

ارزیابی شاخص‌های جذب و انتقال عناصر غذایی سه پایه مرکبات

طاهره رئیسی^۱، علی اسدی کنگرشاهی و مرتضی گل‌محمدی

استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

taraesi@gmail.com

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

kangarshahi@gmail.com

استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران.

mgolm2009@gmail.com

دریافت: مهر ۱۳۹۶ و پذیرش: بهمن ۱۳۹۶

چکیده

به دلیل اینکه پایه‌ها سیستم ریشه یک درخت را تشکیل می‌دهند، بنابراین بر جذب آب و عناصر غذایی و انتقال آنها به قسمت‌های مختلف گیاه اثرگذار می‌باشند. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثر سه پایه متداول در شمال کشور (شامل: نارنج، سیتروملو و سیترنج) بر مقدار جذب و توزیع عناصر غذایی بین بخش‌های مختلف گیاه و نیز بر شاخص تجمع و انتقال عناصر غذایی اجرا شد. بدین‌منظور، پایه‌های یک‌ساله از سیتروملو، نارنج و سیترنج در گلدان‌های پلاستیکی تحت شرایط گلخانه در خاکی لومی کشت شدند. پس از شش ماه، پایه‌ها برداشت و مقدار وزن خشک و نیز غلظت فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس در ریشه، ساقه و برگ اندازه‌گیری شد. در ادامه، شاخص تجمع و انتقال عناصر غذایی با استفاده از روش تجزیه عامل به منظور تمایز پایه‌های مختلف از لحاظ جذب عناصر غذایی محاسبه شد. نتایج نشان داد که سیترنج در جذب فسفر و آهن، سیتروملو در جذب پتاسیم و مس، نارنج در جذب کلسیم، منگنز، نسبت به دیگر پایه‌های بررسی شده برتری داشتند. علاوه بر این، رتبه پایه‌ها از نظر شاخص تجمع عناصر غذایی به صورت نارنج < سیتروملو < سیترنج و نیز رتبه پایه‌ها از نظر شاخص انتقال نسبی عناصر غذایی به صورت سیتروملو < سیترنج < نارنج بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پایه‌های مرکبات رفتار تغذیه‌ای متفاوتی داشته و توانایی این پایه‌ها برای جذب و انتقال عناصر غذایی متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: سیترنج، سیتروملو، نارنج، عناصر غذایی پرنیاز و کم‌نیاز.

مقدمه

مرکبات یکی از مهم‌ترین محصولات باغی در جهان با تولید سالانه‌ی ۱۳۶ میلیون تن می‌باشد و کشور ایران از نظر تولید مرکبات مقاوم هفتم جهان را به خود اختصاص داده است (فائو، ۲۰۱۴). استان مازندران یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران است که مرکبات کشت عمده آن محسوب می‌شود. سطح زیر کشت مرکبات استان مازندران بالغ بر ۱۱۲ هزار هکتار و میزان تولید آن بیش از ۱/۹ میلیون تن در سال است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۴).

در خاک‌های خیلی اسیدی و یا آهکی و نیز در شرایط وجود برخی از آفات و بیماری‌ها که امکان کشت مرکبات را محدود می‌سازند، می‌توان با انتخاب پایه مناسب برای این شرایط بدون کاهش محصول به کشت مرکبات اقدام نمود (دیویس و البریجو، ۱۹۹۴). نارنج پایه رایج مورد استفاده در مناطق شمالی کشور است و سیترنج و سیتروملو نیز با وسعت کمتری در مناطق به‌عنوان پایه استفاده می‌شوند. علیرغم ویژگی‌های مفید نارنج به عنوان پایه، این پایه مستعد بیماری مخرب ویروسی تریستزا می‌باشد، بنابراین توجه‌ها به سمت استفاده از دیگر پایه‌ها افزایش یافته است (بیترز، ۱۹۸۶). بررسی منابع نشان می‌دهد که پایه‌های مرکبات به‌طور متفاوتی رشد رویشی، زودرسی، کمیت و کیفیت ارقام پیوند شده بر آنها را در شرایط اکولوژیکی متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهند (سیمن و همکاران، ۲۰۱۴، شارما و همکاران، ۲۰۱۶ و دویی و شارما، ۲۰۱۶).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که انتخاب پایه روشی مهم در مدیریت تغذیه‌ی باغ مرکبات است زیرا سازگاری و نیز کارایی پایه‌های مختلف مرکبات در ارتباط با جذب عناصر غذایی متفاوت می‌باشد (گارسیا سنچز و همکاران، ۲۰۰۲ و زامبروسی و همکاران، ۲۰۱۲). طبق گزارش ماتوس و همکاران (۲۰۰۶) مقدار عملکرد میوه پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه رانگپورلایم در مقایسه با پرتقال هاملین پیوند شده بر روی پایه‌های

کلئوپاتراماندارین و سیتروملو در خاک‌هایی که از لحاظ فسفر کمبود داشتند، بیشتر بود. نتیجه‌ی فوق حاکی از توانایی متفاوت پایه‌ها در سازگاری با خاک‌هایی که کمبود فسفر دارند و نیز استفاده مؤثر از فسفر بومی خاک، می‌باشد. در پژوهشی دیگر مشاهده شد که پایه‌های مختلف شامل رانگپورلایم، پونسیروس، تروریر سیترنج و کلئوپاترا ماندارین اثر معنی‌داری بر شاخص تجمع نسبی عناصر غذایی در برگ پرتقال‌های ۱۳ ساله پیوند شده بر پایه‌های ذکر شده داشتند (گراس و همکاران، ۲۰۱۲). زامبروسی و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که زیست‌توده‌ی ریشه و بخش هوایی پرتقال پیوند شده بر روی رانگپورلایم در مقایسه با پرتقال پیوند شده بر روی پایه کلئوپاترا ماندارین بیشتر بود. همچنین، کارایی جذب و انتقال فسفر به بخش‌های هوایی پرتقال در پایه رانگپورلایم بیشتر از پایه کلئوپاتراماندارین بود. در مطالعه‌ای دیگر تاپلو و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر سه پایه نارنج، کاریزو و تروریر سیترنج بر مقدار عناصر غذایی موجود در برگ ماندارین پیوند شده بر این سه پایه در شرایط آب و هوایی ترکیه پرداختند.

نتایج این محققین حاکی از این امر بود که کاریزو سیترنج در جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، منگنز و مس؛ تروریر سیترنج در جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آهن؛ و نارنج در جذب کلسیم، روی و سدیم نسبت به دیگر پایه‌های بررسی شده ارجحیت داشتند؛ بنابراین، تروریر و سیترنج در مجموع نسبت به نارنج در جذب عناصر غذایی برتری دارند. زامبروسی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی خود که در یک خاک اسیدی در برزیل اجرا کردند مشاهده کردند که درختان پرتقال پیوند شده بر روی پایه رانگپورلایم در شرایط کمبود (فسفر قابل استفاده اولیه سه میلی‌گرم بر کیلوگرم) و حد بهینه کاربرد فسفر (کاربرد ۴۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک از منبع آمونیوم دی هیدروژن فسفات) به ترتیب ۱۲۶ و ۲۳ درصد فسفر بیشتری در مقایسه با درختان پیوند شده بر روی پایه کلئوپاترا در خاک اسیدی (پ-هاش ۴/۳) در برزیل

محیط کنترل شده مانند گلخانه اقدام به کشت بذر و تهیه پایه‌های مورد نظر می‌گردد. در مدت پرورش پایه‌های مورد نظر باید شرایط رشد شامل تغذیه، آبیاری و غیره برای تمام پایه‌های مورد بررسی یکسان باشد. پس از اینکه پایه‌ها به اندازه مطلوب رسیدند تیمارهای کودی مورد نظر در محیط هیدروپونیک (بستر کشت کوکوپیت-پریلایت) و یا پس از انتقال پایه‌ها به محیط خاکی اعمال می‌شوند. بر این اساس تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثر پایه‌های مرکبات (شامل نارنج، سیترنج و سیتروملو) بر مقدار جذب و انتقال نسبی عناصر غذایی، آزمایشی گلدانی در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد.

برای کشت گیاه، بذر این سه پایه مرکبات شامل ترویر سیترنج (*Poncirus Citrus* × *Osbornensis* (L.) Raf. *trifoliata* (L.) Raf.)، سوینگل سیتروملو (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. × *Citrus paradisi* Macf.) و نارنج (*Citrus aurantium* L.) پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم در گلدان‌های پلاستیک با بستر پریلایت و کوکوپیت کشت شدند. سپس به صورت روزانه تا زمان جوانه زدن با آب مقطر آبیاری شدند. پس از اطمینان از استقرار نهال‌های بذری، هر دو هفته یکبار محلول هوگلند اصلاح شده (زامبروسی و همکاران، ۲۰۱۲ و همکاران، ۲۰۱۴) به صورت کودآبیاری به گلدان‌ها اضافه شد (شکل ۱). در ادامه ۲۰ نهال یک‌ساله با قطر یکنواخت از هر یک از سه پایه‌ی مورد مطالعه (نارنج، سیتروملو و سیترنج) به گلدان‌های پلاستیکی پر شده با خاک منتقل شدند (شکل ۱). لازم به ذکر است یک نهال در هر گلدان کاشت شد. بدین‌منظور یک خاک لومی از عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری باغ مرکبات واقع در ایستگاه خرم‌آباد پژوهشکده مرکبات نمونه‌برداری شد. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری (جدول ۱) و مقدار پنج کیلوگرم از خاک مذکور در درون هر گلدان ریخته شد. در خاک مورد نظر پ-اچ و هدایت

جذب کردند و کارایی کسب فسفر بیشتری داشتند. سیمن و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر هفت پایه مرکبات (نارنج، ولکامریانا، کلئوپاتراماندارین، کاریزو، تریور سیترنج، سیترنج C۳۵ و پونسیروس^۱) و دو سطح تأمین آهن (کفایت و کمبود) بر خصوصیات رشدی درخت جوان پرتقال پیوند شده بر روی این هشت پایه تحت شرایط گلخانه‌ای پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که سطح کمبود آهن در مقایسه با سطح تأمین بهینه آهن کمترین تأثیر را بر مقدار کلروفیل و شاخص‌های رشد درختان پیوند شده بر پایه نارنج داشت، درحالی‌که در این شرایط (کمبود آهن) مقدار کلروفیل برگ و شاخص‌های رشد درختان پرتقال پیوند شده بر سایر پایه‌ها کاهش معنی‌داری نشان دادند و بیشترین کاهش مربوط به پایه‌های پونسیروس و سیترنج C۳۵ بود.

در واقع توانایی متفاوت پایه‌ها در جذب عناصر غذایی ناشی از توانایی متفاوت این پایه‌ها در اصلاح فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک پیرامون ریشه‌ی آنها (خاک ریزوسفری) (ان‌گالی و همکاران، ۲۰۱۵)، توانایی متفاوت آنها در انتقال عناصر غذایی از ریشه به بخش هوایی و نیز کارایی متفاوت پایه‌ها در استفاده از عناصر غذایی جذب شده (ماتوس و همکاران، ۲۰۰۶ و سیمن و همکاران، ۲۰۱۴) می‌باشد؛ بنابراین، با توجه به اهمیت انتخاب پایه‌های کارا برای درختان مرکبات در جذب عناصر غذایی و تحقیقات اندکی که در ایران درباره این موضوع وجود دارد، تحقیق حاضر با هدف مطالعه‌ی اثر پایه‌های مختلف مرکبات بر شاخص‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در خاکی غیرآهکی در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

روند کار برای بررسی اثر پایه‌های مرکبات بر جذب عناصر غذایی غالباً بدین صورت است که در یک

¹ Sour orange, Volkameriana, Cleopatra mandarin, Carrizo citrange, Troyer citrange, C-35 citrange, local trifoliata

چندین بار به ترتیب با آب شهر و آب مقطر شسته شدند. سپس در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده در آون با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. سپس، نمونه‌های پودر شده به روش خاکستر خشک هضم و مقدار فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، روی و مس موجود در نمونه‌های هضم شده تعیین شد (کالر، ۱۹۹۷). کلسیم به روش کمپلکسومتری، پتاسیم به روش شعله‌سنجی با دستگاه فلیم فتومتر، فسفر به روش رنگ‌سنجی و عناصر کم‌نیاز با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. غلظت عنصرهای غذایی در بافت‌های گیاهی بر حسب درصد (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) محاسبه شد.

برای محاسبه جذب کل عناصر غذایی، غلظت هر عنصر در مقدار ماده خشک مربوطه ضرب گردید. انتقال نسبی هر عنصر غذایی از ریشه به بخش هوایی هر یک از پایه‌های مورد بررسی از رابطه ۱ محاسبه شد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۹۰).

= انتقال نسبی عنصر غذایی موردنظر

(محتوای کل عنصر موردنظر در کل گیاه (ساقه+برگ+ریشه)) / (محتوای عنصر موردنظر در بخش هوایی (ساقه+برگ)) × ۱۰۰

(۱)

الکتریکی در نسبت ۱ به ۲/۵ خاک به آب؛ کربن آلی به روش نلسون و سامرز (۱۹۹۶)؛ آهک معادل با روش تیتراسیون برگشتی با اسید (لوپرت و اسپارکز، ۱۹۹۶)؛ بافت به روش هیدرومتر (جی و باوور، ۱۹۸۶) و نیتروژن با روش کج‌دال (برمنر، ۱۹۹۶) تعیین شدند. علاوه بر این در این خاک، فسفر با استفاده از عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم (اولسن و سامرز، ۱۹۸۴)؛ پتاسیم با استفاده از استات آمونیوم (هلمک و اسپارکز، ۱۹۹۶) و عناصر کم-نیاز با استفاده از دی‌تی‌پی‌ای-تری‌تانول‌آمین (لیندزی و نورول، ۱۹۷۸) استخراج و به ترتیب با استفاده از اسپکترومتر، فلیم‌فتومتر و دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. لازم به ذکر است که در ابتدای کشت به هر گلدان ۴۰۰ میلی‌گرم نیتروژن در کیلوگرم خاک از منبع اوره، ۵۰۰ میلی‌گرم پتاسیم از منابع سولفات پتاسیم و مونوپتاسیم فسفات و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر از منبع مونوپتاسیم فسفات اضافه شد (دو و آلو، ۱۹۹۸). ۱۸۰ روز پس از انتقال نهال‌ها به گلدان اصلی، چهار گلدان از هر پایه انتخاب (هر گلدان حاوی یک نهال بود) و برداشت شد. سپس، ریشه، ساقه و برگ هر پایه از هم جدا شده و



سیتروملو



سیترونج



نارنج



آماده‌سازی خاک

انتقال نهال به گلدان پر شده از خاک مورد نظر

شکل ۱- نمائی از مراحل انجام تحقیق حاضر

جدول ۱ - برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

| واکنش خاک | قابلیت هدایت الکتریکی | کربن آلی | کربنات کلسیم معادل | رس | سلیت | نیترژن کل | فسفر | پتاسیم | آهن | منگنز | روی | مس |
|-----------|-----------------------|----------|---------------------|------|------|-----------|------|--------|------|-------|------|------|
| - | دسی‌زیمنس بر متر | درصد | میلی‌گرم بر کیلوگرم | درصد | درصد | درصد | درصد | درصد | درصد | درصد | درصد | درصد |
| ۷/۰ | ۰/۱۹ | ۱/۳ | ۱ > | ۳۱ | ۴۳ | ۰/۱۶ | ۱۰ | ۱۱۴ | ۱۰۸ | ۲۷/۴ | ۰/۵۴ | ۰/۴۲ |

نقش کلیدی‌تر در انعکاس وضعیت کلی جذب و یا انتقال عناصر غذایی به بخش هوایی دارند و حداکثر تغییرپذیری داده‌ها را منعکس می‌نمایند. علاوه بر این همان‌طور که ذکر گردید برای تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌منظور انتخاب شاخص‌های ذکر شده در مرحله اول و نیز تفکیک و جداسازی دقیق‌تر پایه‌ها مورد نظر به لحاظ جذب عناصر غذایی و استخراج الگوی دقیق تغییرات از روش تجزیه عامل استفاده شد. هر گاه p متغیر (عناصر غذایی) وجود داشته باشد، روش تجزیه عامل منجر به p مؤلفه‌ی اصلی می‌گردد که واریانس اولین مؤلفه‌ی اصلی بیشترین مقدار عددی را به خود اختصاص می‌دهد. به طور کلی مجموع واریانس‌های مؤلفه‌های اصلی با مجموع واریانس‌های متغیرهای اصلی (عناصر غذایی) برابر خواهد بود؛ بنابراین

شاخص تجمع عناصر غذایی (مقدار کل عنصر غذایی کلیدی جذب شده در برگ+ساقه+ریشه هر پایه) و نیز شاخص انتقال نسبی عناصر غذایی به بخش هوایی هر پایه (درصدی از کل مقدار عنصر غذایی کلیدی جذب شده توسط هر یک از پایه‌ها که به بخش هوایی شامل برگ و ساقه انتقال یافته است)، در سه مرحله بر اساس روش ارائه شده در مقاله گراس و همکاران (۲۰۱۵) محاسبه شد. در مرحله اول شاخص‌های مناسب برای معرفی مجموعه‌ی حداقل داده‌ها^۱ توسط روش تجزیه عامل^۲ انتخاب شدند. مجموعه‌ی ذکر شده در برگزیده‌ی عناصر غذایی است که از بین عناصر غذایی مورد بررسی

^۱ Minimum data set (MDS)

^۲ Factor analysis

(آندرو و همکاران، ۲۰۰۲). لازم به ذکر است که اگر متغیرها با وزن بالا در یک مؤلفه همبستگی معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، هریک از آن متغیرها در مجموعه حداقل داده‌ها در نظر گرفته شد. پس از بدست آوردن مجموعه حداقل داده‌ها به روش فوق، هر مشاهده با استفاده از تابع امتیازدهی خطی بدون واحد شده و نمره‌ای بین صفر تا یک را به خود اختصاص داد. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر هر چه مقدار جذب هر یک از عناصر غذایی بیشتر باشد بهتر است، بنابراین مقدار کل جذب شده و یا مقدار انتقال نسبی به بخش هوائی هر یک از عناصر غذایی بر بیشترین مقدار کل جذب شده و یا مقدار انتقال نسبی به بخش هوائی عنصر مورد نظر در بین پایه‌های مختلف تقسیم شده به طوریکه برای مثال بیشترین مقدار کل جذب شده هر عنصر بین پایه‌های مختلف نمره یک را خواهد گرفت (معادله ۲).

$$S_i = X_i / X_{\max} \quad (2)$$

که در آن

S_i امتیاز خطی هر مشاهده می‌باشد که بین صفر تا یک متغیر است، X_i و X_{\max} به ترتیب مقدار هر یک از عناصر غذایی (مقدار کل جذب شده و یا مقدار انتقال یافته به بخش هوائی هر پایه) و حداکثر مقدار آن عنصر غذایی در بین سه پایه مورد مطالعه می‌باشد. سپس، شاخص تجمع عناصر غذایی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$= \sum (W_i \times S_i) \quad (3)$$

که در آن

S_i نمره خطی هریک از مشاهدات و W_i وزن مؤلفه که از آنالیز عامل بدست آورده شده، می‌باشند.

در نهایت اثر پایه بر وزن خشک و مقدار عناصر معدنی جذب شده در قسمت‌های مختلف هر پایه (ریشه، ساقه و برگ) توسط تجزیه واریانس یک طرفه مورد سنجش قرار گرفت. معنی‌دار بودن تفاوت‌ها توسط آزمون دانکن چند دامنه‌ای و در سطح احتمال پنج درصد بررسی

مؤلفه‌های اصلی در برگ‌گیرنده تمامی تغییرپذیری موجود در داده‌های اصلی می‌باشند (محمدی، ۱۳۸۵). از بین تمامی مؤلفه‌های اصلی به دست آمده، مؤلفه‌هایی باید انتخاب شوند که مجموع آنها، حداکثر تغییرپذیری داده‌ها را منعکس نماید (محمدی، ۱۳۸۵). مؤلفه‌های انتخاب شده برای تعیین شاخص‌های مناسب مجموعه حداقل داده‌ها استفاده شدند. در مرحله دوم شاخص‌های وارد شده در مجموعه حداقل داده‌ها براساس توابع خطی نمره‌دهی شدند (آندرو و کارول، ۲۰۰۱، آندرو و همکاران، ۲۰۰۲). سپس، نمره شاخص‌ها با استفاده از روش وزن‌دهی در یک شاخص تحت عنوان شاخص تجمع عناصر غذایی و یا شاخص انتقال نسبی عناصر غذایی وارد شدند (گراس و همکاران، ۲۰۱۲).

برای تعیین مجموعه حداقل داده‌ها، در ابتدا مقدار جذب کل عناصر غذایی و یا انتقال نسبی عناصر غذایی به بخش هوائی هر پایه، توسط روش تجزیه عامل که یک تکنیک کاهش داده می‌باشد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در ادامه عامل‌های با مقادیر ویژه بالا و عناصر غذایی با وزن مؤلفه‌ی بالا، به عنوان شاخص‌هایی که معرف بهتری از وضعیت تغذیه‌ای پایه‌ها و یا انتقال عناصر غذایی به بخش هوائی پایه می‌باشند، در نظر گرفته شدند. سپس براساس نتایج تجزیه عامل، عامل‌های با حداقل ارزش ویژه برابر یک بر اساس روش کیسر (شارما، ۱۹۹۶) انتخاب شدند. به منظور تعیین مجموعه حداقل داده‌ها، در هر مؤلفه با ارزش ویژه بزرگتر از یک، متغیرها (عناصر غذایی) با وزن بالا انتخاب شدند. متغیر با وزن بالا متغیرهایی می‌باشند که حداقل ۱۰ درصد بالاترین وزن مؤلفه را داشته باشند (آندرو و همکاران، ۲۰۰۲). اگر بیش از یک متغیر در یک عامل دارای وزن بالایی باشند، ضرایب همبستگی بین متغیرها به منظور حذف متغیرهای اضافی بدست آورده شد. در واقع در هر عامل، از بین متغیرهایی که با یکدیگر همبستگی بالایی دارند، تنها متغیری که دارای وزن مؤلفه بالایی می‌باشد در مجموعه حداقل داده‌ها باقی ماند و بقیه متغیرها حذف شدند

شد. کلیه آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار استاتیسیتیکا نسخه ۹ انجام شد.

نتایج و بحث یافته ها

وزن خشک

نتایج مقایسه میانگین اثر سه پایه بر وزن خشک برگ، ساقه، ریشه پایه‌ها در جدول ۲ آورده شده است. ژنوتیپ پایه اثر معنی‌داری بر مقدار ماده خشک داشتند، به‌طوری‌که مجموع ماده خشک (برگ، ساقه و ریشه) و نیز ماده خشک برگ و ریشه در نارنج نسبت به سیتروملو و سیترنج بیشتر بود. این درحالی بود که مقدار ماده خشک در ساقه سیتروملو به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیترنج و نارنج بود. علاوه بر این نسبت ماده خشک ریشه به ماده خشک بخش هوائی در نارنج به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیتروملو و سیترنج بود. ماده خشک بخش هوائی در هر

سه پایه تقریباً بیش از ۷۰ درصد کل ماده خشک را به خود اختصاص داده است. دیگر محققین نیز گزارش کردند که بخش هوائی درختان مرکبات بیش از ۷۰ درصد ماده خشک کل درخت را در بر می‌گیرد (دو و آلو، ۱۹۹۸ و ماتوس و همکاران، ۲۰۰۳). بیشترین مقدار ماده خشک در بخش هوائی در دو پایه سیتروملو و سیترنج و نارنج به‌ترتیب مربوط به ساقه (سیتروملو: ۴۸ درصد و سیترنج: ۴۳ درصد) و برگ (نارنج: ۳۸ درصد) این پایه‌ها بود. نسبت بین وزن خشک ریشه به بخش هوائی نشان‌دهنده نحوه توزیع ترکیبات فتوسنتزی بین ریشه و بخش هوائی هر پایه می‌باشد (مک‌دولاند و همکاران، ۱۹۹۶). در مطالعات دیگر گزارش شده است که تحت شرایط تأمین کافی عناصر غذایی نسبت ماده خشک ریشه به بخش هوائی در ترویر سیترنج (۰/۶۳) نسبت به سیتروملو (۰/۵۲) بیشتر بود (پاستانا و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۲- اثر پایه بر مقدار ماده خشک (گرم) ریشه، ساقه، برگ و نسبت بخش هوائی به ریشه هر پایه

| نسبت بخش هوائی به ریشه | قسمت گیاه | | | پایه |
|------------------------|-----------|-------|-------|----------|
| | ریشه | ساقه | برگ | |
| ۰/۳۸a | ۴/۰۷b | ۷/۱۲a | ۲/۵۸b | سیتروملو |
| ۰/۴۱a | ۳/۹۹b | ۵/۹۳b | ۳/۷۴b | سیترنج |
| ۰/۴۶a | ۵/۶۷a | ۵/۴۰b | ۶/۸۹a | نارنج |
| ۲/۵n.s | ۲۳* | ۲۳* | ۸۷* | F |

*: F محاسبه شده در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است و F n.s محاسبه شده در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نیست
در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

غلظت عناصر غذایی و توزیع آنها در قسمت‌های مختلف

هر پایه

نتایج مقایسه میانگین اثر سه پایه بر مقدار فسفر، پتاسیم و کلسیم جذب شده در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد، پایه‌ها اثر معنی‌داری بر مقدار فسفر، پتاسیم و کلسیم جذب شده توسط برگ، ساقه و ریشه داشتند.

مقدار فسفر جذب شده در برگ نارنج به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیترنج و سیتروملو بود. این در حالی بود که مقدار فسفر جذب شده در ساقه سیتروملو و

سیترنج به‌طور معنی‌داری بیشتر از نارنج بود. به هر حال در مورد ریشه، بیشترین فسفر در ریشه سیترنج در مقایسه با دو پایه دیگر تجمع یافته بود. در پایه سیتروملو مقدار فسفر جذب شده توسط ساقه این گیاه بیشتر از ریشه و برگ بود. در مورد پایه سیترنج رتبه مقدار فسفر جذب شده به صورت ساقه < برگ < ریشه بود در پایه نارنج مقدار فسفر جذب شده توسط برگ بیشتر از مقدار فسفر جذب شده توسط ساقه و ریشه این گیاه بود. به‌طور کلی، رتبه مقدار فسفر کل جذب شده در پایه‌ها به صورت سیترنج (۳۴ میلی‌گرم) < سیتروملو (۲۷ میلی‌گرم) = نارنج (۲۷)

میلی‌گرم) بود. مقدار فسفر منتقل شده به بخش هوایی سه پایه سیتروملو، سیترنج و نارنج به ترتیب ۲۰، ۲۵ و ۲۰ میلی‌گرم بود؛ بنابراین در مجموع در مورد عنصر فسفر، بیشترین مقدار جذب مربوط به پایه سیترنج بود و حدود ۷۴ درصد از فسفر جذب شده به بخش هوائی این گیاه انتقال یافته بود (جدول ۳). برتری تریور سیترنج در جذب فسفر بر کاریزو سیترنج و نارنج در دیگر مطالعات نیز گزارش شده است (تاپلو و همکاران، ۲۰۱۲).

بررسی نتایج نشان داد مقدار پتاسیم جذب شده در برگ نارنج به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیتروملو و سیترنج بود. همچنین، در ساقه پایه سیتروملو در مقایسه با دو پایه دیگر مقدار پتاسیم بیشتری تجمع یافته بود و مقدار پتاسیم جذب شده در ریشه نارنج در مقایسه با دو پایه دیگر کمتر بود. علاوه بر این، در پایه نارنج، بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم به ترتیب توسط برگ و ریشه این پایه جذب شده بود. در پایه سیتروملو ترتیب مقدار پتاسیم جذب شده توسط قسمت‌های مختلف گیاه به‌صورت ساقه، برگ و ریشه بود. مقدار پتاسیم جذب شده توسط

ساقه سیترنج بیشتر از مقدار پتاسیم جذب شده توسط برگ و ریشه گیاه بود. به‌طور کلی پایه سیتروملو بیشترین و پایه نارنج کمترین مقدار پتاسیم را جذب کرده و بررسی نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم جذب شده در بخش هوایی سه پایه مورد بررسی سیتروملو، سیترنج و نارنج به ترتیب ۳۵۶، ۲۹۵ و ۳۴۹ میلی‌گرم بود؛ به عبارت دیگر، پایه سیتروملو ۷۷ درصد، پایه سیترنج ۶۹ درصد و پایه نارنج ۸۶ درصد از مقدار پتاسیم کل جذب شده را به بخش هوایی خود منتقل نموده‌اند. بررسی نتایج نشان داد که علیرغم اینکه پایه نارنج مقدار پتاسیم کل کمتری نسبت به پایه سیترنج جذب کرده، اما مقدار کمتری از این پتاسیم جذب شده را در ریشه خود ذخیره کرده است؛ بنابراین با توجه به مقدار پتاسیم کل جذب شده و مقدار پتاسیم انتقال یافته به بخش هوایی، به نظر می‌رسد پایه سیتروملو و نارنج بر پایه سیترنج به لحاظ جذب و انتقال پتاسیم برتری دارند (جدول ۳). طبق گزارش تاپلو و همکاران (۲۰۱۲) تریور سیترنج در جذب پتاسیم نسبت به کاریزو سیترنج و نارنج برتری دارد.

جدول ۳- اثر پایه بر مقدار عنصر جذب شده (میلی‌گرم بر گیاه) در قسمت‌های مختلف گیاه

| پایه | فسفر | | | پتاسیم | | | کلسیم | | |
|----------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| | برگ | ساقه | ریشه | برگ | ساقه | ریشه | برگ | ساقه | ریشه |
| سیتروملو | ۶/۹c | ۱۳/۴a | ۷/۱b | ۱۵۵b | ۱۹۸a | ۱۰۸a | ۱۰۸b | ۱۱۳a | ۳۶/۶b |
| سیترنج | ۱۱/۳b | ۱۳/۴a | ۸/۸a | ۱۳۴b | ۱۶۱b | ۱۳۱a | ۱۱۴b | ۹۰/۶b | ۲۸/۹b |
| نارنج | ۱۳/۰a | ۶/۷b | ۷/۵b | ۲۴۳a | ۱۰۶c | ۵۸/۲b | ۱۶۶a | ۹۱/۲b | ۱۲۹a |
| F | ۳۱۱* | ۳۶* | ۱۱* | ۲۷* | ۱۴۶* | ۲۸* | ۴۶* | ۲۶* | ۹۴* |

* F: محاسبه شده در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار است

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

ریشه این گیاه بود. در پایه سیترنج ترتیب مقدار کلسیم جذب شده توسط قسمت‌های مختلف گیاه به‌صورت برگ، ساقه و ریشه بود. ترتیب مقدار کلسیم جذب شده توسط بخش‌های مختلف پایه نارنج به‌صورت برگ <ریشه> ساقه بود. مقدار کلسیم کل جذب شده توسط پایه‌های سیتروملو، سیترنج و نارنج به ترتیب ۲۵۷، ۲۳۴ و ۳۸۷ میلی‌گرم بود که از این مقدار کلسیم جذب شده به ترتیب ۲۲۱، ۲۰۵ و ۲۵۸ میلی‌گرم آن در بخش-

نتایج مقایسه میانگین اثر سه پایه بر مقدار کلسیم نشان داد، نوع پایه اثر معنی‌داری بر مقدار کلسیم جذب شده داشت (جدول ۳). در برگ و ریشه، مقدار کلسیم جذب شده توسط نارنج به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیتروملو و سیترنج بود. مقدار کلسیم جذب شده در ساقه سیتروملو در مقایسه با دو پایه دیگر به‌طور معنی‌دار بیشتر بود. علاوه بر این، مقدار کلسیم جذب شده توسط برگ و ساقه سیتروملو بیشتر از مقدار کلسیم جذب شده توسط

سیترنج و مقدار منگنز جذب شده در ساقه سیتروملو به طور معنی داری بیشتر از دو پایه دیگر بود. در مجموع رتبه پایه‌های مورد بررسی به لحاظ مقدار آهن و منگنز کل جذب شده به صورت نارنج < سیتروملو < سیترنج بود. درصد انتقال آهن به بخش هوائی سه پایه سیتروملو، سیترنج و نارنج به ترتیب ۱۴،۲۳ و ۱۰ درصد بود. درصد انتقال منگنز به بخش هوائی سه پایه سیتروملو، سیترنج و نارنج به ترتیب ۲۸، ۳۳ و ۲۱ درصد بود. در مورد عنصر آهن می‌توان گفت علیرغم اینکه پایه نارنج مقدار آهن کل بیشتری را نسبت به پایه سیترنج جذب کرده اما مقدار کمتری از این آهن را به بخش هوائی خود منتقل کرده است. علاوه بر این پایه نارنج نسبت به سیتروملو و سیترنج درصد کمتری از منگنز جذب شده را به بخش هوائی خود منتقل نموده اما هنوز به لحاظ کمیت مقدار منگنز بیشتری در بخش هوائی این پایه نسبت به پایه سیتروملو و سیترنج ذخیره شده است؛ بنابراین به طور کلی با توجه به مقدار جذب کل و مقدار انتقال یافته به بخش هوائی، پایه‌های سیترنج و نارنج در جذب آهن بر سیتروملو برتری داشته و در مورد عنصر منگنز پایه‌ی نارنج بر پایه‌های سیتروملو و سیترنج برتری دارد. در دیگر مطالعات نیز گزارش شده که پایه سیترنج در جذب عنصر آهن کارا می‌باشد (تاپلو و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج نشان داد محتوای روی جذب شده در برگ نارنج بیشتر از دو پایه دیگر بود، این درحالی بود که محتوای روی و مس ساقه سیتروملو بیشتر از ساقه سیترنج و نارنج بود. به‌طور کلی رتبه پایه‌ها به لحاظ مقدار کل روی جذب شده به صورت سیترنج ~ نارنج < سیتروملو < مقدار کل مس جذب شده به ترتیب نارنج < سیترنج < سیتروملو بود. بررسی نتایج نشان داد علیرغم اینکه مقدار روی و مس کل جذب شده توسط پایه سیتروملو به طور معنی داری کمتر از دو پایه سیترنج و نارنج بود ولی درصد انتقال روی (۵۰ درصد) و مس (۷۰ درصد) به بخش هوائی در پایه سیتروملو بیشتر از دو پایه دیگر مورد مطالعه بود؛ بنابراین به طور کلی با توجه به مقدار جذب

هوائی این سه پایه تجمع یافته بود؛ بنابراین درصد انتقال کلسیم به بخش هوائی در این سه پایه به ترتیب ۸۶، ۸۸ و ۶۷ درصد بود؛ بنابراین علیرغم اینکه پایه نارنج درصد کمتری از کل کلسیم جذب شده را به بخش هوائی خود منتقل می‌کند ولی با این وجود باز هم به لحاظ کمیت، مقدار بیشتری کلسیم نسبت به دو پایه دیگر در بخش هوائی این پایه تجمع یافته است؛ بنابراین به نظر می‌رسد پایه نارنج به لحاظ جذب و انتقال کلسیم نسبت به دو پایه دیگر بهتر عمل کرده است. در دیگر مطالعات نیز مشاهده می‌شود که پایه نارنج نسبت به پایه‌های سه‌برگچه‌ای مرکبات در جذب کلسیم برتری دارد (تاپلو و همکاران، ۲۰۱۲). علت تفاوت در جذب گفته شود.

غلظت (داده‌ها آورده نشده است) و مقدار جذب عناصر غذائی فسفر، پتاسیم و کلسیم عمدتاً در ساقه و ریشه پایه‌های مورد بررسی کمتر از برگ بود. عناصر غذائی جذب شده توسط ریشه عمدتاً به برگ گیاه که محل اصلی انجام واکنش‌های بیوشیمیایی از قبیل ساخت کربوهیدرات‌ها و دیگر ترکیبات آلی می‌باشد منتقل می‌شوند. امر فوق می‌تواند تفاوت مشاهده شده در غلظت عناصر غذائی در قسمت‌های مختلف هر پایه را توضیح دهد. غلظت بیشتر عناصر غذائی در برگ در مقایسه با دیگر بافت‌های مرکبات توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (ماتوس و همکاران، ۲۰۰۳). علاوه بر این، ساخت لیگنین و سوبرین در دیواره سلولی بافت‌هائی قدیمی منجر به محدودیت جریان شیره پرورده به سمت چنین بافت‌های می‌گردد و بنابراین مانع تجمع عناصر غذائی در این ساختارها می‌شود (ماتوس و همکاران، ۲۰۰۳).

همه عناصر کم‌نیاز اندازه گیری شده در قسمت‌های مختلف گیاه با استثنا محتوای مس برگ و ساقه به طور معنی داری متاثر از نوع پایه می‌باشند (جدول ۴). نتایج نشان داد مقدار آهن و منگنز جذب شده در برگ و ریشه نارنج به طور معنی داری بیشتر از دو پایه دیگر بود. این درحالی بود که مقدار آهن جذب شده در ساقه

کل و مقدار انتقال یافته به بخش هوایی، پایه‌های نارنج و سیترونج در جذب روی بر سیتروملو برتری داشته و در مورد عنصر مس پایه‌های سیتروملو و نارنج بر پایه سیترونج برتری دارند. در دیگر مطالعات نیز گزارش شده که پایه نارنج در جذب عنصر روی کارا می‌باشد (تاپلو و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۴- اثر پایه بر مقدار عنصر غذایی کم‌نیاز جذب شده (کم‌نیازگرم بر گیاه) در قسمت‌های مختلف گیاه

| میانگین | منگنز | | | آهن | | | پایه |
|---------|-------|--------|--------|--------|-------|------|----------|
| | ریشه | ساقه | برگ | ریشه | ساقه | برگ | |
| | ۳۸۸b | ۹۶a | ۹۷ab | ۵۷۴۳b | ۵۷۴b | ۲۸۴b | سیتروملو |
| | ۳۴۴b | ۶۸b | ۶۵b | ۴۱۲۹b | ۷۵۵a | ۴۴۸b | سیترونج |
| | ۹۵۱a | ۸۱ab | ۱۶۵a | ۱۰۷۱۶a | ۶۱۴ab | ۵۴۷a | نارنج |
| | ۱۱* | ۳/۹n.s | ۵/۳* | ۷/۸* | ۴/۸* | ۹/۹* | F |
| | مس | | | روی | | | |
| | ۷۲b | ۱۰۶a | ۵۹a | ۲۷۴b | ۱۷۸a | ۹۷c | سیتروملو |
| | ۱۴۵a | ۶۲b | ۶۹a | ۳۶۹a | ۱۶۴a | ۱۳۱b | سیترونج |
| | ۱۶۷a | ۷۹ab | ۸۴a | ۳۷۲a | ۱۱۳b | ۱۷۳a | نارنج |
| | ۳۲* | ۴/۰n.s | ۱/۵n.s | ۹/۸* | ۷/۲* | ۱۶** | F |

*F: محاسبه شده در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار است و F: n.s محاسبه شده در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی دار نیست
در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

تغییرات (واریانس) عناصر غذایی را توضیح داده و در مجموع دو عامل ۸۹ درصد از تغییرات داده‌ها را در بر گرفته‌اند (جدول ۵). همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود منگنز، آهن، کلسیم، فسفر دارای وزن بالایی در عامل اول بوده و متغیرهای پتاسیم و روی دارای وزن بالایی در عامل دوم بوده و بر اساس نتایج همبستگی (نتایج آورده نشده است) بین این متغیرها با وزن بالا، مقدار منگنز و فسفر در عامل اول و مقدار روی در عامل دوم در مجموعه حداقل داده‌ها جهت محاسبه‌ی شاخص تجمع عناصر غذایی وارد شدند. در ادامه، مجموعه داده عناصر غذایی کلیدی که در پایه‌ها تجمع یافته‌اند برای محاسبه شاخص تجمع عناصر غذایی با استفاده از تکنیک نمره‌دهی خطی بدون بعد شدند (معادله ۲). در نهایت شاخص تجمع عناصر غذایی براساس نمره متغیرهای وارد شده در حداقل مجموعه داده و وزن عامل‌ها (جدول ۵) محاسبه شد. بر اساس نتایج تجزیه عامل ترتیب پایه‌های مورد بررسی به لحاظ شاخص تجمع عناصر غذایی به- صورت نارنج (۰/۸۹) < سیتروملو (۰/۵۵) ~ سیترونج (۰/۵۴) بدست آمد که به لحاظ آماری مقدار شاخص تجمع عناصر غذایی در پایه نارنج به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار این شاخص در پایه‌های سیترونج و سیتروملو بود.

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود میانگین محتوای عناصر کم‌نیاز در ریشه هر سه پایه بیشتر از بخش هوایی بود. امر فوق حاکی از تجمع و احتمالاً رسوب عناصر کم‌نیاز در فضای آپوپلاستی سلول‌های ریشه می‌باشد. طبق گزارش مارتینز-کونسا و همکاران (۲۰۱۳) بخش زیادی از آهن ذخیره شده در ریشه پایه‌های مرکبات در فضای آپوپلاستی ریشه نگه داشته می‌شود به‌طوریکه مقدار آهن آزاد شده از آپوپلاست ریشه کلثوپاتراماندارین و کاریزو سیترونج به ترتیب ۵۶ و ۴۱ درصد مقدار آهن کل ریشه این پایه‌ها بود. در واقع، درختان مرکبات قادرند مقادیر زیادی از فلزات سنگین از جمله مس و آهن را در ریشه خود ذخیره کرده و در واقع این عمل یک سازوکار مهم برای سم‌زدایی و یا تحمل این درختان نسبت به مقادیر بالا فلزات سنگین می‌باشد (هال، ۲۰۰۲ و هیپلر و همکاران، ۲۰۱۶).

نتایج تجزیه عامل

شاخص تجمع عناصر غذایی: بر اساس تجزیه عامل دو مؤلفه جدید با مقادیر ویژه بزرگتر از یک انتخاب شدند. عامل اول و دوم به ترتیب ۵۹/۵ و ۲۹/۵ درصد

جدول ۵- ضرایب وزن متغیرها (بردار ویژه) دو عامل اصلی استخراج شده از هفت عنصر غذایی به همراه مقادیر ویژه، واریانس توصیفی

| هر کدام از عامل‌ها و همچنین واریانس تجمعی کل عامل‌ها | | مقدار کل جذب شده | | متغیر |
|--|----------|------------------|----------|---------------|
| درصد انتقال یافته به بخش هوایی | | مقدار کل جذب شده | | |
| عامل دوم | عامل اول | عامل دوم | عامل اول | |
| ۰/۲۲ | -۰/۸۹ | ۰/۶۱ | -۰/۸۰ | فسفر |
| ۰/۸۹ | ۰/۳۳ | -۰/۸۵ | -۰/۳۸ | پتاسیم |
| -۰/۴۰ | -۰/۸۸ | ۰/۲۰ | ۰/۹۶ | کلسیم |
| -۰/۷۳ | -۰/۶۰ | ۰/۱۳ | ۰/۹۳ | آهن |
| ۰/۱۳ | -۰/۹۱ | ۰/۲۰ | ۰/۹۷ | منگنز |
| ۰/۴۴ | -۰/۸۳ | ۰/۹۶ | ۰/۱۶ | روی |
| ۰/۵۶ | -۰/۷۳ | ۰/۵۷ | ۰/۵۳ | مس |
| ۲/۰۶ | ۴/۰۶ | ۲/۰۷ | ۴/۱۷ | مقادیر ویژه |
| ۰/۲۹ | ۰/۵۸ | ۲۹/۵ | ۵۹/۵ | واریانس |
| ۰/۸۷ | ۰/۵۸ | ۸۹/۱ | ۵۹/۵ | واریانس تجمعی |

اعداد پررنگ نماینگر متغیرها با وزن بالا در هر عامل می‌باشند.

اعداد پررنگ زیر خطدار نماینگر متغیرهای وارد شده در مجموعه حداقل داده‌ها می‌باشند.

امر فوق مقدار کل کمتر برخی عناصر غذایی جذب شده توسط این پایه در مقایسه با سیترنج و نارنج می‌باشد. به هر حال، پایه سیتروملو قادر است در مجموع درصد بیشتری از مقدار کل عناصر غذایی جذب شده را به بخش هوایی خود انتقال دهد.

نتیجه گیری

از آنجا که پایه‌ها سیستم ریشه درختان مرکبات را تشکیل می‌دهند، بنابراین بر جذب آب، عناصر غذایی و انتقال آنها به قسمت‌های مختلف گیاه و نیز بر نیاز کودی اثرگذار می‌باشند. نتایج نشان داد که جایگاه اصلی تجمع فسفر، پتاسیم و کلسیم در پایه سیتروملو ساقه بود، اما در مورد پایه نارنج، جایگاه اصلی تجمع عناصر مورد مطالعه برگ بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد که جایگاه اصلی تجمع عناصر در پایه سیترنج بسته به نوع عنصر متفاوت بود. به طوریکه بخش اصلی پتاسیم و کلسیم در برگ سیترنج تجمع یافته بود، در حالی که در مورد فسفر، ساقه جایگاه اصلی تجمع این عنصر بود. در مورد عنصر فسفر، بیشترین مقدار جذب مربوط به پایه سیترنج بود و حدود ۷۴ درصد از فسفر جذب شده در بخش هوایی این گیاه وجود داشت. بیشترین مقدار جذب پتاسیم در پایه سیتروملو مشاهده شد و جایگاه اصلی تجمع عنصر پتاسیم

شاخص انتقال نسبی عناصر غذایی: مقدار

شاخص انتقال نسبی عناصر غذایی نیز با روشی مشابه مقدار شاخص تجمع عناصر غذایی محاسبه شد که خلاصه آن در ادامه آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود متغیرهای مقدار انتقال نسبی فسفر، کلسیم، منگنز، روی و مس دارای وزن بالایی در عامل اول بوده و متغیرهای مقدار انتقال نسبی پتاسیم و آهن دارای وزن بالایی در عامل دوم بوده و بر اساس نتایج همبستگی بین این متغیرها با وزن بالا، مقدار انتقال نسبی منگنز و روی در عامل اول و مقدار انتقال نسبی پتاسیم در عامل دوم وارد مجموعه حداقل داده‌ها شدند. پس از اینکه متغیرها وارد شده در مجموع حداقل داده‌ها بر اساس معادله ۲ بدون بعد شده و وزن‌دهی (جدول ۵) نیز شدند، شاخص انتقال نسبی محاسبه شد. مطابق این شاخص رتبه سه پایه مورد بررسی به لحاظ مقدار انتقال نسبی عناصر غذایی به صورت سیتروملو (۱/۴۷) < سیترنج (۱/۲۸) < نارنج (۱/۲۳) بدست آمد، هرچند تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شاخص انتقال در سه پایه مشاهده نشد. لازم به ذکر است که در برخی موارد علیرغم اینکه پایه سیتروملو درصد بیشتری از مقدار عناصر غذایی را به بخش هوایی خود منتقل کرده اما از لحاظ کمی مقدار کمتری از عناصر غذایی در بخش هوایی این پایه تجمع یافته باشد که دلیل

بررسی به لحاظ شاخص تجمع عناصر غذایی به صورت نارنج < سیتروملو ~ سیترنج بدست آمد.

رهیافت‌های ترویجی

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که پایه‌های مرکبات رفتار تغذیه‌ای متفاوتی داشته و توانایی این پایه‌ها برای جذب عناصر غذایی متفاوت است. به طور کلی با توجه به نتایج محاسبه شاخص تجمع عناصر غذایی، اگر پایه‌های متداول در شمال کشور را بخواهیم از لحاظ جذب عناصر غذایی در خاک غیرآهکی و تحت شرایط بهینه تامین عناصر غذایی اولویت‌بندی نماییم، رتبه پایه‌ها به صورت نارنج < سیتروملو ~ سیترنج می‌باشد و پایه نارنج علیرغم همه محدودیت‌های که دارد در مجموع به لحاظ جذب عناصر غذایی کلیدی بر پایه‌های سیتروملو و سیترنج برتری دارد.

بخش هوایی این گیاه بود به طوریکه تقریباً ۷۷ درصد کل پتاسیم جذب شده توسط این گیاه در بخش هوایی آن تجمع یافته بود. به هر حال، نارنج بیشترین مقدار کلسیم را جذب کرده بود و ۶۹ درصد از مقدار کل کلسیم جذب شده توسط این پایه به بخش هوایی انتقال یافته بود. در مورد عناصر کم‌نیاز جایگاه اصلی تجمع این عناصر ریشه بود. همچنین، در مورد عناصر کم‌نیاز مورد بررسی، با توجه به مقدار جذب کل و مقدار انتقال یافته به بخش هوایی، پایه‌های سیترنج و نارنج در جذب آهن بر سیتروملو، در مورد عنصر منگنز پایه‌های نارنج بر پایه‌های سیتروملو و سیترنج، در جذب روی پایه‌های نارنج و سیترنج بر سیتروملو و در مورد عنصر مس پایه‌های سیتروملو و نارنج بر پایه سیترنج برتری داشته‌اند. علاوه بر این، بر اساس نتایج تجزیه عامل ترتیب پایه‌های مورد

فهرست منابع

۱. آمارنامه کشاورزی محصولات باغبانی وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران، ایران. قابل دسترسی در آدرس: <http://www.maj.ir>.
۲. طباطبائی، س.، رزازی، ع.، خوشگفتارمنش، ا.ح.، خدائیان، ن.، مهربانی، ز.، عسگری، ا.، فتحیان، ش. و رمضان‌زاده، ف. ۱۳۹۰. تاثیر کمبود آهن بر غلظت، جذب و انتقال نسبی آهن، روی و منگنز در برخی از محصولات زراعی با آهن کارایی مختلف در شرایط آبکشت. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه‌های ۷۳۵-۷۲۸.
۳. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری: آمار کلاسیک. انتشارات پلک، تهران.
4. Andrews, S.S., and Carroll, C.R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecological Applications*, 11: 1573-1585.
5. Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., Karlen, D.L., Hartz, T.K., Horwath, W.R., Pettygrove, G.S., Scow, K.M., and Munk, D.S. 2002. On-farm assessment of soil quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*, 94: 12-23.
6. Bitters, W.P. 1986. Citrus Rootstocks: Their Characters and Reactions. UC Riverside Science Library 236 p. <http://www.citrusvariety.ucr.edu/links/documents/Bitters.pdf>.
7. Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total. p. 1085-1121. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
8. Cimen, B., Yesiloglu, T., Incesu, M., and Yilmaz, B. 2014. Growth and photosynthetic response of young 'Navelina' trees budded on to eight citrus rootstocks in response to iron deficiency. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 42: 170-182
9. Davies, F.S., and Albrigo, L.G. 1994. Citrus. Wallingford, UK: CAB International.

10. Dou, H., and Alva, A.K. 1998. Nitrogen uptake and growth of two citrus rootstock seedlings in a sandy soil receiving different controlled-release fertilizer sources. *Biology and Fertility of Soils*, 26:169–172
11. Dubey, A.K. and Sharma R.M. 2016. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. *Scientia Horticulturae*, 200: 131–136
12. FAO. 2014. FAOSTAT, production (www.fao.org)
13. Gee, G.H., and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 383-409. In: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2 physical properties*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
14. Grace, J.K., Sharma, K.L. , Seshadri, K.V. , Ranganayakulu, C., Subramanyam, K.V., Bhupal Raj, G., Sharma, S.H.K., Ramesh, G., Gajbhiye, P.N. and Madhavi, M. 2012. Evaluation of Sweet Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) cv. Sathgudi Budded on Five Rootstocks for Differential Behavior in Relation to Nutrient Utilization in Alfisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43: 985-1014.
15. Hall, J.L. 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53: 1–11.
16. Helmke, Ph.A., and D.L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
17. Hippler, W.R., Cipriano, D.O., Boaretto, R.M., Quaggio, J.A., Gaziola, S.A., Azevedo, R.A., and Mattos-Jr. D. 2016. Citrus rootstocks regulate the nutritional status and antioxidant system of trees under copper stress. *Environmental and Experimental Botany*, 130:42–52
18. Kalra, Y.P. 1997. *Handbook of reference methods for plant analysis*. CRC, London, UK.
19. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421-428.
20. Loeppert, R.H., and D.L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
21. Martinez-Cuenca, M.R., Forner-Giner, M.A., Iglesias, D.J., Primo-Millo, E., and Legaz F. 2013. Strategy I responses to Fe-deficiency of two citrus rootstock differing in their tolerance to iron chlorosis. *Scientia Horticulturae*, 153: 56-63.
22. Mattos, D., Quaggio, J., Cantarella, A.H., and Alva, A.K. 2003. Nutrient content of biomass components of hamlin sweet orange trees. *Scientia Agricola*, 60: 155-160
23. Mattos, D., Quaggio, J.A., Cantarella, H., Alva, A.K. and Graetz, D.A. 2006. Response of young citrus trees on selected rootstocks to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1371–1385.
24. McDonald, A.J.S., Ericsson, T., and Larsson, C. 1996. Plant nutrition, dry matter gain and partitioning at the wholeplant level. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1245–1253.
25. Nguillie, E., Singh, A.K., Sema, A. and Srivastava, A.K. 2015. Citrus Growth and Rhizosphere Properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46: 1540-1550.
26. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. p. 961-1011. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
27. Olsen, S.R., and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-430. In: A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis. Part1 chemical and biological properties*. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
28. Pestana, M., Varennes, A., Abadia, J., and Faria, E.A. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. *Scientia Horticulturae*, 104: 25–36.
29. Sharma, S. 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley & Sons, New York.

30. Sharma, R.M., Dubey, A.K., Awasthi, O.P. and Kaur Ch. 2016. Growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.): Variation from rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 210: 41–48.
31. Toplu, C., Uygur, V., Kaplankıran, M., Demirkese, T.H. and Yıldız, E. 2012. Effect of citrus rootstocks on leaf mineral composition of 'okitsu', 'clausellina', and 'silverhill' mandarin cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 35: 1329–1340.
32. Zambosi, F. B., Mattos, D. Jr., Boaretto, R. M., Quaggio, J.A., Muraoka, T. and Syvertsen, J.P. 2012. Contribution of phosphorus (³²P) absorption and remobilization for citrus growth. *Plant Soil*, 355: 353–362.
33. Zambosi F.B., Mattos Jr. D., Quaggio J.A., Cantarella H. and Boaretto R.M. 2013. Phosphorus Uptake by Young Citrus Trees in Low- P Soil Depends on Rootstock Varieties and Nutrient Management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44: 2107-2117.
34. Zhou, G.F., Peng, Sh.A., Liu, Y.Z., Wei, Q.J., Han, J. and Islam M.Z. 2014. The physiological and nutritional responses of seven different citrus rootstock seedlings to boron deficiency. *Trees*, 28: 295–307.