

مطالعه اثر تعدیل‌کنندگی فسفیت‌پتاسیم بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و جذب عناصر لیمو (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) تحت تنش شوری

سارا اترش^۱، منصوره شمیلی^{۲*}، عبدالمجید میرزا علیان دستجردی^۳، آزاده گودرزی^۴ و عبدالنبی باقری^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۲)

چکیده

لیمو (*Citrus aurantifolia*) یکی از درختان دورگه، متحمل به سرما و نیازمند نور و رطوبت کافی است. از آنجا که شوری یکی از تنش‌های غیرزیستی مخرب بر رشد مرکبات است، ارائه راهکار مناسب به‌منظور کاهش و تعدیل اثرات مضر آن می‌تواند موثر باشد. به‌منظور بررسی تاثیر آب شور و فسفیت‌پتاسیم بر گیاه لیمو، پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت گلدانی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. تیمارها شامل شوری (۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی زیمنس بر متر) و فسفیت‌پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم بر لیتر) بود. شاخص‌های مورد بررسی شامل اندازه‌گیری وزن تر و خشک (ساقه و ریشه)، سنجش جذب عناصر پرمصرف (ریشه و برگ) و عناصر کم‌مصرف (برگ) بود. نتایج نشان داد که شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش وزن تر و خشک ساقه (به‌ترتیب ۲۵/۱۳ و ۲۳/۷ درصد)، محتوای نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، آهن، روی و مس (به‌ترتیب ۵/۳، ۴/۳۹، ۱۶/۲۱، ۲۸/۵، ۲۰/۴، ۳۵/۵ و ۱۸/۵ درصد) شد. تیمار فسفیت‌پتاسیم در تمامی سطوح شوری باعث افزایش محتوای عناصر پتاسیم، فسفر، نیتروژن، آهن، مس و روی، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک ریشه شد. به‌طور کلی بر اساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد فسفیت پتاسیم به خصوص در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر، منجر به بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، جذب عناصر و کاهش اثرات نامطلوب تنش شوری در لیمو شد.

کلمات کلیدی: سدیم کلرید، غلظت آهن، غلظت فسفر، وزن تر، وزن خشک

۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۴- استادیار، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

۵- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران.

* پست الکترونیک: shamili@ut.ac.ir

مقدمه

گیاهان، موجوداتی که قادر به جابجایی نیستند و گاهی محیط برای رشد و نمو مطلوب نیست و با انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی روبه‌رو هستند. شوری، خشکی، سرما و فلزات سمی ناشی از تغییرات مداوم آب و هوا و زوال محیطی بر رشد و تولید گیاه تأثیر منفی دارند. اصطلاح شور شدن به معنای افزایش نمک در خاک یا گیاه (شیرواستاوا و کومار^۱، ۲۰۱۵)، به چالشی جهانی تبدیل شده (گوپتا و هوانگ^۲، ۲۰۱۴) زیرا بیش از ۷ درصد از کل زمین‌های جهان، ۲۰ درصد از زمین‌های تحت کشت و بیش از ۵۰ درصد از زمین‌های آبی با این معضل مواجه هستند (شیرواستاوا و کومار، ۲۰۱۵). ضمن این که گزارش شده تا سال ۲۰۵۰، بیش از نیمی از زمین‌های قابل کشت در جهان با شوری روبه‌رو خواهند شد (جمیل^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). شوری خاک بر رشد و بهره‌وری گیاهان تأثیر منفی دارد که این تأثیر در نتیجه برهم‌خوردن تعادل مواد جذب شده یا کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در بافت‌های در حال رشد است (شهباز و اشرف^۴، ۲۰۱۳). علاوه بر آن، سمیت یونی ناشی از تنش شوری، منجر به جایگزینی K^+ توسط Na^+ در واکنش‌های بیوشیمیایی می‌گردد (آساه^۵ و همکاران، ۲۰۱۷؛ حسیبی و همکاران، ۱۳۸۹). در واقع افزایش سدیم منجر به کاهش جذب سایر کاتیون‌ها و برهم‌زدن تعادل کاتیونی در گیاه می‌شود و از این طریق منجر به کاهش جذب کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌شود (جینگ^۶ و همکاران، ۲۰۰۷). هنگامی که میزان نمک افزایش پیدا می‌کند، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و منجر به ایجاد تنش آبی می‌شود که این امر منجر به مداخله در جذب آب برای رشد گیاه می‌شود در نتیجه سرعت رشد و فرآیندهای متابولیکی در گیاه دچار تغییر می‌شوند (موناس و تستر^۷، ۲۰۰۸). دلیل کاهش رشد ناشی از تنش شوری، محدود شدن سیکلین‌ها و کینازها است که منجر به کاهش تولید سلول‌های جدید در نقاط مرستمی می‌گردد (شیرواستاوا و کومار، ۲۰۱۵).

لیمو با نام علمی *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle متعلق به خانواده Rutaceae می‌باشد. منشأ پیدایش آن هندوستان است. درخت لیمو نسبتاً بزرگ، گسترده با عادت رشدی نامنظم (حداکثر ارتفاع ۶ متر) می‌باشد. برگ و شاخه در لیمو دارای تراکم متوسط و خاردار است. میوه آن متوسط، نیمه‌کروی با غدد فراوان است (دایان-ریانا^۸ و همکاران، ۲۰۱۷). درخت لیمو درختچه‌ای دورگه، متحمل به سرما، دارای میوه‌های بدون هسته و نیازمند نور کامل می‌باشد (خان^۹ و همکاران، ۲۰۱۶). تنش شوری موجب اختلال در رشد مرکبات و از مهم‌ترین موانع تولید این گیاهان می‌باشد (مورکوت^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۵). تنش اسمزی، سمیت یونی، به هم خوردن تعادل یون‌ها (مویا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۳) و تغییرات ریخت‌شناسی از اثرات تنش شوری در اکثر پایه‌های مرکبات است (راوه و لوی^{۱۲}، ۲۰۰۵).

به‌منظور بررسی تأثیر تنش شوری بر فاکتورهای رشدی و بیوشیمیایی و جذب عناصر در مرکبات پژوهش‌های متعددی انجام شده است. آلام^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر تنش شوری بر سه پایه پوملو، کلتوپاترا ماندارین و کالامانسی را بررسی کردند. نتایج بیانگر افزایش جذب سدیم، کلر، پرولین و کاهش جذب پتاسیم، نیتروژن و وزن تر در هر سه پایه بود. محمود^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که تیمار شوری در نارنگی کلتوپاترا منجر به کاهش وزن تر، کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش جذب پتاسیم و رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. آدامز^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که تیمار تنش شوری در پایه Us-942 منجر به کاهش قابل ملاحظه زیست توده، وزن و حجم ریشه، هدایت روزنه‌ای، محتوای کلروفیل، فسفر و نیتروژن گردید. ویوس-پریس^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که تنش شوری در پایه ماکروفیل منجر به کاهش رشد ریشه، کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، کاهش محتوای کلروفیل و افزایش میزان کلرید گردید.

9. Khan
10. Murkute
11. Moya
12. Raveh and Levy
13. Alam
14. Mahmoud
15. Adams
16. Vives-Peris

1. Shrivastava and Kumar
2. Gupta and Huang
3. Jamil
4. Shahbaz and Ashraf
5. Assaha
6. Jing
7. Munnas and Tester
8. Damián-Reyna

تیمار مذکور بر لیمو انجام نشده است، بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر تنش شوری و فسفیت‌پتاسیم بر خصوصیات مورفولوژیکی و جذب عناصر در برگ و ریشه لیمو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی و اعمال تیمارها

تحقیق حاضر در سال ۱۴۰۱ در گلخانه و آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان به‌صورت گلدانی به اجرا در آمد. گیاهان لیمو مورد استفاده، دانهال‌های ۶ 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 به ترتیب ۱۹/۵، ۲۳ و ۱۷ سانتی‌متر) کشت شدند. بستر مورد استفاده برای کاشت نهال‌ها، ترکیب خاک باغچه، خاک برگ و ماسه (۱:۱:۱) بود. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. گیاهان در دمای متوسط روزانه 29 ± 2 و دمای متوسط شبانه 25 ± 2 درجه‌سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۷۴ درصد نگهداری شدند.

هشت هفته پس از استقرار نهال‌ها در گلدان، تیمار شوری آغاز شد. مقادیر ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک کلرید سدیم 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 بیش از حد نمک در گلدان‌ها هر دو هفته یک‌بار آبشویی (آب آبیاری) 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 (پشنگه و همکاران، ۱۳۹۸). در هر نوبت آبیاری، رطوبت گلدان‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰). طی مدت قبل اعمال تیمار، همه گیاهان با محلول غذایی هوگلند (۰/۵ غلظت) تغذیه شدند. فسفیت‌پتاسیم (H_2KO_3P) مورد استفاده در این آزمایش متعلق به شرکت موررا اسپانیا (Spain, Morera) بود. تیمار آبیاری با سفیت پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم‌درلیتر) دو بار (یک هفته قبل از

اخیرا، استفاده از ترکیباتی که منجر به افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی و در نتیجه بهبود فعالیت‌های متابولیکی گردد، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. فسفیت‌ها ($H_2PO_3^-$) از جمله این مواد می‌باشند که از نظر تعداد اکسیژن و هیدروژن با فسفات (HPO_4^{2-}) تفاوت دارند. فسفیت به‌دلیل داشتن یک اکسیژن کمتر در مقایسه با فسفات، سرعت حرکت بیشتری نسبت به فسفات دارد، بنابراین طی زمان کوتاهی در سرتاسر اندام‌های گیاهی انتشار پیدا می‌کند. فسفیت‌ها توانایی کنترل طیف گسترده‌ای از عوامل بیماری‌زای قارچی از طریق تحریک پاسخ‌های دفاعی میزبان را دارند (دلیوپولوس^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). تأثیر مستقیم فسفیت‌ها در ایجاد پاسخ دفاعی، کنترل رشد قارچ و کاهش یا تغییر سوخت‌وساز عامل بیماری‌زا و تأثیر غیرمستقیم تحریک سازوکارهای دفاعی گیاه مانند افزایش تولید فیتوآلکسین‌ها و کاهش تولید گونه‌های اکسیژن فعال و تقویت دیواره‌های سلولی می‌باشد (لوباتو و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات مختلفی مبنی بر تأثیر فسفیت‌ها روی درختان میوه انجام شده است. از جمله می‌توان به محلول‌پاشی برگ‌ی فسفیت که منجر به افزایش رشد، عملکرد و بهبود کیفیت محصول در پرتقال (*Citrus sinensis*) گردید (ریچکارد، ۲۰۰۰) و تیمار درختان پرتقال (فسفیت‌پتاسیم ۶۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) که باعث بهبود تحمل به فایتوفتورا و کنترل پوسیدگی ریشه شد (اداسکوگ و همکاران، ۲۰۱۷) اشاره کرد. رسولی (۱۳۹۵) نیز کاربرد توام فسفیت‌پتاسیم و اسید بوریک (۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در زمان بازشدن ۵۰ درصد گل‌ها) در انگور (*Vitis vinifera*) رقم "عسگری"، سفیدالی" و "رازی" منجر به افزایش تشکیل میوه و عملکرد محصول گردید. در مطالعه‌ای محمد و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که کاربرد فسفیت منجر به بهبود زیست توده ریشه و بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش غیرزیستی (گرما و آبی) شد.

همانطور که اشاره شد تنش شوری از جمله تنش‌های مخرب بر رشد مرکبات می‌باشد، بنابراین ارائه روش مناسب به‌منظور کاهش اثرات مضر آن بر کیفیت پایه‌های این گیاهان ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه گزارش‌های اندکی در مورد تحمل تنش شوری همراه با فسفیت‌پتاسیم در مرکبات وجود دارد و تاکنون پژوهشی در رابطه با تأثیر

جدول ۱- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	هدایت الکتریکی	pH گل اشباع
لومی	۴۱/۰۶ ± ۰/۳۶	۳۹ ± ۲/۸۶	۲۲ ± ۱/۴۷	۰/۴۴ ± ۰/۰۲	۸/۱ ± ۳/۲۰
آهک (درصد)	نیتروژن (ppm)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	کربن آلی (درصد)	
۲۷/۲۱ ± ۳/۰۴	۰/۰۱ ± ۰/۰۰۱	۱۱۵/۴۵ ± ۱/۷۵	۱/۷۸ ± ۰/۳۱	۰/۱ ± ۰/۰۲	

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 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. میزان فسفر با استفاده از محلول استاندارد فسفر (۰، ۱، ۲، ۴، ۶ و ۹ میلی‌لیتر) محاسبه شد (اوهایاما^۲ و همکاران، ۱۹۹۱).

سنجش نیتروژن (برگ و ریشه)

اندازه‌گیری عنصر نیتروژن با استفاده از دستگاه کج‌لادل پس از هضم در بالن ژوژه با اسیدسولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه انجام شد (اوهایاما و همکاران، ۱۹۹۱). نمونه‌های خشک شده در آن ۷۵ درجه با ۲/۳ میلی‌لیتر اسید (۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک و ۶ گرم اسیدسالیسیلیک) مخلوط، بعد از ۲۴ ساعت، ۵ قطره آب اکسیژنه اضافه و روی هیتر (دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. بعد از خروج بخار سفید، ۱۰ میلی‌لیتر آب اضافه و پس از حل شدن رسوب به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. میزان ۲۰ میلی‌لیتر از محلول با ۱۵ میلی‌لیتر ۴۰٪ NaOH مخلوط و به آن ۱۰ میلی‌لیتر اسیدبوریک و چند قطره معرف ازت اضافه و با استفاده از دستگاه تقطیر تا ظهور رنگ سبز ادامه یافت. سپس با بورات‌آمونیم و HCL ۰/۰۱ نرمال تا ظهور رنگ قرمز آلبالویی تیتروژن شد و میزان نیتروژن از رابطه ۳ محاسبه شد (اوهایاما و همکاران، ۱۹۹۱).

رابطه ۳

درصد نیتروژن

حجم کل عصاره × جرم مولکولی نیتروژن × نرمالیه اسید مصرفی × حجم اسید مصرفی =

$$\frac{1000 \times \text{وزن پودر برگ} \times \text{محلول هضم استفاده شده در تقطیر}}{100} \times 100$$

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 به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. هشت هفته پس از اعمال تنش شوری، صفات زیر در گیاهان لیمو ارزیابی شد.

شاخص‌های مورفولوژیکی

صفات وزن تر و خشک (ساقه و ریشه) به وسیله ترازوی دیجیتالی ثبت شد. به منظور تعیین وزن خشک ساقه و ریشه، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آن ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

سنجش سدیم، پتاسیم و کلسیم (برگ و ریشه)

تعیین عناصر سدیم، پتاسیم و کلسیم از روش کالرا^۱ (۱۹۹۷) از طریق هضم خشک انجام شد. برای این منظور یک گرم از بافت برگ و ریشه خشک شده در آن ۷۵ درجه در کوره‌ای با دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت 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 اسیدکلریدریک ۲ مولار به آن اضافه و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در یک بالن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و حجم آن بوسیله آب دوبار تقطیر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سنجش یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در اندام‌های مذکور با دستگاه جذب اتمی انجام شد و غلظت یون‌ها از روابط یک و دو محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Ion \%} = \frac{(a-b) \times V \times df \times 5 \times 100}{W \times 10000}$$

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{ion} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \text{ion\%} \times 10000$$

a- غلظت یون در محلول‌های نمونه گیاهی بر حسب میلی گرم در لیتر، b- غلظت یون در محلول شاهد بر حسب میلی گرم در لیتر، V- حجم عصاره حاصل از هضم بر حسب میلی‌لیتر (در این روش عدد ۵۰)، df- درجه رقیق‌سازی (در

سنجش مس، آهن و روی (برگ)

اندازه‌گیری عناصر مس، آهن و روی به روش جذب اتمی شعله‌ای در عصاره به روش هضم به طریق سوزندان خشک انجام شد. ابتدا نمونه گیاهی به صورت پودر تبدیل می‌شود و با استفاده از محلول اسیدی اسیدنیتریک 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، روی و مس، به ترتیب طول موج ۲۴۸، ۲۱۳ و ۳۲۴ نانومتر استفاده شد. محتوای این سه عنصر به صورت میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش گردید (بینگس^۱ و همکاران، ۲۰۱۰).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً 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 فسفیت‌پتاسیم (صفر، ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر) بود. نرمال بودن داده‌ها با روش Shapiro-Wilk صورت گرفت. آزمون توکی برای مقایسه میانگین‌ها ($P < 0.01, 0.05$) انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS Ver.9.1.3 انجام شد. همچنین اشکال با کمک برنامه EXCEL 2016 ترسیم شدند.

نتایج و بحث

تأثیر فسفیت‌پتاسیم و سطوح شوری بر شاخص‌های مورفولوژیکی لیمو

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده تنش شوری و فسفیت‌پتاسیم بر وزن تر و خشک ریشه، اثر متقابل شوری و فسفیت‌پتاسیم بر وزن تر و خشک ساقه معنی‌داری بود (جدول ۲).

وزن تر و خشک ساقه

اعمال تنش شوری در لیمو منجر به کاهش وزن تر و خشک ساقه گردید. بر همین اساس کمترین وزن تر و خشک ساقه در شرایط عدم تیمار فسفیت‌پتاسیم و در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. تیمار فسفیت‌پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر در مقایسه با شوری ۶ دسی‌زیمنس

بر متر منجر به افزایش وزن تر و خشک گیاهان شد (به ترتیب ۵۶/۹ و ۵۴/۴ درصد). بیشترین وزن تر و خشک ساقه (۶۸/۰۳ و ۲۷/۴۶ گرم) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم در گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر ثبت شد (شکل ۱ الف و ب).

وزن تر و خشک ریشه

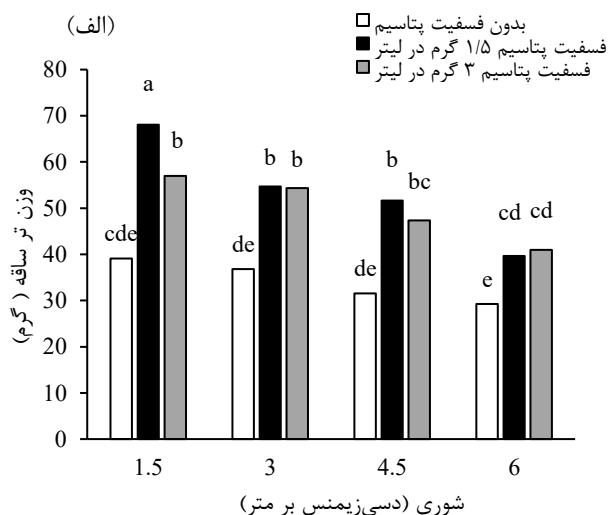
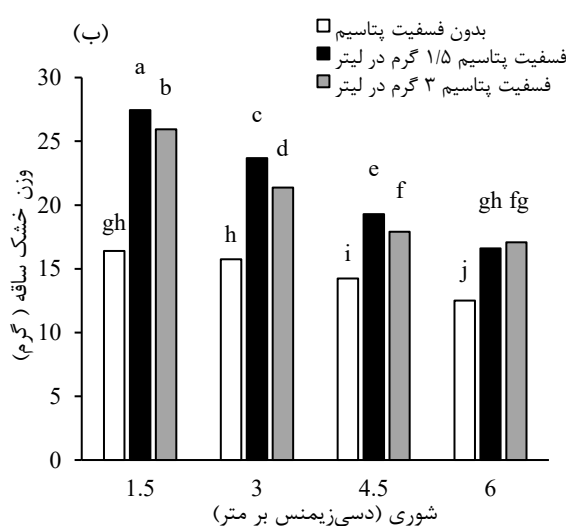
نتایج به دست آمده بیانگر کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان وزن تر و خشک ریشه در اثر اعمال تنش شوری بود به طوری که کمترین وزن تر ریشه (۲۳/۱۵ گرم) و کمترین وزن خشک ریشه (۴/۴۹ گرم) در سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر تنش شوری ثبت شد (جدول ۳). این در حالی است که تیمار فسفیت‌پتاسیم منجر به ممانعت از کاهش وزن تر و خشک ریشه شد و تأثیر غلظت ۱/۵ گرم در لیتر بارزتر بود. بیشترین وزن تر ریشه (۳۶/۶۴ گرم) و بیشترین وزن خشک ریشه نیز (۷/۴۴ گرم) در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم مشاهده شدند (جدول ۳).

تنش شوری با انحلال نمک در آب، کم‌تر شدن پتانسیل اسمزی آب و در نتیجه تنش اسمزی همراه است. این امر باعث محدود شدن دریافت آب توسط گیاهان در حال رشد می‌شود. به علاوه، تنش اکسیداتیو ناشی از تجمع تولید گونه‌های فعال اکسیژن، خسارت در ابعاد سلولی و مولکولی ایجاد می‌کند. همچنین رخداد تنش یونی در گیاهان مواجه شده با تنش شوری، منجر به تغییر در تعادل عناصر ماکرو و میکرو می‌گردد. نتیجه این سه فرآیند، اختلال در واکنش‌های رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه است (شاهین^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین می‌توان احتمال داد که وزن تر و خشک ساقه و ریشه در پژوهش حاضر به دلیل تأثیر شوری در اختلال فاکتورهای رشدی باشد. پاسخ مرکبات به شوری را به وقوع تنش اسمزی و یونی نسبت داده‌اند. اثرات اسمزی زمانی رخ می‌دهد که غلظت نمک‌ها در محلول خاک، بدون توجه به نمک‌های موجود، افزایش پیدا می‌کند. اثرات یونی زمانی ایجاد می‌شود که یون‌های خاص مانند Na^+ و Cl^- در بافت‌های گیاه تجمع یافته و در نتیجه منجر به ایجاد علائم سمیت خاص در گیاه می‌شوند (شهید^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). شوری عامل کاهش صفات رشدی نظیر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه شناخته شده است (شاهین و همکاران، ۲۰۱۸؛ سارکر و

جدول ۲- تأثیر فسفیت پتاسیم و سطوح شوری بر شاخص‌های مورفولوژیکی لیمو

میانگین مربعات					منابع تغییر
وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	درجه آزادی	
۴۵/۶۵**	۸۲۸/۲**	۲۲۱/۴**	۱۰۶۸/۲**	۳	شوری
۲/۰۱**	۶۳/۰۱**	۲۳/۲۲**	۲۹۵/۸**	۲	فسفیت پتاسیم
۰/۰۸۹ ^{ns}	۲/۳۵ ^{ns}	۱/۶۳*	۹۲/۸*	۶	شوری × فسفیت پتاسیم
۰/۰۳۶	۱/۰۳	۰/۴۹	۳۵/۶	۲۴	خطا
۲/۹۴	۳/۶۹	۱۳/۱	۲۲/۲		ضریب تغییرات

*, ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵، ۱ درصد و عدم معنی‌داری



شکل ۱- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر وزن تر (الف) و خشک (ب) ساقه در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.

به ترتیب ۴۳ و ۴۶ درصد) گردید، نتایج حاصل از تحقیق ما نیز بیانگر تأثیر منفی شوری بر وزن تر و خشک (ساقه و ریشه) در گیاه لیمو بود. محرک‌های زیستی منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه در شرایط تنش می‌شوند (بولگاری^۲ و همکاران، ۲۰۱۵؛ بولگاری و همکاران، ۲۰۱۹). فسفیت، شکل کاهش یافته فسفات، به عنوان یک محرک زیستی عمل می‌کند (بولگاری و همکاران، ۲۰۱۹؛ لووات و میکلسن^۳، ۲۰۰۶). فسفیت به وسیله انتقال‌دهنده‌های فسفات جذب می‌شود. هرچند نمی‌تواند در اکثر واکنش‌های بیولوژیکی جایگزین فسفات

اوبا^۱، ۲۰۲۰)، که نتایج پژوهش حاضر نیز در همین راستا می‌باشد و شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه شد. تأثیر کاهنده تنش شوری بر وزن تر و خشک گیاه توسط جهان‌بازی‌گوجانی و همکاران (۱۳۹۳) روی درخت بادام نیز گزارش شد. در مطالعه‌ای دیگر تأثیر کاهنده تنش شوری بر میزان زیست‌توده توسط عابدی و همکاران (۱۴۰۰) روی دو پایه نارنج و سیترونج گزارش شد. خوشبخت و همکاران (۱۳۹۳) نیز اذعان نمودند که تیمار با ۶۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم، منجر به کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در دو پایه نارنج سه‌برگ و بکرایی

3. Lovatt and Mikkelsen

1. Sarker and Oba
2. Bulgari

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر فسفیت پتاسیم و شوری بر شاخص‌های مورفولوژیکی و جذب عناصر لیمو

شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	پتاسیم برگ	کلسیم ریشه
1.5	۴۵/۹۴ ^a	۹/۷۳ ^a	۲/۳۶۸ ^a	۱/۴۳۳ ^a
3	۳۷/۱۷ ^b	۷/۷۷ ^b	۲/۲۷۳ ^b	۱/۳۹۳ ^{ab}
4.5	۳۱/۴۵ ^c	۶/۰۵ ^c	۲/۱۰۵ ^c	۱/۳۶۵ ^b
6	۲۳/۱۵ ^d	۴/۴۹ ^d	۱/۹۹۰ ^d	۱/۳۴۸ ^b
فسفیت پتاسیم (گرم در لیتر)				
0	۳۲/۰۶ ^c	۶/۶۳ ^c	۲/۱۲۲ ^b	۱/۳۶۱ ^b
1.5	۳۶/۶۴ ^a	۷/۴۴ ^a	۲/۲۰۵ ^a	۱/۴۱۸ ^a
3	۳۴/۵۹ ^b	۶/۹۶ ^b	۲/۲۲۷ ^a	۱/۳۷۵ ^b

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.01$) است.

گردد، اما پاسخ کمبود مربوط به فسفات را سرکوب می‌کند (واردارانجان^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). کاربرد فسفیت به صورت آبیاری، رشد اندام‌های هوایی و نمو ریشه را افزایش داده و معمولاً میزان زیست توده را حتی تا ۳۰ درصد افزایش داده است (روسال^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهش حاضر نیز کاربرد فسفیت پتاسیم (۱/۵ گرم در لیتر) منجر به افزایش وزن تر و خشک (ساقه و ریشه) در گیاهان آبیاری شده با سطوح مختلف نمک گردید. در گیاهان نارنگی (*Citrus reticulate*) تیمار شده با فسفیت در غلظت یک لیتر در هکتار، بهبود شاخص‌های مربوط به ریشه و افزایش ظرفیت فتوسنتزی، سرعت تعرق، هدایت روزنه‌ای و راندمان مصرف آب برگ را به همراه داشت. در واقع، شاخص‌های بهبود یافته ریشه فرصت بیشتری برای خارج کردن آب برای تعرق، کاهش تحمل برگ در برابر انتشار CO_2 و مصرف بیشتر مواد مغذی برای ساخت مقادیر بیشتر اجزای فتوسنتزی در واحد سطح برگ ایجاد می‌کند (محمد^۳ و همکاران، ۲۰۲۲) به نظر می‌رسد که کاربرد فسفیت پتاسیم در پژوهش حاضر از طریق بهبود هدایت روزنه‌ای و راندمان مصرف، منجر به حفظ بهتر وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه شده است.

تأثیر سطوح شوری و فسفیت پتاسیم بر غلظت عناصر ماکرو و میکرو در برگ و ریشه لیمو

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار برهمکنش شوری و فسفیت پتاسیم بر عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر، پتاسیم (ریشه)، کلسیم (برگ) و سدیم) و عناصر میکرو (آهن، روی و مس برگ) بود (جدول ۴). همچنین تأثیر معنی‌دار اثرات ساده شوری و فسفیت پتاسیم بر عناصر ماکرو (کلسیم ریشه و پتاسیم برگ) بود (جدول ۴).

نیتروژن برگ و ریشه

میزان نیتروژن برگ در لیمو تحت تأثیر تنش شوری و فسفیت پتاسیم قرار گرفت. تنش شوری منجر به کاهش نیتروژن برگ و تیمار با فسفیت پتاسیم منجر به افزایش آن گردید. با توجه به شکل ۲ مشخص شد که کمترین نیتروژن برگ و ریشه در غلظت‌های بدون تیمار فسفیت پتاسیم و گیاهان آبیاری شده با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (به ترتیب ۱/۹۶ و ۰/۶۶ درصد) و بیشترین نیتروژن برگ و ریشه در تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت پتاسیم و گیاهان آبیاری شده با شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر (به ترتیب ۲/۴۲ و ۱/۳۴ درصد) مشاهده شد. محتوای نیتروژن برگ و ریشه گیاهان تیمار شده با فسفیت پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر در مقایسه با تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب افزایش ۱۵/۱۵ و ۴۷/۲ درصدی نشان دادند (شکل ۲ الف و ب).

فسفر برگ و ریشه

در رابطه با تأثیر سطوح شوری در محتوای فسفر برگ و

کلسیم برگ و ریشه

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که سطوح بالاتر نمک باعث کاهش محتوای کلسیم در برگ لیمو گردید. تیمار فسفیت‌پتاسیم نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان کلسیم برگ داشت (جدول ۴). در خصوص محتوای کلسیم برگ مشاهده شد که بالاترین سطح شوری (۶ دسی‌زیمنس بر متر)، باعث کاهش ۱۸/۸ درصدی نسبت به کمترین سطح نمک (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) گردید و کاربرد فسفیت پتاسیم باعث افزایش میزان این عنصر گردید. بین سطوح ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر از فسفیت‌پتاسیم اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد. با وجود این، بیشترین میزان کلسیم برگ (۱/۶۸ درصد) در گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم و آبیاری شده با ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر از نمک مشاهده شد که در مقایسه با گیاهانی که همین سطح نمک را بدون فسفیت‌پتاسیم دریافت کرده بودند، افزایش ۵/۳ درصدی را داشت (شکل ۵).

شوری منجر به کاهش میزان کلسیم در ریشه شد. بیشترین میزان کلسیم (۱/۴۳ درصد) در گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر و کمترین میزان آن (۱/۳۴ درصد) در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش ۶/۲۹ درصدی جذب کلسیم در مقایسه با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر شد. همچنین نتایج بیانگر افزایش جذب کلسیم ریشه در گیاهان تیمار شده با فسفیت‌پتاسیم بود. بیشترین میزان کلسیم ریشه (۱/۴۱ درصد) به گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم و کمترین میزان آن (۱/۳۶ درصد) به گیاهانی که این تیمار را دریافت نکرده بودند، تعلق داشت (جدول ۳).

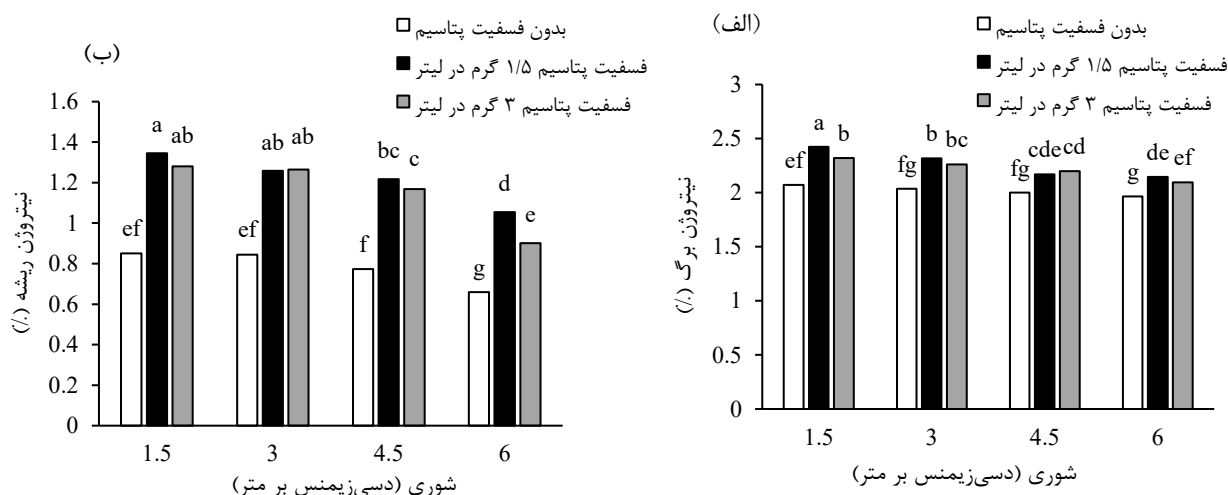
سدیم برگ و ریشه

نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که اعمال تنش شوری منجر به افزایش میزان سدیم در برگ و ریشه گیاه لیمو گردید. این در حالی است که کاربرد فسفیت پتاسیم منجر به کاهش جذب سدیم گردید و تأثیر کاهنده تیمار ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم، بارزتر بود. هرچند بیشترین سدیم برگ (۰/۴۲ درصد)، متعلق به سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک بود با شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶ الف). کمترین سدیم برگ (۰/۲۲ درصد) نیز در گیاهان تیمار شده با آب کم نمک (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و فسفیت‌پتاسیم (۱/۵

ریشه مشاهده شد که سطوح بالاتر نمک در آب آبیاری، منجر به کاهش میزان فسفر در هر دو اندام مورد مطالعه لیمو گردید (شکل ۳ الف). گیاهان آبیاری شده با آب شور ۶ دسی‌زیمنس بر متر در غیاب فسفیت‌پتاسیم، دارای کمترین فسفر ریشه (۰/۰۵ درصد) بودند. این در حالی است که کاربرد فسفیت‌پتاسیم روند را تغییر داد، بر همین اساس گیاهان آبیاری شده با نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر که با غلظت ۳ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم تیمار شده بودند، دارای بیشترین میزان فسفر برگ و ریشه (به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۱ درصد) بودند. در سطوح شوری ۳، ۴/۵ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر بین تیمارهای ۱/۵ و ۳ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری در فسفر ریشه مشاهده نشد. به طور کلی تیمار فسفیت‌پتاسیم در غلظت ۳ گرم در لیتر و سطح ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش ۳۱/۱۱ درصدی فسفر برگ، ۴۷/۳ درصدی فسفر ریشه در مقایسه با گیاهان تیمار بدون فسفیت‌پتاسیم و در سطح آب شور ۶ دسی‌زیمنس بر متر گردید (شکل ۳ ب).

پتاسیم برگ و ریشه

با توجه به شکل ۴ و جدول ۳ مشخص شد که تیمار با آب شور با کاهش محتوای پتاسیم و تیمار با کاربرد فسفیت پتاسیم با افزایش معنی‌دار مقادیر پتاسیم همراه بود. نتیجه مقایسه میانگین اثرات ساده شوری و فسفیت‌پتاسیم بر پتاسیم برگ (جدول ۳) نشان داد که کمترین میزان پتاسیم برگ (۱/۹۹ درصد) در سطح شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲/۳۶ درصد) در شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. در گیاهان تیمار شده با فسفیت‌پتاسیم ۳ گرم در لیتر بیشترین میزان پتاسیم برگ (۲/۲۲ درصد) مشاهده شد هر چند که با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر فسفیت‌پتاسیم (۲/۲۰ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان پتاسیم برگ (۲/۱۲ درصد) در تیمار بدون فسفیت‌پتاسیم مشاهده شد (جدول ۳). کمترین میزان پتاسیم ریشه (۰/۲۸ درصد) در سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر نمک در گیاهان تیمار نشده با فسفیت‌پتاسیم مشاهده شد. بیشترین میزان پتاسیم ریشه (۰/۸۷ درصد) نیز در گیاهان تیمار شده با فسفیت‌پتاسیم ۳ گرم در لیتر و آبیاری شده با آب نمک ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد که نسبت به تیمار ۱/۵ گرم در لیتر از فسفیت‌پتاسیم در همین سطح نمک، اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴).



شکل ۲- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر نیترژن برگ (الف) و ریشه (ب) در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.

جدول ۴- تأثیر سطوح شوری و فسفیت پتاسیم بر عناصر ماکرو و میکرو در برگ و ریشه لیمو

میانگین مربعات						
منابع تغییر	df	نیترژن برگ	نیترژن ریشه	فسفر برگ	فسفر ریشه	پتاسیم برگ
شوری	۳	۰/۱۶۵**	۰/۵۵۶**	۰/۰۰۳۶**	۰/۰۰۰۶۱**	۰/۲۵۷**
فسفیت پتاسیم	۲	۰/۰۴۹**	۰/۰۱۰۳*	۰/۰۰۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۶ ^{ns}	۰/۰۴۷**
شوری × فسفیت پتاسیم	۶	۰/۰۱۱*	۰/۰۲۰۸**	۰/۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۷۴**	۰/۰۰۵ ^{ns}
	۲۴	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۷۶
		۲/۷۸	۴/۹۸	۴/۴	۱۶/۴	۳/۹۹
		۱۴/۴				

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

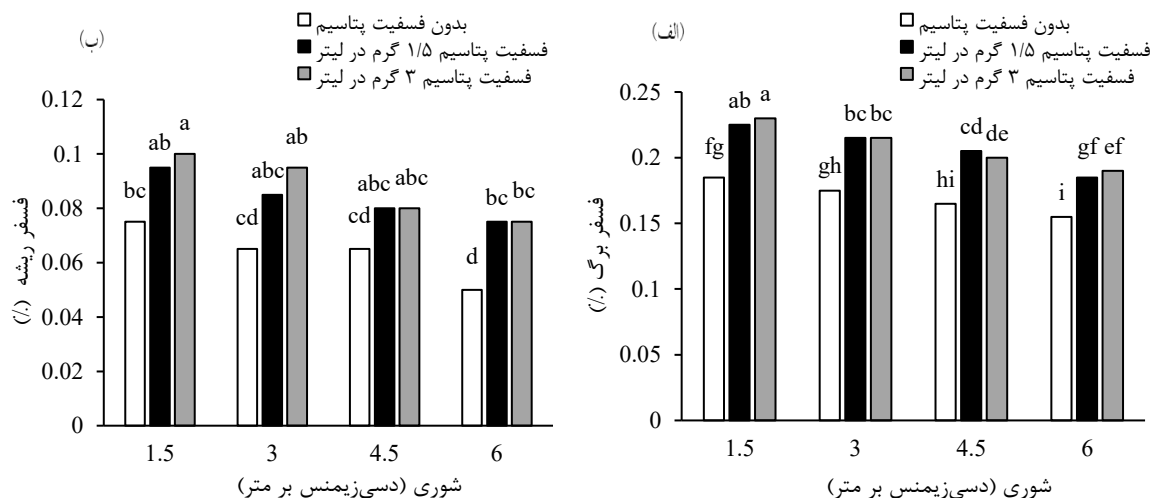
ادامه جدول ۴- تأثیر سطوح شوری و فسفیت پتاسیم بر عناصر ماکرو و میکرو در برگ و ریشه لیمو

میانگین مربعات						
منابع تغییر	df	کلسیم برگ	کلسیم ریشه	سدیم برگ	سدیم ریشه	آهن برگ
شوری	۳	۰/۱۸۷۲**	۰/۰۱۲**	۰/۰۲۷**	۰/۰۱۱۵**	۱۷۳/۸ ^{ns}
فسفیت پتاسیم	۲	۰/۰۰۵۸*	۰/۰۱۰*	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۳۱**	۶۳۱/۳*
شوری × فسفیت پتاسیم	۶	۰/۰۰۹۱**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۱۵**	۹۲۱/۴**
	۲۴	۰/۰۰۹۱**	۰/۰۰۲۶۱	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۱	۱۸۲/۹۷
		۰/۰۰۱۴	۳/۶	۵/۶	۲/۶	۱۵/۶
		۲۰/۳				۲۹/۵

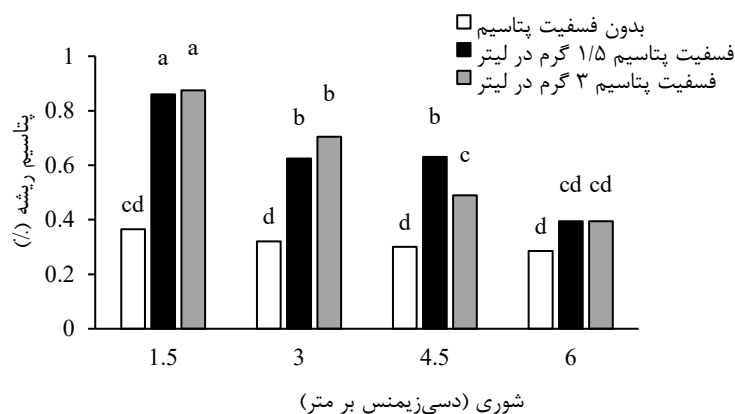
*, **, ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و عدم معنی‌داری

تأثیر سطوح شوری و فسفیت پتاسیم بر عناصر میکرو (مس، آهن و روی) در برگ لیمو
محتوای عناصر میکرو مانند مس، آهن و روی برگ نیز تحت تأثیر اثر متقابل شوری و فسفیت پتاسیم قرار گرفتند (جدول ۴).

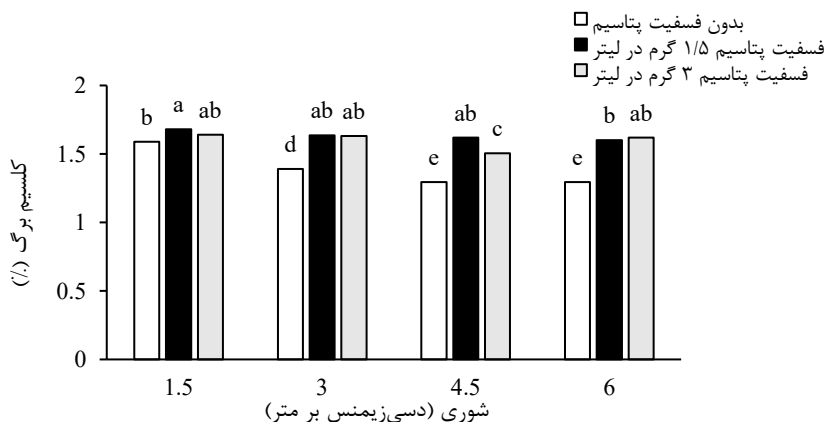
یا ۳ گرم در لیتر) مشاهده شد. در خصوص سدیم ریشه نیز، گیاهان تیمار شده با سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر از نمک بالاترین مقدار را داشتند. تیمار با سطوح ۳ و ۱/۵ گرم در لیتر از فسفیت پتاسیم در این سطح نمک، به ترتیب کاهش ۱۴/۲ و ۱۸/۱۸ درصدی در سدیم ریشه را به همراه داشت (شکل ۶ الف و ب).



شکل ۳- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر فسفر برگ (الف) و ریشه (ب) در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.



شکل ۴- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر ریشه در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.



شکل ۵- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر کلیسیم برگ در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.

مس برگ

بیشترین میزان مس برگ (۱۶/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در گیاهان تیمار شده با فسفیت‌پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر و شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. کمترین میزان مس نیز در تیمار بدون فسفیت‌پتاسیم و شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر (۷/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) مشاهده شد (شکل ۷).

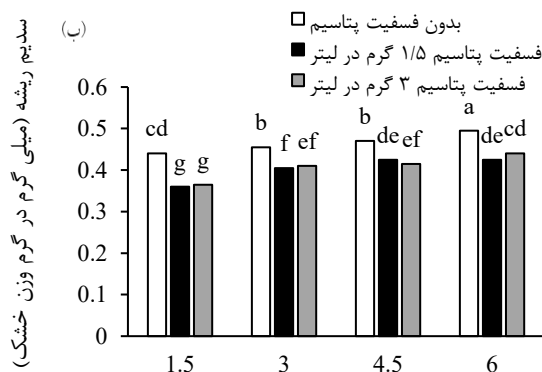
آهن برگ

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود تاثیر شوری بر محتوای آهن معنی‌داری نبود، اما اثر متقابل شوری و فسفیت‌پتاسیم و اثر فسفیت‌پتاسیم بر محتوای آهن برگ معنی‌دار بود. شوری منجر به کاهش محتوای آهن برگ در لیمو گردید و کمترین میزان آهن (۶۳/۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در گیاهان آبیاری شده با سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر از نمک که فسفیت‌پتاسیم را دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. فسفیت‌پتاسیم منجر به افزایش جذب این عنصر میکرو گردید، به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با ۳ گرم در لیتر از فسفیت‌پتاسیم دارای بیشترین محتوای آهن برگ (۱۱۵/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) بودند. در مجموع کاربرد فسفیت‌پتاسیم منجر به افزایش ۴۴/۴ درصدی میزان آهن در مقایسه با گیاهان بدون اعمال تیمار فسفیت‌پتاسیم گردید (شکل ۸).

روی برگ

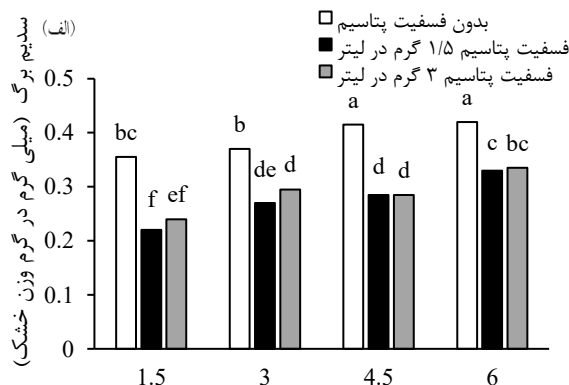
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود شوری بر محتوای روی برگ تأثیر معنی‌داری نداشت، اما اثر متقابل شوری و فسفیت‌پتاسیم و اثر فسفیت‌پتاسیم بر محتوای روی برگ معنی‌داری بود. شوری منجر به کاهش محتوای روی برگ در لیمو گردید. کمترین میزان روی (۲۴/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) در گیاهان آبیاری شده با سطح ۶ دسی‌زیمنس بر متر از نمک که فسفیت‌پتاسیم را دریافت نکرده بودند، مشاهده شد. فسفیت‌پتاسیم منجر به افزایش جذب این عنصر میکرو گردید. گیاهان تیمار شده با ۱/۵ گرم در لیتر از فسفیت‌پتاسیم بیشترین محتوای روی برگ (۵۶/۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) را دارا بودند. در مجموع کاربرد فسفیت‌پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر منجر به افزایش ۵۷/۱۹ درصدی میزان روی در مقایسه با گیاهان آبیاری شده با شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر و در غلظت بدون فسفیت پتاسیم گزارش شد (شکل ۹).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تنش شوری منجر به کاهش جذب عناصر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، آهن و روی و افزایش جذب سدیم شد. ورود سدیم منجر به برهم خوردن پتانسیل غشاء و تسهیل ورود غیرفعال کلر (از طریق یک کانال آنیونی) می‌شود. یون سدیم برای متابولیسم سلولی سمی است و بر فعالیت بعضی آنزیم‌ها تأثیرگذار است. غلظت زیاد یون سدیم سبب برهم خوردن تعادل اسمزی و ساختار غشاء سلولی، کاهش رشد و ممانعت از تقسیم سلولی می‌گردد (لیو^۱ و



شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

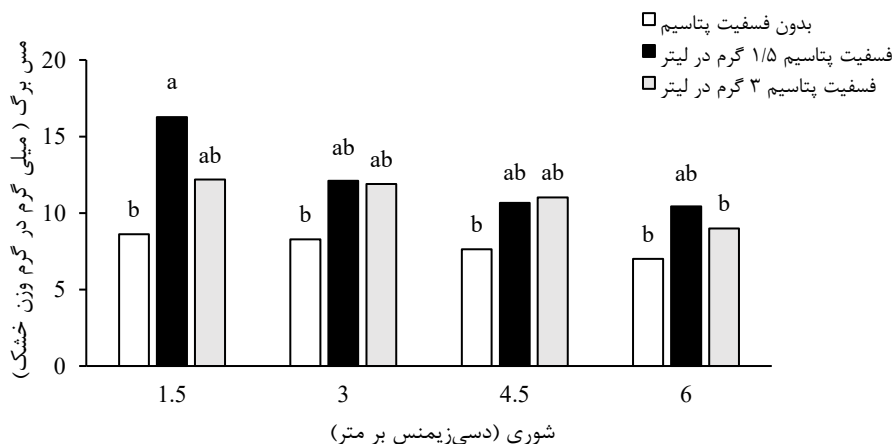
شکل ۶- اثر تنش شوری و فسفیت‌پتاسیم بر سدیم برگ (الف) و ریشه (ب) در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.01$) است.



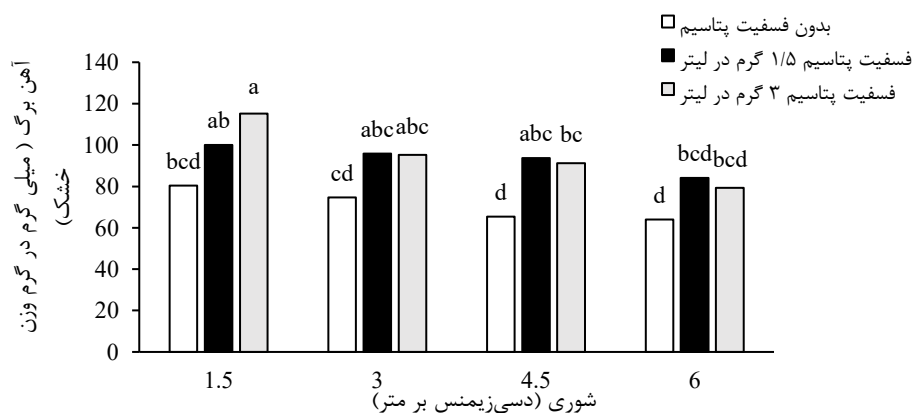
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)

هستند و انتقال آن‌ها توسط پروتئین‌های مشابهی صورت می‌گیرد، لذا در هنگام جذب توسط ریشه‌ها با یکدیگر در رقابت می‌باشند (مینازاده و همکاران، ۱۳۹۷). دلیل ذکر شده می‌تواند کاهش جذب پتاسیم در اثر شوری را در مطالعه حاضر توجیه کند. گیاهان مقاوم‌تر 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 مشهود می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). در تأیید نتایج به‌دست آمده از تأثیر شوری بر میزان سدیم و

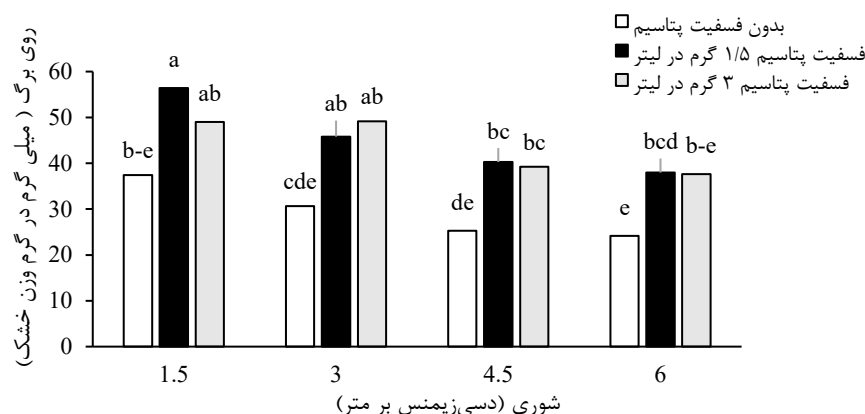
همکاران، ۲۰۲۳). تجمع بیش از حد Na^+ در بافت‌های مرکبات باعث کلروز و نکروز در نوک و حاشیه برگ‌های مسن‌تر و عدم تعادل Ca^{+2} و Mg^{+2} می‌شود (گراتان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه حاضر افزایش سدیم می‌تواند توجیه‌کننده کاهش فاکتورهای رویشی و کاهش جذب کلسیم نیز باشد. حفظ سطوح بالای پتاسیم می‌تواند سبب بهبود تنظیم اسمزی با مصرف انرژی کمتری نسبت به تجمع محلول‌های سازگار در طی تنش شود (موحدی و همکاران، ۱۴۰۱). دو یون سدیم و پتاسیم دارای شعاع یونی مشابهی



شکل ۷- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر مس برگ در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.



شکل ۸- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر آهن برگ در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.



شکل ۹- اثر متقابل تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر روی برگ در لیمو. حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون توکی ($p < 0.05$) است.

صورت بروز تنش، کلسیم با تشکیل پیوندهای بین مولکولی باعث پایداری و حفظ دیواره سلول می‌شود و از این طریق از ورود سدیم به غشاء سلولی ممانعت 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 (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). در گیاهانی که دچار کمبود کلسیم هستند و توانایی مهار انتقال نمک به اندام‌های هوایی را ندارند، آسیب به نوک ساقه و ظهور برگ‌های جوان نکروزه گزارش شده است (چن^۳ و همکاران، ۲۰۱۸). هر چند میزان فسفر تحت شرایط تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در رقابت با یون سدیم، کاهش پیدا می‌کند، اما در پایه‌های مرکبات که تحمل بیشتری نسبت به شوری دارند، محتوی فسفر برگ به مقدار کمتری کاهش می‌یابد. در گیاهان حساس ۵۰ درصد و در گیاهان متحمل ۶ درصد کاهش فسفر مشاهده شد (اوتامن و همکاران، ۲۰۲۳؛ مورکوت و همکاران، ۲۰۰۶). در تحقیق حاضر، میزان فسفر برگ در سطوح مختلف شوری تفاوت چندانی نداشت، ولی بیشترین میزان فسفر ریشه در گیاهان تیمار شده با سطح ۱/۵ نیتروژن در برگ پایه‌های مرکبات تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از اثر آنتاگونیسی یون کلر در جذب نیترات، کاهش متابولیسم نیتروژن در اثر کاهش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز و کاهش مصرف آب به دلیل کاهش جذب آب برگ توسط گیاه

پتاسیم در مطالعه اوتامن^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در مرکبات نیز روند مشابهی گزارش کردند و بیان نمودند که اعمال تنش شوری منجر به کاهش ۴۷ درصدی پتاسیم و افزایش ۵۰ درصدی میزان سدیم گردید. در تحقیق حاضر با افزایش سطوح شوری میزان پتاسیم برگ و ریشه روندی کاهشی نشان دادند. اعمال تنش شوری در پژوهش حاضر موجب کاهش کلسیم برگ نسبت به شاهد گردید، خوشبخت و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که اعمال تنش شوری در غلظت ۶۰ میلی‌مولار منجر به کاهش ۶۲/۲ و ۱۲/۸ درصدی میزان کلسیم در نارنج سه‌برگ و بکرایی گردید که نتایج مطالعه حاضر نیز در همین راستا می‌باشد. کلسیم در تنظیم متابولیسم سلولی و استحکام دیواره غشاء نقش دارد. در صورت بروز تنش شوری در پایه‌های مرکبات، علاوه بر تداخل کلسیم با سدیم، کارکرد این عنصر در فعالیت‌های گیاه نیز تغییر پیدا می‌کند (آلام و همکاران، ۲۰۲۰). سیگنال‌های کلسیم به هماهنگ کردن پاسخ‌های گیاه و مکانیسم‌های دفاعی که توسط بسیاری از تنش‌ها از جمله تنش شوری القا می‌شوند، کمک می‌کنند (مانی‌شانکر^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). در دسی‌زیمنس بر متر از نمک مشاهده شد که نتایج این تحقیق با مطالعات بالا در یک راستا می‌باشد.

در مطالعه حاضر مشاهده شد که تنش شوری منجر به کاهش جذب نیتروژن می‌شود. گزارش شده است که کاهش میزان

3. Chen

1. Othman
2. Manishankar

فتوستنتز تأثیر دارد. لذا به نظر می‌رسد کاهش آهن در تیمار نمک ۶ دسی‌زیمنس برمتر، از طریق کاهش فتوستنتز بر میزان زیست‌توده تأثیرگذار بوده است.

عنصر روی از جمله عناصر میکرو ضروری برای گیاهان می‌باشد که به‌طور غیرمستقیم روابط آب در گیاهان را تنظیم می‌کند و همچنین به افزایش تحمل گیاه در برابر شوری کمک می‌کند (ادیل^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). وجود این عنصر برای سنتز اسید آمینه تریپوفان که در تولید اکسین دخالت دارد، ضروری است. فقدان اکسین IAA که در اثر کمبود روی رخ می‌دهد باعث عدم رشد دیواره سلولی و کاهش جذب آب در گیاه می‌شود (نوزوی^۳، ۲۰۱۸). در مطالعات مشابه، جهانبازی گوجانی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند که اعمال تنش شوری در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار منجر به کاهش جذب مس (۳۰/۱۵ درصد)، آهن (۳۵/۱۸ درصد) و روی (۵۸/۵ درصد) در چهار گونه بادام گردید. در این تحقیق گیاهانی که با کمترین سطح نمک (۱/۵ دسی‌زیمنس برمتر) آبیاری شده بودند، بیشترین میزان آهن را داشتند. کمترین مقادیر آهن نیز به سطوح بالاتر نمک اختصاص داشت.

در پژوهش حاضر، غلظت یون‌های آهن، روی و مس در برگ لیمو با افزایش شوری، کاهش یافت. میزان عناصر غذایی کم‌مصرف بسته به سطح نمک و مقدار عناصر غذایی پر مصرف تحت تأثیر قرار می‌گیرد (هو و اشمیت‌هالتر^۴، ۲۰۰۱). ضمن اینکه تأثیر شوری بر میزان عناصر غذایی کم‌مصرف بسته به گونه گیاه و نوع اندام گیاهی متفاوت است. در پژوهشی در چهار پایه مرکبات، شوری باعث افزایش محتوای عناصر آهن و روی در ریشه و کاهش آن در برگ شد (روئیز^۵ و همکاران، ۱۹۹۷). در گیاه گوجه‌فرنگی نیز محتوای آهن شاخساره در مواجه با شوری ابتدا افزایش و سپس کاهش داشت (جامبری^۶ و همکاران، ۲۰۰۲).

در مواجه با نمک، متابولیت‌های سمی سدیم می‌توانند برای مکان‌هایی که پتاسیم در سطح سلولی حضور دارد، رقابت نمایند. در چنین شرایطی سطوح بالای سدیم یا نسبت بالای سدیم به پتاسیم می‌تواند باعث تخریب واکنش‌های مختلف آنزیمی در سیتوپلاسم و تیمار با پتاسیم با افزایش نسبت

باشد (آلام، ۲۰۲۰). محمدی و همکاران (۱۴۰۰) اذعان نمودند که اعمال تنش شوری در سطح ۸ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش جذب نیتروژن به میزان ۹/۵ درصد در مقایسه با شاهد در بادام پیوندی شد این نتایج با یافته‌های مطالعه حاضر در یک راستا می‌باشد زیرا در پژوهش حاضر نیز بیشترین میزان نیتروژن (برگ و ریشه) در گیاهان تیمار شده با کمترین سطح نمک (۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. در مطالعه انجام شده تأثیر شوری بر عناصر ریزمغذی هم بررسی شد و نتایج بیانگر کاهش جذب عناصر آهن، روی و مس بود. رابطه بین شوری و جذب عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم مصرف، بسیار پیچیده می‌باشد که علت آن کم بودن حلالیت عناصر کم‌مصرف در خاک‌های شور و سدیمی می‌باشد. جذب عناصر غذایی در شرایط شور به دلایل مختلف از جمله کاهش حجم ریشه و خاصیت آنتاگونیستی بین عناصر غذایی و یون‌های سمی کاهش پیدا می‌کند. کاهش جذب عناصر کم‌مصرف در شرایط شور به دلیل جذب بیشتر Na^+ و Mg^{2+} است و این عناصر قابلیت رقابت بالاتری دارند در نتیجه جذب عناصر کم‌مصرف کاهش می‌یابد (متشرع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). این دلایل می‌توانند توجیه‌کننده کاهش جذب عناصر ریزمغذی آهن، روی و مس در مطالعه حاضر در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر باشد. غلظت مناسب عناصر میکرو در گیاه با تأثیر مثبت بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، باعث بهبود جذب و نگهداری آب در گیاه و فتوستنتز گیاه می‌شود که در نهایت موجب افزایش تحمل گیاه در برابر شرایط تنش می‌شود (پاویا^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). مس برای برخی آنزیم‌ها مانند سوپراکسید دیسموتاز کوفاکتور است و در شرایط تنش فعالیت این آنزیم‌ها برای حفاظت از سلول‌های گیاهی تحت تأثیر مس افزایش می‌یابد (اسکندری و مظفری، ۱۳۹۱). عنصر آهن نیز نقش بسیار مهمی در توسعه کلروپلاست، دریافت انرژی نورانی و انتقال الکترون از آب به $NADP^+$ دارد. این عنصر، همچنین در انتقال الکترون به فتوسیستم یک تأثیر بسزایی دارد و کوفاکتوری مهم برای تعدادی از آنزیم‌های دخیل در مسیر بیوستنتز کلروفیل است (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). به عبارتی آهن بر محصول

4. Hu and Schmidhalter

5. Ruize

6. Jumberi

1. Pavia

2. Adil

3. Nozoye

افزایش فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز، بهبود جذب نیتروژن، آهن و پتاسیم در گیاهان تیمار شده با کود پتاسیم، بیانگر بهبود فتوسنتز برگ و هدایت روزنه‌ای می‌باشد. به‌طور کلی تیمار کود پتاسیم توانایی گیاهان را برای تحمل تنش‌های غیرزیستی از طریق بهبود جذب نیتروژن و کربن، همراه با بهبود رشد ریشه و جذب سایر عناصر متحمل می‌سازد (متشرع‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴).

سیستم ریشه‌ای عمیق برای استخراج آب و عناصر غذایی کافی در شرایط تنش اهمیت زیادی دارد. با توجه به این که فسفر در افزایش رشد ریشه و استقرار خوب گیاهان، افزایش ظرفیت تبدیلی ریشه گیاه و ایجاد تحمل در برابر تنش‌های محیطی و در نتیجه جذب عناصر غذایی نقش دارد، تماس بیشتر ریشه با خاک از فاکتورهای مهم برای جذب عناصر کم‌تحرك در خاک توسط گیاهان است (دنگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). در بررسی تأثیر فسفر در جذب عناصر میکرو در گندم مشاهده شد که جذب عنصر آهن (حدود ۲ برابر)، روی و پتاسیم به‌ترتیب ۶۰ و ۵۰ درصد نسبت به سطح شاهد در شرایط تنش خشکی افزایش یافت که این افزایش جذب می‌تواند ناشی از افزایش رشد ریشه و ویژگی‌های آن باشد (موسوی و همکاران، ۱۴۰۱). در مطالعه حاضر مشاهده شد که بهترین غلظت فسفیت‌پتاسیم ۱/۵ گرم در لیتر بود که باعث جذب بهتر عنصر روی شد. کاربرد فسفیت‌پتاسیم از چندین طریق می‌تواند منجر به افزایش جذب روی گردد، به‌طور مثال کاربرد فسفیت‌پتاسیم منجر به تنظیم فعالیت آنزیم‌های موثر در جذب روی می‌شود و قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه افزایش می‌یابد. همچنین کاربرد فسفیت پتاسیم باعث افزایش pH خاک (کاهش تثبیت روی در خاک و افزایش قابلیت جذب آن توسط گیاه) و تنظیم pH گیاه (افزایش پتاسیم و در نتیجه افزایش قابلیت جذب روی) می‌شود. علاوه بر این افزایش سطح ریشه و ترکیبات آلی در اثر کاربرد فسفیت‌پتاسیم از دیگر دلایل افزایش عنصر روی می‌باشد (وانشونگ و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیق حاضر افزایش فسفیت‌پتاسیم از ۱/۵ گرم در لیتر به ۳ گرم در لیتر منجر به کاهش جذب روی گردید. گزارش شده است که

پتاسیم به سدیوم، می‌تواند به‌عنوان یک عامل تعدیل‌کننده شوری مورد استفاده قرار گیرد. پتاسیم موجود در کود در فعال کردن آنزیم‌ها به‌عنوان کاتالیزور در ارتقای فرآیندهای متابولیکی گیاه و به‌عنوان محرک رشد اندام‌های هوایی نقش دارد. افزایش رشد رویشی، تعداد و وزن برگ‌ها ممکن است به‌دلیل مشارکت مواد رشدی و عناصر غذایی در فرآیند متابولیک گیاه در اثر تیمار با پتاسیم باشد (وانشونگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). در پژوهش حاضر نیز، افزایش وزن تر ساقه ممکن است به‌دلیل بزرگ شدن سلول با دسترسی بیشتر به مواد مغذی و مواد رشدی، در پاسخ به پتاسیم موجود در فسفیت‌پتاسیم باشد. همچنین از آنجا که فرآیند فتوسنتز باعث افزایش زیست‌توده در گیاه می‌شود در نتیجه افزایش رشد رویشی ایجاد می‌کند (مارکویز-پریتو^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین افزایش زیست‌توده در مطالعه حاضر می‌تواند روی فتوسنتز تأثیر گذاشته و منجر به افزایش رشد و جذب بهتر عناصر غذایی شده است. تیمار با پتاسیم، جدا از جلوگیری از تخریب آنزیم‌های دخیل در واکنش‌های مهم گیاهی با تأثیر مثبت بر فتوسنتز، رشد ریشه و اندام‌های هوایی را در انگور تحت تأثیر قرار داده است (مینازاده و همکاران، ۱۳۹۷). احتمالاً در پژوهش حاضر نیز، افزایش وزن تر و خشک (برگ و ریشه)، ناشی از تأثیر پتاسیم موجود در فسفیت‌پتاسیم بر فتوسنتز و انباشته شدن مواد غذایی بوده است. تیمار کود پتاسیم (۱/۵ کیلوگرم در هر بوته) ویژگی‌های رویشی را در پرتقال بهبود بخشید و جذب عناصر غذایی مانند فسفر (۱۴/۷ درصد)، پتاسیم (۳۱ درصد) و نیتروژن (۱۵ درصد) را توسط ریشه افزایش داد. تفاوت در شاخص‌های مورفولوژیک (افزایش ۴۳ درصدی وزن خشک برگ) بین گیاهان پرتقال شاهد و گیاهان تیمار شده با کود پتاسیم به افزایش توانایی جذب مواد مغذی از خاک نسبت داده شد و همچنین باعث افزایش عملکرد و بهبود رنگ و افزایش کیفیت میوه پرتقال شد (ون^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین ویو^۴ و همکاران (۲۰۲۱) در پرتقال گزارش کردند که کاربرد کود پتاسیمی منجر به افزایش ۲۳/۶ درصدی پتاسیم در مقایسه با شاهد شد.

4. Wu
5. Deng

1. Wanshiong
2. Márquez -Prieto
3. Wen

افزایش غلظت فسفر می‌تواند بر جذب روی تأثیر منفی داشته باشد و مانع از جذب آن شود (موسوی^۱، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری کلی

تنش شوری یکی از تنش‌های بسیار نامطلوب بر رشد گیاهان به‌ویژه مرکبات است لذا ارائه راهکار مناسب به‌منظور کاهش و تعدیل اثرات مضر تنش شوری می‌تواند موثر باشد. با توجه به نتایج این تحقیق مبنی بر تأثیر تنش شوری و فسفیت پتاسیم بر جذب عناصر غذایی و شاخص‌های رشدی لیمو،

می‌توان گزارش کرد که شوری منجر به کاهش وزن تر و خشک (ساقه و ریشه)، محتوای عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، مس، آهن و روی و افزایش سدیم در پایه لیمو شد. کاربرد فسفیت‌پتاسیم دارای تأثیر تعدیل‌کننده‌ای بر محتوای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم (برگ و ریشه)، مس، آهن و روی (برگ) در شرایط شوری داشته و سبب بهبود شاخص‌های ساقه و ریشه (وزن تر و خشک) شد که در نهایت منجر به کاهش اثرات مضر تنش شوری در لیمو شد. کاربرد فسفیت‌پتاسیم در غلظت ۱/۵ گرم در لیتر در خاک‌های شور برای پایه لیمو می‌تواند نتایج امیدبخشی به‌همراه داشته باشد.

منابع

- اسکندری، س. و مظفری، و. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح شوری و مقادیر مختلف مس بر جذب عناصر غذایی کم‌مصرف در شاخساره و ریشه دو رقم پسته (*Pistacia vera* L.) در شرایط گلخانه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۳(۱۲): ۲۹-۴۲.
- پشنکه، ز.، شمیلی، م.، عبدالحی، ف. و قاسمی، م. ۱۳۹۸. برهمکنش شوری و جیبرلین بر ریزش برگ، ماده خشک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای عناصر در گواوا (*Psidium guajava* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۱(۴): ۸۰۹-۸۲۶.
- جهانبازی‌گوجانی، ح.، حسینی‌نصر، س.م.، ثاقب‌طالبی، خ. و حجتی، س.م. ۱۳۹۳. تأثیر تنش شوری بر فاکتورهای رویشی، پرولین، رنگیزه‌های فتوسنتزی و جذب عناصر در اندام هوایی چهار گونه بادام وحشی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی گیاهی)، ۲۷(۵): ۷۷۷-۷۸۷.
- حسیبی، پ.، زنده، ل.، قائم‌مقامی، ن.، رشیدی-رضوان، ن.، نجفی، ح. و قائم‌مقامی، ف. ۱۳۸۹. مطالعه برخی خصوصیات فیزیولوژیکی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش شوری از منابع کلریدسدیم و کلریدکلسیم. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲(۲): ۳-۲۴.
- خوشبخت، د.، میرزایی، م. و رامین، ع.ا. ۱۳۹۳. عکس‌العمل فتوسنتزی، تغذیه‌ای و رویشی دو پایه مرکبات تحت تنش شوری. نشریه تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی، ۴(۱۴): ۳۵-۴۶.
- رسولی، م. ۱۳۹۵. اثر سطوح مختلف فسفیت پتاسیم و اسید بوریک روی درصد تشکیل میوه ارقام مختلف انگور (*Vitis vinifera* L.). پژوهش‌های میوه‌کاری، ۱۱(۱): ۵۶-۶۹.
- عابدی، ب.، اسفندیاری، ب.، وصال، س.ر. و داوری‌نژاد، غ.ج. ۱۴۰۰. تأثیر سطوح مختلف کیتوسان بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک دو پایه مرکبات تحت تنش شوری. پژوهش‌های میوه‌کاری، ۶(۲): ۹۱-۱۰۰.
- عباسی، م.، حیدری، م. و ذاکرین، ع. ۱۳۹۰. اثر کاربرد کلریدسدیم بر رشد رویشی و غلظت یون‌های سدیم، پتاسیم و کلر در دانهال‌های دو رقم انبه (*Mangifera indica* L.). نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۵: ۸-۱.
- متشرع‌زاده، ب.، وطن‌آرا، ف. و ثواقبی‌فیروزآبادی، ع.ر. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر پتاسیم و روی بر برخی واکنش‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) به تنش شوری. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۹(۳): ۲۴۴-۲۵۸.
- محمدی، ح.، ایمانی، ع.، اصغری، م.ر.، طلایی، ع.ر. و عبدوسی، و. ۱۴۰۰. بررسی اثرات تنش شوری آب آبیاری و اسید سالیسیلیک بر عناصر غذایی برگ در سه رقم بادام پیوندی. فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۰(۴۱): ۴۵-۷۵.

- موحدی، ح.، عشقی، س.، راحمی، م.، رئوفی، ا. و صداقت، س. ۱۴۰۱. بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دو رقم پسته در شرایط تنش شوری با کاربرد کودهای سولفات پتاسیم و نانوپتاسیم. *مجله علوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۳(۴): ۵۵۵-۵۶۶.
- موسوی، م.، خراسانی، ر. و توکل‌افشاری، ر. ۱۴۰۱. تأثیر سفر بر جذب آهن، روی و پتاسیم و خصوصیات رشدی ریشه و اندام هوایی گندم در رژیم‌های رطوبتی مختلف. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۷۹-۹۸.
- مینازاده، ر.، کریمی، ر. و محمدپرست، ب. ۱۳۹۷. اثر تغذیه برگی سولفات پتاسیم بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی انگور تحت تنش شوری. *مجله زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۰(۳): ۸۳-۱۰۶.
- Adams, S.N., Ac-Pangan, W.O. and Rossi, L. 2019. Effects of soil salinity on citrus rootstock 'US-942' physiology and anatomy. *HortScience*, 54(5): 787-792.
- Adaskaveg, J.E., Förster, H., Hao, W. and Gray, M. 2017. Potassium phosphite resistance and new modes of action for managing Phytophthora diseases of citrus in the United States. *Modern fungicides and antifungal compounds VIII*, pp.205-210.
- Adil, M., Bashir, S., Bashir, S., Aslam, Z., Ahmad, N., Younas, T., Asghar, R.M.A., Alkahtani, J., Dwiningsih, Y. and Elshikh, M.S. 2022. Zinc oxide nanoparticles improved chlorophyll contents, physical parameters, and wheat yield under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 13: 932861.
- Alam, A., Ullah, H., Attia, A. and 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.
- Assaha, D.V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R. and 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. and Broekaert, J.A. 2010. Atomic spectroscopy: a review. *Analytical chemistry*, 82(12): 4653-4681.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P.A.O.L.O. and Ferrante, A. 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture and Horticulture*, 31(1): 1-17.
- Bulgari, R., Franzoni, G. and Ferrante, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6): 306.
- Chen, C.T., Lee, C.L. and Yeh, D.M. 2018. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, or magnesium deficiency on growth and photosynthesis of *Eustoma*. *HortScience*, 53(6): 795-798.
- Damián-Reyna, A.A., González-Hernández, J.C., Maya-Yescas, R., de Jesús Cortés-Penagos, C. and del Carmen Chávez-Parga, M. 2017. Polyphenolic content and bactericidal effect of Mexican Citrus limetta and Citrus reticulata. *Journal of Food Science and Technology*, 54: 531-537.
- Deliopoulos, T., Kettlewell, P.S. and Hare, M.C. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: a review. *Crop Protection*, 29(10): 1059-1075.
- Deng, Y., Teng, W., Tong, Y.P., Chen, X.P. and Zou, C.Q. 2018. Phosphorus efficiency mechanisms of two wheat cultivars as affected by a range of phosphorus levels in the field. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1614.
- Grattan, S.R., Díaz, F.J., Pedrero, F. and 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, B. and Huang, B. 2014. Mechanism of salinity tolerance in plants: physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014(1) p.701596.
- Hu, Y. and Schmidhalter, U. 2001. Effects of salinity and macronutrient levels on micronutrients in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 24(2): 273-281.
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M. and Foolad, M.R. 2011. Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5): 435-458.
- Jumberi, A., Oka, M. and Fujiyama, H. 2002. Response of vegetable crops to salinity and sodicity in relation to ionic balance and ability to absorb microelements. *Soil science and plant nutrition*, 48(2): 203-209.
- Kalra, Y. ed. 1997. *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC press.

- Khan, A.A., Mahmood, T., Siddiqui, H.H. and Akhtar, J. 2016. Phytochemical and pharmacological properties on Citrus limetta (Mosambi). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(3): 555-563.
- Liu, H., Todd, J.L. and 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. and Andreu, A.B., 2008. Phosphite compounds reduce disease severity in potato seed tubers and foliage. *European Journal of Plant Pathology*, 122(3): 349-358.
- Lovatt, C.J. and Mikkelsen, R.L. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do. *Better Crops*, 90(4): 11-13.
- Mahmoud, L.M., Dutt, M., Vincent, C.I. and Grosser, J.W. 2020. Salinity-induced physiological responses of three putative salt tolerant citrus rootstocks. *Horticulturae*, 6(4): 90.
- Manishankar, P., Wang, N., Köster, P., Alatar, A.A. and Kudla, J. 2018. Calcium signaling during salt stress and in the regulation of ion homeostasis. *Journal of Experimental Botany*, 69(17): 4215-4226.
- Márquez-Prieto, A.K., Palacio-Márquez, A., Sanchez, E., Macias-López, B.C., Perez-Alvarez, S., Villalobos-Cano, O. and 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.
- Mohammed, U., Davis, J., Rossall, S., Swarup, K., Czyzewicz, N., Bhosale, R., Foulkes, J., Murchie, E.H. and Swarup, R. 2022. Phosphite treatment can improve root biomass and nutrition use efficiency in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1017048.
- Mousavi, S.R., 2011. Zinc in crop production and interaction with phosphorus. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9): 1503-1509.
- Moya, J.L., Gómez-Cadenas, A., Primo-Millo, E. and Talon, M. 2003. Chloride absorption in salt-sensitive Carrizo citrange and salt-tolerant Cleopatra mandarin citrus rootstocks is linked to water use. *Journal of Experimental Botany*, 54(383): 825-833.
- Munns, R. and Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1): 651-681.
- Murkute, A.A., Sharma, S. and Singh, S.K. 2006. Studies on salt stress tolerance of citrus rootstock genotypes with arbuscular mycorrhizal fungi. *Horticultural Science*, 33: 70-76.
- Murkute, A.A., Sharma, S. and Singh, S.K. 2005. Citrus in terms of soil and water salinity: a review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64: 393-402.
- Nozoye, T. 2018. The nicotianamine synthase gene is a useful candidate for improving the nutritional qualities and Fe-deficiency tolerance of various crops. *Frontiers in Plant Science*, 9: 340.
- Ohayama, T., Ito, M., Kobayashi, K., Araki, S., Yasuyoshi, S., Sasaki, O., Yamazaki, T., Sayoma, K., Tamemura, R., Izuno, Y. and Ikarashi, T. 1991. Analytical procedures of N, P and K content in plant and manure materials using H₂SO₄-H₂O₂ Kjeldahl digestion Method. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Niigata University. Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 43: 111-120.
- Othman, Y.A., Hani, M.B., Ayad, J.Y. and St Hilaire, R. 2023. Salinity level influenced morpho-physiology and nutrient uptake of young citrus rootstocks. *Heliyon*, 9(2).
- Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., Silva, E., Brito, C., Goncalves, A., Lima-Brito, J. and 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.
- Raveh, E. and Levy, Y. 2005. Analysis of xylem water as an indicator of current chloride uptake status in citrus trees. *Scientia Horticulturae*, 103(3): 317-327.
- 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. and Swarup, R. 2015. A'growing'role for phosphites in promoting plant growth and development. In *II World Congress on the Use of Biostimulants in Agriculture*, 1148: 61-68.

- Ruiz, D., Martínez, V. and Cerdá, A. 1997. Citrus response to salinity: growth and nutrient uptake. *Tree Physiology*, 17(3) 141-150.
- Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S. and 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. and 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.
- Shahbaz, M. and Ashraf, M. 2013. Improving salinity tolerance in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(4): 237-249.
- Shahid, M.A., Balal, R.M., Khan, N., Simón-Grao, S., Alfosea-Simón, M., Cámara-Zapata, J.M., Mattson, N.S. and 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. and 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.
- Varadarajan, D.K., Karthikeyan, A.S., Matilda, P.D. and Raghothama, K.G. 2002. Phosphite, an analog of phosphate, suppresses the coordinated expression of genes under phosphate starvation. *Plant Physiology*, 129(3): 1232-1240.
- Vives-Peris, V., Gómez-Cadenas, A. and Pérez-Clemente, R.M.: 2018. Salt stress alleviation in citrus plants by plant growth-promoting rhizobacteria *Pseudomonas putida* and *Novosphingobium* sp. *Plant cell Reports*, 37(11): 1557-1569.
- Wanshnong, E., Mounika, K., Kumar, K.A. and Maiti, C.S. 2022. Effect of Different Levels of Potassium on Growth and Flowering of Papaya Var. Red Lady. *The Pharma Innovation Journal*, 11(5): 1314-1317.
- Wen, M., Zhang, J., Zheng, Y. and Yi, S. 2021. Effects of combined potassium and organic fertilizer application on newhall navel orange nutrient uptake, yield, and quality. *Agronomy*, 11(10): 1990.
- Wu, S., Zhang, C., Li, M., Tan, Q., Sun, X., Pan, Z., Deng, X. and 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.
- Jing, Y.D., He, Z.L. and Yang, X.E. 2007. Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(3):192-207.