و تولید گیاه تأثیر منفی می‌گذارند. افزایش نمک تحت عنوان شور شدن (Shrivastava and Kumar, 2015) شناخته می‌شود. شوری چالشی جهانی است که تقریباً ۷ درصد از زمین‌های کل جهان، ۲۰ درصد از زمین‌های زیرکشت دنیا و نزدیک به نیمی از زمین‌های آبی را تحت تاثیر قرار داده است. علاوه‌براین، سالانه ۱۰ درصد به مناطق شور اضافه می‌شود، به‌عبارتی تا سال ۲۰۵۰، بیش از ۵۰ درصد از زمین‌های قابل کشت شور می‌شوند (Gupta and Huang, 2014). شوری خاک اثرات منفی قابل توجهی بر رشد و بهره‌وری گیاهان دارد که ناشی از عرضه نامتعادل مواد جذب شده یا هورمون‌های رشدی به بافت‌های در حال رشد است. همچنین سمیت یونی در خاک شور می‌تواند به محدود کردن رشد گیاه، به‌دلیل جایگزینی پتاسیم توسط سدیم در واکنش‌های بیوشیمیایی و تغییرات ساختاری در پروتئین‌ها منجر شود (Assaha *et al*., 2017). شوری به‌طور موقت چرخه سلولی را، با تداخل در فعالیت سیکلین‌ها و کینازها، محدود کرده، در نتیجه سلول‌های کمتری در مریستم تولید شده و

در نهایت رشد را محدود می‌کند (Shrivastava and Kumar, 2015). رشد مرکبات نیز در مواجه با شوری دچار اختلال می‌شود. شوری باعث تنش اسمزی، سمیت یونی، به‌هم خوردن تعادل یون‌ها می‌شود و همچنین سبب تغییرات ریخت‌شناسی و آناتومیکی در اکثر پایه‌های مرکبات می‌شود(Murkute *et al*., 2005). نارنج[۱] از تیره Rutaceae، درختی با ارتفاع ۵-۴ متر ، جزء مرکبات ترش مزه است که منشاء آن نواحی شمالی هندوستان می‌باشد (Suryawanshi, 2011). نارنج از پایه‌های رایج مرکبات، متحمل به سرما، خشکی و بیماری گموز است. ارقام پیوندی روی این پایه قدرت رشدی متوسط و تاجی متوسط تا بزرگ دارند. این گیاه سیستم ریشه‌ای عمیق و منشعبی داشته و لذا پیوندک‌های مستقر روی آن به خشکی تحمل نسبتاً خوبی دارند. عملکرد درختان پیوندی روی نارنج در خاک‌های شنی مناسب، ولی کمتر از پایه راف لمون، ماکروفیلا و یا ولکامریانا می‌باشد. میوه ارقام پیوندی روی نارنج، که از کیفیت مطلوبی نیز برخوردار هستند، را می‌توان به‌خوبی برای مدت طولانی روی درخت نگهداری کرد. سازش این پایه با پرتقال‌های نافدار بسیار خوب است و میوه پرآب و معطر خواهد شد (Suryawanshi, 2011).

آسیب ناشی از تنش شوری به یک نگرانی جهانی برای کشاورزان تبدیل شده است (Gupta and Huang, 2014). در پژوهشی تاثیر تنش شوری روی نارنج سه برگ[۲] توسط Zhang و همکاران (۲۰۲۳) انجام شد که نتایج بیانگر کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی، کاروتنوئید و کاهش عنصر پتاسیم بود. همچنین گزارش شد که تنش شوری منجر به کاهش برخی شاخص‌های ریخت‌شناختی مانند وزن تر و خشک گیاه شد. گزارش Wen و همکاران (۲۰۲۱) ، حاکی از آن بود که اعمال تنش شوری در پرتقال ناول منجر به کاهش جذب پتاسیم و افزایش میزان سدیم می‌شود. نتایج آزمایشی نشان داد که تنش شوری منجر به کاهش میزان پتاسیم و افزایش سدیم و کاهش برخی فاکتورهای ریخت‌شناختی و بیوشیمیایی مانند پروتئین و رنگیزه‌های فتوسنتزی پرتقال می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از ترکیباتی که تحمل گیاهان را به تنش‌های محیطی افزایش داده و منجر به بهبود فعالیت‌های متابولیکی در گیاه شوند، مورد توجه قرار گرفته است. فسفیت[۳] که از نظر تعداد اکسیژن و هیدروژن با فسفات[۴] تفاوت دارد، سرعت حرکت بیشتری نسبت به فسفات داشته، لذا طی زمان کوتاهی در سرتاسر اندام‌های گیاهی منتشر می‌شود. از دیگر ویژگی‌های فسفیت می‌توان به کنترل طیف گسترده‌ای از عوامل بیماری‌زای قارچی، از طریق تحریک (مستقیم یا غیرمستقیم) پاسخ‌های دفاعی میزبان اشاره کرد (Deliopoulos *et al*., 2010). تأثیر مستقیم شامل کنترل رشد قارچ و کاهش یا تغییر سوخت‌وساز عامل بیماری‌زا و تأثیر غیرمستقیم شامل تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه مانند افزایش تولید فیتوالکسین‌ها و گونه‌های اکسیژن فعال[۵]، القای پروتئین‌های خاص و تقویت دیوارهای سلولی است (Lobato *et al*., 2008).

به گزارش Rickard (۲۰۰۰)، کاربرد برگی فسفیت منجر به افزایش رشد، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول پرتقال[۶] می‌شود. در گزارشی دیگر، کاربرد توام فسفیت پتاسیم و کود اسید بوریک (۳۰۰۰ میلی‌گرم‌درلیتر) در زمان باز شدن ۵۰ درصد گل‌های ارقام عسگری، سفیدالی و رازقی انگور[۷] باعث افزایش میزان تشکیل میوه و عملکرد محصول شد (Rasouli, 2016). در بررسی تاثیر فسفر در جذب عناصر و شاخص‌های رشدی، جذب عناصر مغذی آهن، حدود ۴۶/۵ درصد، روی و پتاسیم را به‌ترتیب ۶۰ و ۵۰ درصد نسبت به سطح شاهد در شرایط تنش خشکی افزایش پیدا کرد که این افزایش جذب می تواند ناشی از افزایش رشد ریشه و ویژگی‌های آن باشد (Moosavi *et al*., 2022).

از آنجا که شوری از تنش‌های مخرب بر رشد مرکبات است، ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن می‌تواند بر کیفیت و ترکیبات پیوندی این گیاهان موثر باشد. گزارش های اندکی در مورد بهبود تحمل به تنش شوری از طریق تیمار با فسفیت پتاسیم در مرکبات وجود دارد، ضمن اینکه تا کنون پژوهشی در خصوص اثربخشی تیمار مذکور بر پایه نارنج انجام نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، مطالعه آثار شوری و فسفیت پتاسیم بر خصوصیات ریخت‌شناسی و جذب عناصر در برگ و ریشه پایه نارنج است.

۱- *Citrus aurantium* L. ۲- *Poncirus trifoliate* ۳- H2PO-3 ۴- HPO4-2 ۵- ROS ۶- *Citrus sinensis* ۷- *Vitis vinifera*

مواد و روش‌ها

آماده سازی 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 در آمد. گیاهان نارنج مورد استفاده، دانهال‌های شش‌ماهه (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) 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 درجه‌سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۷۴ درصد نگهداری شدند. هشت هفته پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار شوری آغاز شد. نمک مورد استفاده کلرید سدیم[۱] در آب مقطر حل شد. مقادیر ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر 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 دسی‌زیمنس‌برمتر)، تیمار نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر 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 دسی‌زیمنس‌برمتر) آبیاری شدند (Pashangeh *et al*., 2020). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. طی مدت اعمال تیمار، گیاهان با محلول غذایی هوگلند تغذیه شدند. فسفیت‌پتاسیم[۲] مورد استفاده در این آزمایش از شرکت موررا اسپانیا[۳] بود. تیمار آبیاری با فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم‌درلیتر) 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 دسی‌زیمنس‌برمتر و عدم تیمار فسفیت پتاسیم به‌عنوان شاهد درنظر گرفته شدند.

هشت هفته پس از اتمام دوره ، صفات زیر در گیاهان نارنج ارزیابی شد.

شاخص‌های ریخت‌شناختی

ویژگی‌های وزن تر و خشک (ساقه و ریشه) به‌وسیله ترازوی دیجیتالی ثبت شد.

سنجش عناصرسدیم، پتاسیم و کلسیم (برگ و ریشه)

تعیین عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم از روش Kalra (۱۹۹۸) از طریق هضم خشک انجام شد. برای این منظور یک گرم از بافت برگ و ریشه خشک شده در آون ۷۵ درجه، در کوره‌ای با دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۱۲ ساعت به خاکستر سفید رنگی تبدیل شدند. بعد از خارج کردن هر نمونه به آن‌ها چند قطره آب اضافه شد و پس از چند دقیقه ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۲ مولار به آن اضافه و به‌مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در یک بالن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و حجم آن به‌وسیله آب دوبار تقطیر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سنجش یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در اندام‌های مذکور به وسیله دستگاه شعله سنج[۴] اندازه‌گیری شد و غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم از روابط یک و دو محاسبه شد.

رابطه ۱:

$$Ion\ \% = \frac{(a-b) \times V \times df \times 5 \times 100}{\mathrm{W} \times 10000}$$

رابطه ۲:

$$Ion\left(\frac{mg}{kg}\right) = \mathrm{ion}\% \times 10000$$

۱- Merck, Germany ۲- H2KO3P ۳- Spain, Morera ۴- Flame photometer

a- غلظت یون در محلول‌های نمونه گیاهی بر حسب میلی‌گرم‌درلیتر، b - غلظت یون در محلول شاهد بر حسب میلی‌گرم‌درلیتر، V- حجم عصاره حاصل از هضم بر حسب میلی لیتر (در این روش عدد ۵۰)، df – درجه رقیق‌سازی (در اینجا ۵۰) و w- وزن نمونه خشک گیاه استفاده شده در هضم بر حسب گرم (در اینجا یک گرم)

سنجش فسفر (برگ و ریشه)

برای تعیین میزان فسفر، ۵ میلی‌لیتر از عصاره هضم خشک به بالون ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری انتقال داده شد و ۵ میلی‌لیتر آمونیوم مولیبدات-وانادات ۲۵ میلی‌لیتر اضافه شد و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از گذشت حدود یک ساعت و تشکیل ماده رنگی، جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام شد (Gupta *et al*., 1993).

سنجش نیتروژن (برگ و ریشه)

اندازه‌گیری عنصر نیتروژن با دستگاه کجلدال، پس از روش هضم در بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه انجام شد (Smith, 1979). ابتدا نمونه‌های خشک شده در آون ۷۵ درجه به‌خوبی پودر شدند و ۲/۳ میلی‌لیتر اسید شامل ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک و ۶ گرم اسید سالیسیلیک مخلوط شدند و بعد از ۲۴ ساعت، روی هیتر گذاشته شدند سپس ۵ قطره آب اکسیژنه به آن‌ها اضافه شد و تا دمای ۲۸۰ درجه سلسیوس روی هیتر قرار داده شدند. بعد از خروج بخار سفید، ۱۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد تا مواد رسوب شده حل شوند سپس به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. میزان ۲۰ میلی‌لیتر از محلول با ۱۵ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید[۱] ۴۰ درصد مخلوط کرده و به آن ۱۰ میلی‌لیتر اسید بوریک و چند قطره معرف ازت ریخته شد با استفاده از دستگاه تقطیر، تا ظهور رنگ سبز این عمل ادامه یافت. در مرحله بعد بورات آمونیوم سبز رنگ با اسید کلریدریک ۰/۰۱ نرمال تیتر شد تا رنگ قرمز آلبالویی ظاهر شود و میزان نیتروژن از رابطه ۳ بر حسب درصد محاسبه شد، واحد حجم مصرفی در این رابطه میلی‌لیتر می‌باشد (Smith, 1979).

رابطه ۳:

$$\text{درصد نیتروژن} = \frac{\text{حجم کل عصاره} \times \text{جرم مولکولی نیتروژن} \times \text{نرمالیته اسید مصرفی} \times \text{حجم اسید مصرفی}}{\text{وزن پودر برگ} \times 1000 \times \text{محلول هضم استفاده شده در تقطیر}} \times 100$$

سنجش مس و آهن (برگ)

اندازه‌گیری عناصر مس و آهن به‌روش جذب اتمی شعله‌ای در عصاره به‌روش هضم به‌طریق سوزندان خشک انجام شد. ابتدا نمونه گیاهی به‌صورت پودر تبدیل شد و با استفاده از محلول اسیدی اسید نیتریک ۶۵٪ و هیدروکلریک ۳۵٪ باعث عصاره‌گیری شد و پس از استخراج، محلول حاوی عناصر مورد نظر فیلتر و آماده برای تزریق به دستگاه جذب اتمی شد. برای اندازه‌گیری عنصر آهن و مس به‌ترتیب طول موج ۲۴۸ و ۳۲۴ نانومتر استفاده شد. محتوای این دو عنصر به‌صورت میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر گزارش شد (Bings *et al*., 2010).

واکاوی داده‌های آماری

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 دسی‌زیمنس‌برمتر) و فسفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. نرمال بودن داده‌ها با روش شاپیرو-ویلک[۲] 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 اکسل نسخه ۲۰۱۶ ترسیم شدند.

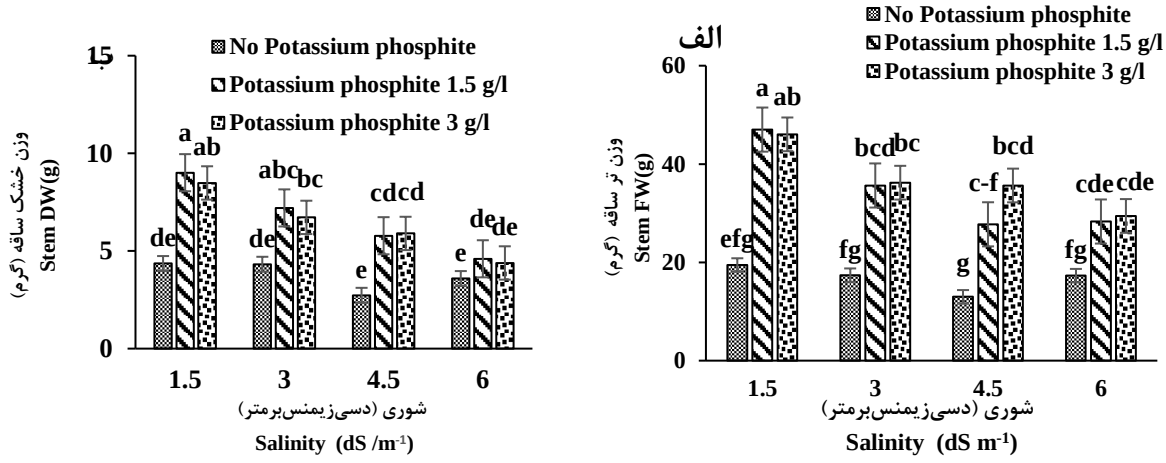
۱- NaOH

۲- Shapiro-Wilk

نتایج

وزن تر و خشک ساقه

اعمال تنش شوری (کلیه سطوح) در نارنج منجر به کاهش وزن تر و خشک ساقه شد. کمترین وزن تر و خشک ساقه در شرایط عدم تیمار فسفیت پتاسیم در سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر نمک مشاهده شد. تیمار فسفیت پتاسیم منجر به حفظ بهتر وزن تر وخشک گیاهان شد (به‌ترتیب ۶۳/۹ و ۶۰/۲ ٪). بیشترین وزن تر و خشک ساقه (۴۷ و ۹ گرم) در تیمار ۱/۵ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم در گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر ثبت شد (شکل ۱ الف و ب).

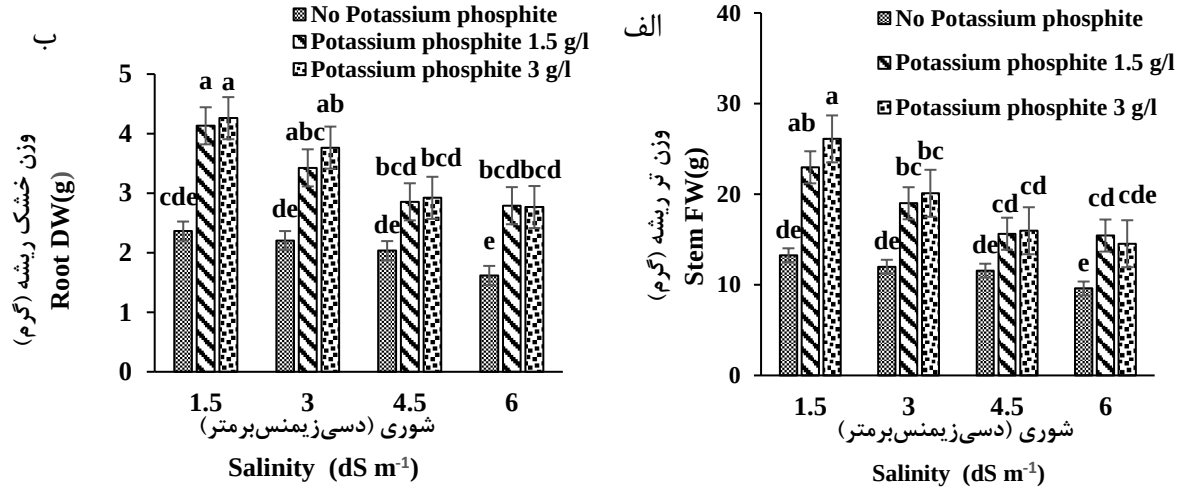


شکل ۱- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر وزن تر و خشک ساقه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.01$) است.

Fig. 1. The interaction of salinity and potassium phosphite on stem fresh and dry weight of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.01$).

وزن تر و خشک ریشه

نتایج به‌دست آمده نشان داد که اعمال تنش شوری از ۱/۵ تا ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر روی نارنج منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان وزن خشک ریشه شد. به‌طوری‌که کمترین وزن خشک ریشه در گیاهان بدون تیمار فسفیت‌پتاسیم و سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر مشاهده شد هر چند که در گیاهان بدون تیمار فسفیت‌پتاسیم، بین سطوح مختلف تنش شوری اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. تیمار فسفیت پتاسیم منجر به حفظ بهتر وزن خشک ریشه در شرایط تنش شوری شد و تاثیر غلظت ۳ گرم‌درلیتر بارزتر بود هر چند که در اکثر تیمارها با غلظت ۱/۵ گرم‌درلیتر اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نشان نداد. بیشترین وزن تر ریشه نیز با میزان ۲۶/۱ گرم در گیاهان تیمار شده با فسفیت‌پتاسیم (غلظت ۳ گرم‌درلیتر) در سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر تنش شوری مشاهده شد (شکل ۲ الف). بیشترین وزن خشک ریشه نیز با میزان ۴/۲۶ گرم در غلظت ۳ گرم‌درلیتر فسفیت‌پتاسیم مشاهده شد هر چند که با غلظت ۱/۵ گرم‌درلیتر در همین سطح و غلظت‌های ۱/۵ و ۳ گرم‌درلیتر سطح ۳ دسی‌زیمنس‌برمتر تنش شوری اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت (شکل ۲ب).

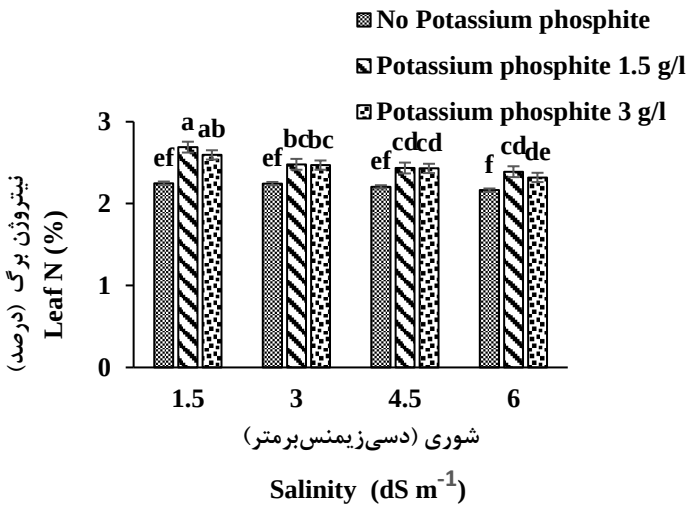


شکل ۲- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر وزن تر و خشک ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 2. The interaction of salinity and potassium phosphite on root fresh and dry weight of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

نیتروژن برگ و ریشه

نیتروژن برگ نارنج تحت تاثیر شوری و فسفیت پتاسیم قرار گرفت. شوری منجر به کاهش نیتروژن برگ و تیمار با فسفیت پتاسیم منجر به حفظ آن شد. در مجموع گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر باعث افزایش ۲۷/۰۲ درصدی نیتروژن برگ نسبت به گیاهان تیمار شده با آب شور ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر شد (شکل۳). نتایج بدست آمده مشخص شد که سطوح بالای شوری باعث کاهش محتوای نیتروژن ریشه نارنج شد و میزان آن را از ۱/۹۵ به ۱/۲۸ درصد رسانید (۳۴/۲ درصد کاهش)، این در حالی است که تیمار فسفیت پتاسیم منجر به کند شدن روند کاهشی نیتروژن ریشه شد که بیشترین نیتروژن ریشه با میزان ۱/۶۸ درصد به گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم‌درلیتر و کمترین میزان به تیمار شاهد (۱/۵۷ درصد) اختصاص داشت (جدول ۱ و۲).



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

Fig. 3. The interaction of salinity and potassium phosphite on leaf nitrogen of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

جدول ۱- تاثیر سطوح شوری بر میزان نیتروژن ریشه و کلسیم برگ.

Table 1. The impact of salinity levels on root nitrogen and leaf calcium contents

شوری (دسی‌زیمنس‌برمتر) Salinity (ds m^{-1})	نیتروژن ریشه (%) Root N (%)	کلسیم برگ (%) Leaf Ca (%)
1.5	1.950 a	1.771 a
3	1.676 b	1.671 b
4.5	1.630 b	1.611 c
6	1.283 c	1.611 c

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 ($P< 0.05$).

جدول ۲- تاثیر سطوح فسفیت پتاسیم بر میزان نیتروژن ریشه و مس برگ.

Table 2. The impact of potassium phosphite levels on root nitrogen and leaf copper contents.

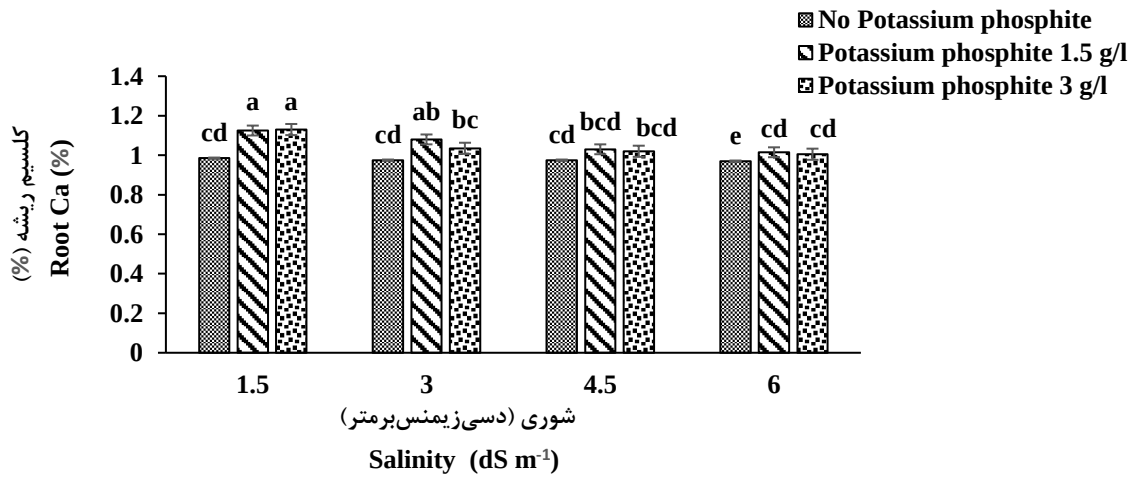
فسفیت پتاسیم (گرم‌درلیتر) potassium phosphite (g L^{-1})	نیتروژن ریشه (%) Root N (%)	مس برگ (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) Leaf Cu (mg kg DW^{-1})
0	1.570 b	9.34 b
1.5	1.687 a	12.17 a
3	1.647 a	12.01 b

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 ($p< 0.05$).

کلسیم برگ و ریشه

سطوح بالای شوری باعث کاهش محتوای کلسیم در برگ نارنج شد و میزان آن را از ۱/۷۷ به ۱/۶۱ درصد رسانید (جدول ۱). در صفت کلسیم ریشه، شوری ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر باعث کاهش ۱۳/۳ درصدی نسبت به شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر شد. کاربرد فسفیت پتاسیم باعث افزایش میزان کلسیم شد. بین غلظت‌های ۱/۵ و ۳ گرم‌درلیتر از فسفیت پتاسیم در سطوح شوری ۱/۵ و ۳ دسی‌زیمنس‌برمتر اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. باوجود این، بیشترین میزان کلسیم ریشه (۱/۱۳ درصد) در گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم و آبیاری شده با ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک مشاهده شد که در مقایسه با گیاهانی که همین سطح نمک را بدون فسفیت پتاسیم دریافت کرده بودند، افزایش ۱۰/۱ درصدی را داشت (شکل ۴).

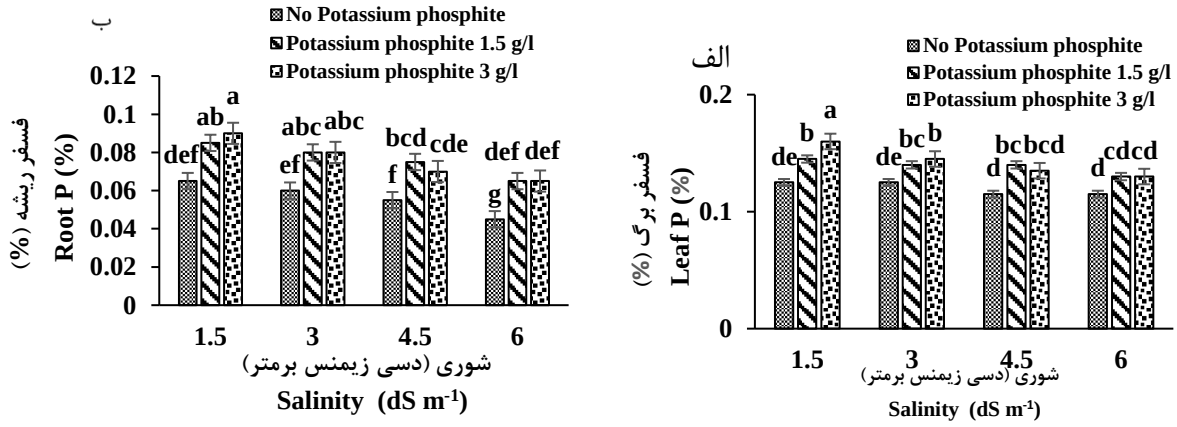


شکل ۴- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر کلسیم ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 4. The interaction of salinity and potassium phosphite on root calcium of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

فسفر برگ و ریشه

در مقایسه بین سطوح شوری مشاهده شد که سطوح بالاتر نمک در آب آبیاری منجر به کاهش میزان فسفر در برگ و ریشه نارنج شد (شکل ۵). گیاهان تیمار شده با ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر در غیاب فسفیت پتاسیم ، دارای کمترین فسفر ریشه (۰/۰۴۵ درصد) بودند. کاربرد فسفیت پتاسیم به‌صورت آبیاری، روند را تغییر داد. در نتیجه، گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر که با غلظت ۳ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم شده بودند، دارای بیشترین میزان فسفر در برگ و ریشه (به‌ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۰۹ درصد) بودند (شکل ۵ الف و ب). در سطوح شوری ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر بین تیمارهای ۱/۵ و ۳ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم اختلاف معنی‌داری در فسفر ریشه مشاهده نشد. در مجموع کاربرد با فسفیت پتاسیم ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر باعث حفظ ۲۴/۱ درصدی فسفر برگ، ۴۳/۷ درصدی فسفر ریشه در گیاهان تیمار شده با آب شور ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر شد (شکل ۵ الف و ب).

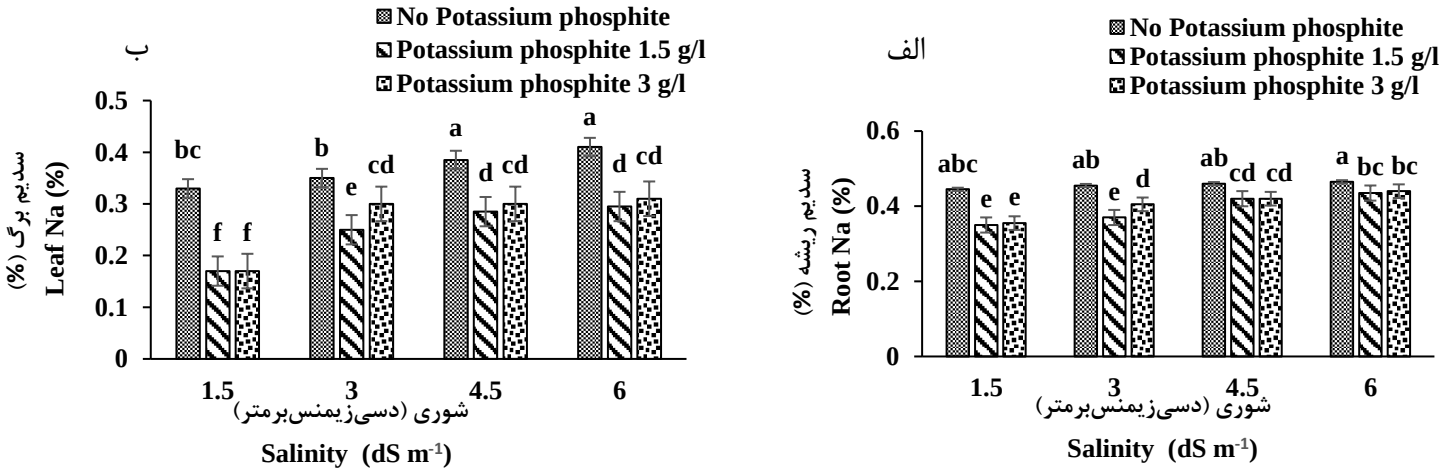


شکل ۵- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فسفر برگ و ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 5. The interaction of salinity and potassium phosphite on leaf and root phosphorus of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

سدیم برگ و ریشه

شوری (در همه سطوح) منجر به افزایش میزان سدیم در برگ و ریشه گیاه نارنج شد. کاربرد فسفیت پتاسیم منجر به کاهش جذب سدیم شد و تاثیر کاهنده تیمار ۱/۵ گرم‌درلیتر فسفیت پتاسیم، بارزتر بود. بیشترین سدیم برگ (۰/۴۱ درصد) در سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک مشاهده شد که با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کمترین سدیم برگ (۰/۱۷ درصد) نیز در گیاهانی که با آب حاوی ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک آبیاری شده و با فسفیت پتاسیم (۱/۵ یا ۳ گرم‌درلیتر) تیمار شده بودند، مشاهده شد. در خصوص سدیم ریشه نیز، گیاهان تیمار شده با سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک بالاترین مقدار را داشتند. تیمار با سطوح ۳ و ۱/۵ گرم‌درلیتر از فسفیت پتاسیم در این سطح نمک، به‌ترتیب کاهش ۱۹/۵ درصدی در سدیم ریشه را به‌همراه داشت (شکل ۶ الف و ب).

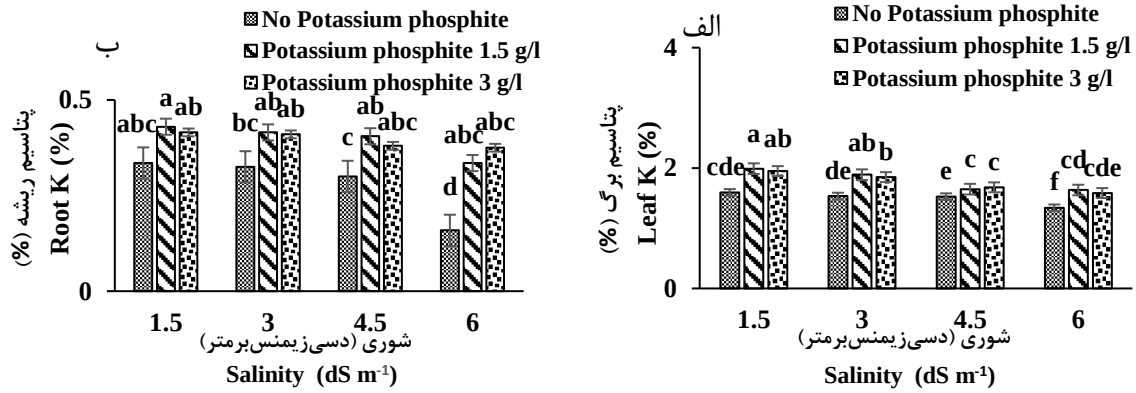


شکل ۶- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر سدیم برگ و ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 6. The interaction of salinity and potassium phosphite on leaf and root sodium of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

پتاسیم برگ و ریشه

تیمار با آب شور با کاهش محتوای پتاسیم برگ و ریشه و تیمار با فسفیت پتاسیم با افزایش معنی دار مقادیرهمراه بود. کمترین میزان پتاسیم در برگ و ریشه (به‌ترتیب ۱/۳۴ و ۰/۱۵۹ درصد) در سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر نمک در گیاهان تیمار نشده با فسفیت پتاسیم مشاهده شد. بیشترین میزان پتاسیم برگ و ریشه (به‌ترتیب ۹۹/ ۱ و ۰/۴۳ درصد) در گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم‌درلیتر) و آبیاری شده با ۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک مشاهده شد که نسبت به‌میزان بالاتر فسفیت پتاسیم (۳ گرم‌درلیتر) در همین سطح نمک، اختلاف معنی‌دار نشان نداد (شکل ۷ الف و ب).



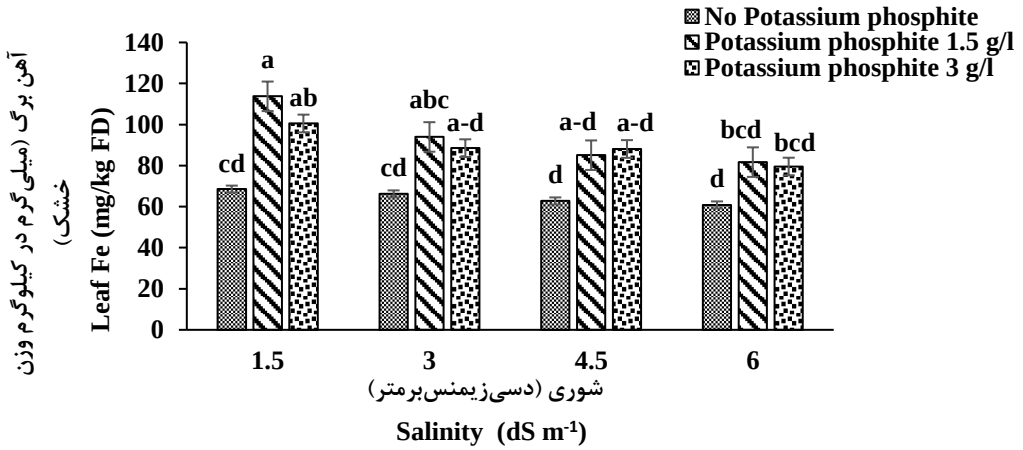
شکل ۷- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر پتاسیم برگ و ریشه در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 7. The interaction of salinity and potassium phosphite on leaf and root potassium of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

مس و آهن در برگ

بیشترین میزان مس برگ (۱۲/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) به گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم‌درلیتر و کمترین میزان به تیمار شاهد (۹/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) اختصاص داشت (جدول ۲).

شوری منجر به کاهش محتوای آهن برگ در نارنج شد. کمترین میزان آهن (۶۰/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در گیاهان آبیاری شده با سطح ۶ دسی‌زیمنس‌برمتر از نمک که فسفیت پتاسیم را دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. فسفیت پتاسیم منجر به بهبود جذب این عنصر ریزمغذی شد. گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم‌درلیتر از فسفیت پتاسیم (۱۱۳/۷۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بیشترین محتوای آهن برگ را دارا بودند. در مجموع کاربرد فسفیت پتاسیم منجر به افزایش ۴۶/۵ درصدی میزان آهن در مقایسه با گیاهانی که این تیمار فسفیت پتاسیم به آن‌ها تعلق نگرفته بود، شد (شکل ۸).



شکل ۸- برهمکنش تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر آهن برگ در نارنج. مقادیر، میانگین سه تکرار و حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($P< 0.05$) است.

Fig. 8. The interaction of salinity and potassium phosphite on leaf iron of sour orange. Values are the averages of three repetitions and the same letters indicate no significant difference with Tukey's test ($P< 0.05$).

بحث

شوری از طریق القای تنش‌های اسمزی، اکسیداتیو و یونی، آثار منفی خود را در گیاهان بروز می‌دهد. در تنش اسمزی به‌دلیل انحلال نمک در آب، پتانسیل اسمزی آب به‌سمت منفی‌تر میل پیدا می‌کند. این امر، دریافت آب به‌وسیله بذر و گیاهچه در حال رشد را محدود می‌کند. بروز تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن خسارات وسیعی را در ابعاد سلولی، مولکولی و غشاهای سلولی به‌وجود می‌آورد. علاوه بر این، تنش یونی در سلول‌ها منجر به تغییر در شدت و نسبت ورود و خروج عناصر پرمصرف و کم‌مصرف شده، سلول‌ها را از وظایف زیستی متعارف خارج کرده و در نتیجه منجر به اختلال در مجموعه‌ای از واکنش‌های رشدی، فتوسنتزی، تنفسی و کارکرد آنزیم‌ها می‌شود (Sahin *et al*., 2018). پاسخ مرکبات به شوری را می‌توان به اثرات اسمزی و یونی طبقه‌بندی کرد. اثرات اسمزی زمانی رخ می‌دهد که غلظت نمک‌ها در محلول خاک، بدون توجه به نمک‌های موجود، افزایش یابد (Shahid *et al*., 2019). در مطالعه حاضر نیز تنش شوری منجر به تغییر در جذب سدیم و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی در گیاه نارنج شد.

در تایید نتایج پژوهش حاضر، شوری عامل تضعیف فاکتورهای رشدی (وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه، حجم ریشه و طول ساقه) گزارش شده است (Sahin *et al*., 2018; Sarker and Oba, 2020). به طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نیز نشان‌دهنده تاثیر منفی شوری بر وزن تر و خشک (ساقه و ریشه)، تعداد برگ، حجم ریشه و ارتفاع ساقه در گیاه نارنج بود. شوری، جذب مواد مغذی گیاه را از دو طریق متوقف می‌کند: نخست این که پتانسیل یونی بستر می‌تواند بر جذب مواد مغذی تأثیر بگذارد و دوم با برهم زدن روابط معدنی گیاه، باعث کاهش دسترسی به مواد مغذی می‌شود. این رقابت بیشتر تعادل تغذیه‌ای را تغییر می‌دهد و کمبود کلسیم یا پتاسیم ناشی از رقابت‌شان با سدیم بروز می‌کند. تجمع بیش از حد Na^{+} در بافت‌های مرکبات باعث کلروز و نکروز در نوک و حاشیه برگ‌های مسن‌تر و عدم تعادل Ca^{+2} و Mg^{+2} می‌شود (Grattan *et al*., 2015). سطوح بالای پتاسیم می‌تواند سبب بهبود تنظیم اسمزی با مصرف انرژی کمتری نسبت به تجمع محلول‌های سازگار شود (Mohadi *et al*., 2022).

انتقال دو یون سدیم و پتاسیم توسط پروتئین‌های مشابهی صورت می‌گیرد. این بدان معنی است که بسیاری از سیستم‌های انتقال پتاسیم، توانایی انتقال سدیم را هم دارند (Minazadeh *et al*., 2018). لذا در هنگام جذب توسط ریشه‌ها، با یکدیگر در رقابت می‌باشند. گیاهان متحمل‌تر به شوری به‌طور انتخابی جذب پتاسیم به سدیم را ترجیح می‌دهند. ولی در صورت بیشتر بودن غلظت یون سدیم در محلول خاک، کمبود پتاسیم در گیاهان قطعی است (Mohammadi *et al*., 2021). در پژوهش حاضر نیز بیشترین پتاسیم برگ در گیاهانی که کمترین سطح نمک را دریافت کرده بودند را ثبت شد. با افزایش سطوح شوری میزان پتاسیم برگ و ریشه روندی کاهشی نشان داد. در تایید نتایج به‌دست آمده از تاثیر شوری بر میزان سدیم و پتاسیم و نسبت آن‌ها در مطالعه Othman همکاران (۲۰۲۳) در مرکبات نیز روند مشابهی گزارش شده است. ورود سدیم و کلر سبب برهم خوردن پتانسیل غشاء سلولی شده، که در نتیجه ورود غیرفعال کلر را (از طریق یک کانال آنیونی) تسهیل می‌کند. یون سدیم برای متابولیسم سلولی سمی است و بر فعالیت بعضی آنزیم‌ها اثر می‌گذارد. غلظت بالای این یون سبب برهم خوردن تعادل اسمزی و ساختار غشاء، کاهش رشد و ممانعت از تقسیم سلولی می‌گردد (Liu *et al*., 2023). کلسیم در تنظیم متابولیسم سلول و ساختار دیواره سلول گیاهان ایفای نقش می‌کند. سیگنال‌های کلسیم هماهنگ کردن پاسخ‌های گیاه و مکانیسم‌های دفاعی که توسط بسیاری از تنش‌ها از جمله تنش شوری القا می‌شوند، کمک می‌کنند.کمبود کلسیم توانایی مهار انتقال نمک به اندام‌های هوایی را کاهش، باعث آسیب به نوک ساقه، از دست دادن تسلط انتهایی و ظهور برگ‌های جوان نکروزه می‌شود (Alam *et al*., 2020). در گیاهان متحمل به شوری در صورت بروز تنش، توانایی کلسیم در تشکیل پیوندهای بین مولکولی، باعث پایداری و حفظ دیواره سلول می‌شود. از این طریق کلسیم از ورود سدیم به غشاء سلولی جلوگیری می‌کند. لذا، در ریشه‌هایی که تحت شرایط تنش شوری مقدار کلسیم آن‌ها کافی هستند، نفوذپذیری غشاء تغییر چندانی نداشته و سدیم کمتری به داخل سلول وارد می‌شود (Mohammadi *et al*., 2021). در پژوهش حاضر، تنش شوری موجب کاهش کلسیم برگ نسبت به شاهد شد. در پایه های مرکبات در صورت بروز تنش‌های غیرزیستی، به‌خصوص شوری، علاوه بر بروز تداخل کلسیم با سدیم، کارکرد این عنصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه نیز تغییر می‌کند (Alam *et al*., 2020). مطالعات نشان داده است که میزان فسفر تحت شرایط تنش شوری در رقابت با یون سدیم، کاهش می‌یابد. در مرکبات متحمل در صورت مواجه با تنش شوری، محتوی فسفر برگ کمتر کاهش می‌یابد (Murkute *et al*., 2006; Othman *et al*., 2023). در پژوهش حاضر، میزان فسفر برگ در سطوح مختلف شوری تفاوت چندانی نداشت، ولی بیشترین میزان فسفر ریشه در گیاهانی که پائین‌ترین سطح نمک را دریافت کرده بودند، مشاهده شد. همچنین فسفر برگ و ریشه در تیمار فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم بر لیتر در همه سطوح شوری افزایش پیدا کرد که ناشی تیمار گیاهان با شکل کاهش یافته فسفات، فسفیت، است (Bulgari *et al*., 2019). در پژوهش حاضر بیشترین میزان نیتروژن (برگ و ریشه) در گیاهان تیمار شده با کمترین سطح نمک (۱/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر) و گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم‌درلیتر) مشاهده شد. کاهش محتوای نیتروژن برگ مرکبات تحت تنش شوری به اثر آنتاگونیسی یون کلر در جذب نیترات، کاهش متابولیسم نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و کاهش مصرف آب به‌دلیل کاهش جذب آب برگ نسبت داده شده است (Alam *et al*., 2020).

میزان مناسب روی و آهن در گیاه با تأثیر مثبت بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، باعث بهبود جذب و نگهداری آب در گیاه می‌شوند و فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهند و در نهایت موجب افزایش تحمل گیاه در برابر شرایط تنش می‌شود (Pavia *et al*., 2019). جذب عناصر غذایی در شرایط شور به‌دلایل مختلف از جمله کاهش حجم ریشه و خاصیت آنتاگونسیتی بین عناصر غذایی و یون‌های سمی کاهش می‌یابد. رابطه بین شوری و جذب عناصر غذایی، به‌ویژه عناصر کم مصرف، بسیار پیچیده است که به‌دلیل کم بودن حلالیت عناصر کم مصرف در خاک‌های شور و سدیمی است. کاهش جذب عناصر کم مصرف در شرایط شور به‌دلیل جذب بیشتر Na و Mg می‌باشد (Motsharazadeh *et al*., 2014). در پژوهش حاضر نیز تنش شوری منجر به کاهش عناصر کم‌مصرف شد. آهن نقش بسیار مهمی در توسعه کلروپلاست، دریافت انرژی نورانی و انتقال الکترون از آب به نیکوتین‌آمید آدنین دی‌نوکلئوتید فسفات[۱] دارد. این عنصر، همچنین در انتقال الکترون به فتوسیستم یک تأثیر فراوانی دارد و کوفاکتوری مهم برای تعدادی از آنزیم‌های دخیل در مسیر بیوسنتز کلروفیل است (Mohammadi *et al*., 2021). در

۱- $NADP^+$

پژوهش حاضر گیاهانی که با کمترین سطح نمک آبیاری شده بودند بیشترین میزان آهن را داشتند. کمترین مقادیر نیز به سطوح بالاتر نمک اختصاص داشت. در تایید نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، در پژوهشی در بررسی تاثیر تنش شوری بر جذب عناصر در دو پایه مرکبات مشاهده شده که میزان عناصر میکرو از جمله آهن و مس ریشه با افزایش شوری کاهش پیدا کرد (Boughalleb *et al*., 2020). مس نیز به‌عنوان کوفاکتور برخی آنزیم‌ها مانند سوپراکسید دیسموتاز عمل می‌کند و می‌تواند در شرایط تنش فعالیت این آنزیم‌ها را برای حفاظت از سلول‌های گیاهی افزایش دهد (Eskandari and Mozaffari, 2012). محرک‌های زیستی رشد و عملکرد گیاه را در شرایط تنش بهبود می‌بخشند (Bulgari *et al*., 2019). فسفیت شکل کاهش یافته فسفات است که به‌عنوان یک محرک زیستی عمل می‌کند. فسفیت به‌وسیله انتقال دهنده‌های فسفات جذب می‌شود. هرچند نمی‌تواند در اکثر واکنش‌های بیولوژیکی جایگزین فسفات شود، اما پاسخ به کمبود فسفات را سرکوب می‌کند (Lovatt and Mikkelsen, 2006). تیمار فسفیت رشد اندام‌های هوایی و نمو ریشه را افزایش داده و زیست توده را تا ۳۰ درصد افزایش داده است (Rossall *et al*., 2015). نتایج پژوهش انجام شده نیز در همین راستا می‌باشد و مشاهده شد که کاربرد فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم‌درلیتر) منجر به افزایش وزن تر و خشک (ساقه و ریشه) در گیاهان آبیاری شده با سطوح محتلف نمک شد. در گیاهان نارنگی تیمار شده با فسفیت (Amin, and Khan, 2019)، بهبود صفات ریشه، افزایش سنتز اجزای فتوسنتزی، افزایش ظرفیت فتوسنتزی، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و راندمان مصرف آب برگ گزارش شده است. فتوسنتز افزایش یافته به‌دلیل برهمکنش بین افزایش رشد (از نظر اندازه گیاه) و افزایش فتوسنتز در واحد سطح برگ قابل تفسیر است. مورفولوژی بهبود یافته ریشه می‌تواند فرصت بیشتری برای استخراج آب برای تعرق، کاهش مقاومت برگ در برابر انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف بهتر مواد مغذی برای ساخت مقادیر بیشتری از اجزای فتوسنتزی در واحد سطح برگ فراهم کند (Amin, and Khan, 2019; Mohammed *et al*., 2022). پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌ها و همچنین به‌عنوان یک کاتالیزور در ارتقای فرآیندهای متابولیکی محصولات باغبانی عمل می‌کند و از این طریق نقش مهمی در رشد اندام‌های گیاه و افزایش عملکرد محصول دارد، گزارش شده است که افزایش تعداد برگ‌ها ممکن است به‌دلیل مشارکت عناصر غذایی در فرآیندهای متابولیک گیاه در اثر تیمار با پتاسیم باشد (Wanshnong *et al*., 2022). فتوسنتز فرآیندی است که منجر به افزایش زیست توده در گیاه می‌شود و به‌طور کلی با توانایی انباشته شدن زیست‌توده به‌عنوان ماده تازه و خشک در اندام‌های مهم برای برداشت مرتبط است (Márquez-Prieto *et al*., 2022). احتمالاً در پژوهش حاضر، افزایش وزن تر و خشک (برگ و ریشه)، ناشی از تاثیر پتاسیم موجود در فسفیت پتاسیم بر فتوسنتز و انباشته شدن مواد غذایی بوده است. از طرف دیگر، پتاسیم باعث تنظیم فعالیت اسمزی در گیاه و کنترل فعالیت روزنه‌ها می‌شود که به سهم خود، دسترسی به مواد غذایی توسط اندام‌های مختلف گیاه را افزایش داده و در نهایت موجب رشد بیشتر و افزایش وزن تر و خشک می‌شود. تیمار توام کودهای فسفر و پتاسیم در پرتقال ویژگی‌های ساختاری ریشه را بهبود بخشیده و جذب عناصر غذایی را افزایش داده است (Paramasivam *et al*., 2021). تیمار فسفیت فعالیت نیترات ردوکتاز، جذب نیتروژن، آهن و پتاسیم را افزایش، بهبود فتوسنتز برگ و هدایت روزنه‌ای و توانایی گیاهان برای تحمل تنش‌های غیرزیستی را بهبود می‌بخشد. از آنجایی که فسفر نقش مهمی در افزایش رشد ریشه و استقرار خوب گیاهان و ایجاد تحمل در برابر تنش‌های محیطی دارد، باعث افزایش ظرفیت تبادلی ریشه گیاه و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردد. سیستم ریشه‌ای عمیق برای استخراج آب و عناصر غذایی کافی در شرایط تنش بسیار با اهمیت است (Motsharazadeh *et al*., 2014). در شرایط تنش شوری، تیمار با پتاسیم می‌تواند باعث افزایش نسبت پتاسیم به سدیم شود که با تاثیر مثبت بر فتوسنتز موجب افزایش رشد ریشه و اندام‌های هوایی در انگور شده است (Minazadeh *et al*., 2018). احتمال دارد که کاربرد فسفیت پتاسیم در پژوهش حاضر از طریق بهبود رشد ریشه منجر به افزایش جذب عناصر غذایی شده است و از این طریق توانسته تاثیر نامطلوب تنش شوری را در دانهال‌های نارنج کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

شوری از تنش‌های مخرب بر رشد مرکبات است. بنابراین ارائه راهکار مناسب به‌منظور تعدیل اثرات زیان‌آور آن می‌تواند مفید باشد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شوری منجر به کاهش شاخص‌های ریخت‌شناسی (وزن تر و خشک ساقه و ریشه) و کاهش محتوای عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، فسفر، آهن و مس در پایه نارنج می‌شود و همچنین

سبب افزایش جذب عنصر سدیم (ریشه و برگ) شد که این عنصر اثرات نامطلوبی بر رشد رویشی گیاه نارنج گذاشت. کاربرد تیمار فسفیت پتاسیم دارای تاثیر تعدیل کننده‌ای بر محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم (برگ و ریشه)، آهن و مس (برگ)، بهبود شاخص‌های ریخت‌شناسی و کاهش اثرات مخرب تنش شوری در نارنج بود. در مجموع به‌نظر می‌رسد مناسب‌ترین غلظت فسفیت پتاسیم با غلظت ۱/۵ گرم‌درلیتر بود و در خاک‌های شور می‌تواند نتایج امیدبخشی برای رشد دانهال‌های نارنج باشد.

منابع References

Alam, A., Ullah, H., Attia, A., & Datta, A. (2020). Effects of salinity stress on growth, mineral nutrient accumulation and biochemical parameters of seedlings of three citrus rootstocks. *International Journal of Fruit Science*, *20*(4), 786-804.

Amin, M., & M.R. Khan. (2019). Impact of phosphorus fertilization on growth, fruiting and nutritional status of kinnow mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) trees. *Journal of Plant Nutrition*, *42*(6), 733-745.

Assaha, D. V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., & Yaish, M. W. (2017). The role of Na+ and K+ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in Physiology*, *8*, 509.

Bings, N. H., Bogaerts, A., & Broekaert, J. A. (2010). Atomic spectroscopy: a review. *Analytical Chemistry*, *82*(12), 4653-4681.

Boughalleb, F., C. Ben Ahmed., & N. Msilini. (2020). Comparative effects of salt stress on growth, photosynthesis, and mineral content of two citrus rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*, *43*(12), 1639-1655.

Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, *9*(6), 306.

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

Eskandari, S., & B. Mozaffari. (2012). The effect of salinity levels and different amounts of copper on the absorption of low-use nutrients in the shoots and roots of two varieties of pistachio (*Pistacia vera* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Science Technology*, Greenhouse Crops, *3*(12), 29-42. (In Persian).

Grattan, S. R., Díaz, F. J., Pedrero, F., & Vivaldi, G. A. (2015). Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: Emphasis on boron and specific-ion interactions. *Agricultural Water Management*, *157*, 48-58.

Gupta, A. P., Neue, H. U., & Singh, V. P. (1993). Phosphorus determination in rice plants containing variable manganese content by the phospho-molybdo-vanadate (yellow) and phosphomolybdate (blue) colorimetric methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *24*(11-12), 1309-1318.

Gupta, B., & Huang, B. (2014). Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 1-18.

Kalra, Y. (Ed.). (1997). *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press.

Liu, H., Todd, J. L., & Luo, H. (2023). Turfgrass salinity stress and tolerance—A review. *Plants*, *12*(4), 925.

Lobato, M. C., Olivieri, F. P., Altamiranda, E. G., Wolski, E. A., Daleo, G. R., Caldiz, D. O., & Andreu, A. B. (2008). Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *European Journal of Plant Pathology*, *122*, 349-358.

Lovatt, C. J., & Mikkelsen, R. L. (2006). Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do. *Better Crops*, *90*(4), 11-13.

Márquez-prieto, A. K., Palacio-MáRquez, A., Sanchez, E., MACIAS-LÓPEZ, B. C., Perez-Alvarez, S., Villalobos-Cano, O., & Preciado-Rangel, P. (2022). Impact of the foliar application of potassium nanofertilizer on biomass, yield, nitrogen assimilation and photosynthetic activity in green beans. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *50*(1), 12569-12569.

Minazadeh, R., R. Karimi., & B. Mohammadparast. (2018). The effect of foliar nutrition of potassium sulfate on morpho-physiological indices of grapevine under salinity stress. *Journal of Plant Biology*, *10*(3), 1-25. (In Persian).

Mohadi, H., S. Eshghi M. Rahmi, A. Reofi., & J. Honesty. (2022). Improvement of physiological and biochemical characteristics of two pistachio cultivars under salinity stress conditions using potassium sulfate and nanopotassium fertilizers. *Journal of Horticultural Science and Technology*, *23*(4), 555-566. (In Persian).

Mohammadi, H., A. Imani, M.R. Asfhari, A.R. Talaei., & V. Abdosi. (2021). A study of the effects of salinity stress of irrigation water and salicylic acid on the leaf nutrient elements in three grafted almond cultivars. *Plant Process and Function*. *10* (41): 53-76. (In Persian).

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.

Moosavi, M., R. Khorassani., & R.T. Afshari. (2022). Effect of phosphorus on iron, zinc and potassium uptake and the characteristics of root and shoot of wheat in different moisture regimes. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 77-98. (In Persian).

Motsharazadeh, B., F. Watanara., & A.R. Sawaqabi Firouzabadi. (2014). Investigating the effect of potassium and zinc on some reactions of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salinity stress. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, *29*(3), 258-244. (In Persian).

Murkute, A. A., Sharma, S., & Singh, S. K. (2005). Citrus in terms of soil and water salinity: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research* 64(6):393-402

Murkute, A. A., Sharma, S., & Singh, S. K. (2006). Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. *Horticultural Science*, *33*(2), 70-76.

Othman, Y. A., Hani, M. B., Ayad, J. Y., & St Hilaire, R. (2023). Salinity level influenced morpho-physiology and nutrient uptake of young citrus rootstocks. *Heliyon*, *9*(2). 1-11.

Paramasivam, S., A.K. Alva & Fares. (2021). Effect of potassium and phosphorus on fruit yield, quality, and nutrient uptake of Valencia orange on sandy soil. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(1), 151-162.

Pashangeh, Z., M. Shamili, F. Abdollahi., & M. Ghasemi. (2020). The interaction of salinity and gibberellin on leaf abscission, dry matter, antioxidant enzymes activity and ion content in guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of Plant Research*, *33*(4), 809-826. (In Persian).

Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., ... & Correia, C. (2019). Zinc priming and foliar application enhances photoprotection mechanisms in drought-stressed wheat plants during anthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, *140*, 27-42.

Rasouli, M. (2016). Effect of potassium phosphite and boric acid on fruit set in different grape (*Vitis vinifera* L.) cultivars. *Research of Pomology*, *1*(1), 56-69. (In Persian).

Rickard, D. A. (2000). Review of phosphorus acid and its salts as fertilizer materials. *Journal of Plant Nutrition*, *23*(2), 161-180.

Rossall, S., Qing, C., Paneri, M., Bennett, M., & Swarup, R. (2015, November). A'growing'role for phosphites in promoting plant growth and development. In *II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture 1148* (pp. 61-68).

Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., & Yildirim, E. (2018). Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, *240*, 196-204.

Sarker, U., & Oba, S. (2020). The response of salinity stress-induced A. tricolor to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 559876.

Shahid, M. A., Balal, R. M., Khan, N., Simón-Grao, S., Alfosea-Simón, M., Cámara-Zapata, J. M., ... & Garcia-Sanchez, F. (2019). Rootstocks influence the salt tolerance of Kinnow mandarin trees by altering the antioxidant defense system, osmolyte concentration, and toxic ion accumulation. *Scientia Horticulturae*, *250*, 1-11.

Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *22*(2), 123-131.

Smith, V. R. (1979). A comparison between the H2SO4-H2O2-Li2SO4-Se oxidation method and alternative digestion procedures for plant nutrient analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *10*(7), 1067-1077.

Suryawanshi, J. A. S. (2011). An overview of *Citrus aurantium* used in treatment of various diseases. *African Journal of Plant Science*, *5*(7), 390-395.

Wanshnong, E., Mounika, K., Kumar, K. A., & Maiti, C. S. (2022). Effect of different levels of potassium on growth and flowering of *Papaya* var. Red Lady. *Pharma Innovation. Journal*, *11*, 1314-1317.

Wen, L., He, M., Yin, C., Jiang, Y., Luo, D., & Yang, B. (2021). Phenolics in *Citrus aurantium* fruit identified by UHPLC-MS/MS and their bioactivities. *Food Science and Technology (LWT), 147*, 111671.

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.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 25 (1): 77-92 (2024)
Research article

Investigating the Effect of Potassium Phosphite on Morphological Characteristics and the Absorption of Elements in Sour Orange (*Citrus aurantium* L.) under Salinity Stress

S. Atrash [1], M. Shamili [2*], A.M. Dastjerdi [1], A. Goodarzi [3] and A.N Bagheri [3]

1. Department of Horticultural sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas
2. Hormoz Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas
3. Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas
Corresponding Author, E-mail: (shamili@ut.ac.ir)

Sour orange, among the cold, drought tolerant rootstocks, is suitable for planting in poor drainage soils. Since salinity is one of the destructive stresses on the growth of citrus plants, providing a suitable solution can be effective in reducing its harmful effects. So, a factorial pot research as a completely randomized design with three replications was conducted to evaluate the impact of saline water and potassium phosphite on sour orange plant. Sour orange plants were healthy and free disease six-months seedlings (height about 60 cm). The 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 showed that the high level of salinity led to a decrease in stem fresh and dry weight (63 and 60.22%, respectively), nitrogen, potassium, phosphorus, calcium and iron contents (4, 15.7, 8, 18.6 and 12.2 %, respectively) in sour orange. Potassium phosphite treatment (1.5 g L^{-1}) increased the potassium, phosphorus, nitrogen, iron (32.6, 20.6, 19.7, 46.5%, respectively) contents, the fresh and dry weight of the stem (63.9 and 60.2%, respectively), the fresh and dry weight of roots (58.18 and 61.01 %, respectively) and finally the harmful impacts of salinity stress were reduced in sour orange plant. Generally, the application of potassium phosphite (1.5 g L^{-1}) improved morphological characteristics, absorption of elements and reduced the adverse effects of salinity in Sour orange.

Keywords: Dry weight, Fresh weight, Macro elements, Micro elements, Salt Stress