Physiological and Nutritional Responses of Satsuma Mandarin on Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) Rootstock in Calcareous Soils

A. Asadi Kangarshahi *and N. Akhlaghi Amiri
Associate Professor of Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari. **kangarshahi@gmail.com**
Assistant Professor of Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. **neginakhlaghi@yahoo.com**

«Research Article»
Received: June 26, 2024 and Accepted: December 23, 2024

Abstract

The Gou Tou (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) has been reported as one of the rootstocks tolerant to soil lime. Therefore, the present study aimed to evaluate the growth trend and tolerance of this rootstock to the calcareous soils of east of Mazandaran Province. An experiment was conducted for two years in a randomized completely block design in seven soils with calcium carbonate content (2 to 45%). Plant measurements included vegetative growth trend, dry weight, chlorosis rate, fluorescence index (Fv/Fm), chlorophyll, and nutrient concentration in leaves and roots. The results showed that the highest average dry weight of aerial parts was obtained from soils with clay texture and total lime content of more than 30%. There was a significant difference in the chlorosis rate of the leaves of seedlings on this rootstock in different soils**,** which was mostly caused by manganese deficiency in the leaves. The average Fe concentration in the roots was 19.43 times the average concentration in the leaves, indicating the accumulation and deposition of iron in the roots. In most soils, the amount of manganese available for citrus trees was excessive, but the mean concentration of leaf was less than adequate. The overall mean Mn concentration in the roots was about 6 times higher than its mean concentration in the leaves. Magnesium and sulfur had the highest and lowest transfer efficiency while active Fe and total Fe had the highest and lowest transfer efficiency, respectively. According to the results, the chlorosis rate of the seedlings in different soils differred significantly, which showed this rootstock as relatively tolerant to soil lime. Therefore, Gou Tou can not be a good substitute for orange rootstock in calcareous soils with very high lime content.

Keywords: Calcium Carbonate, Chlorosis rate, Citrus rootstock, Nutrient elements.

* - Corresponding author's email: kangarshahi@gmail.com

پژوهش‌های خاک / الف / جلد ۳۸ / شماره۳ پاییز/ ۲۲۵/۱۴۰۳-۲۵۰
https://doi.org/ 10.22092/IJSR.2024.366158.749

پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه گوتو (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou) به خاک‌های آهکی

علی اسدی کنگرشاهی *و نگین اخلاقی امیری

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مازندران، ایران.kangarshahi@gmail.com

استادیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعیمازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مازندران، ایران.neginakhlaghi@yahoo.com

« مقاله پژوهشی»

دریافت: ۱۴۰۳/۴/۶ و پذیرش:۱۴۰۳/۱۰/۳

چکیده

پایه گوتو (*Citrus aurantium* L. var. Gou Tou)، به عنوان یکی از پایه‌های متحمل به آهک خاک در مرکبات گزارش شده است. هدف این پژوهش ارزیابی روند رشد و تحمل پایه گوتو به خاک‌های آهکی شرق مازندران بود. به این منظور، آزمایشی به مدت دو سال درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در هفت خاک با دامنه کربنات کلسیم معادل از ۲٪ تا ۴۵٪ انجام شد. پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص درجه زردی، کلروفیل، شاخص فلورسنس کلروفیل، غلظت عناصر غذایی در برگ و ریشه بود. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های رسی با آهک کل بیشتر از ۳۰٪ به دست آمد. درجه زردی برگ نهال‌ها در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم داشت و این تفاوت بیشتر ناشی از کمبود منگنز در برگ بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها، ۱۹/۴ برابر میانگین غلظت آن در برگ ها بود که تجمع و رسوب آهن در ریشه‌ها را نشان می‌داد. هر چند مقدار منگنز قابل استفاده خاک در بیشتر خاک‌ها برای درختان مرکبات بیش از حد مطلوب بود، اما میانگین غلظت منگنز برگ نهال‌ها در بیشتر خاک‌ها کمتر از حد کفایت بود. میانگین غلظت منگنز در ریشه نهال‌ها حدود شش برابر میانگین غلظت آن در برگ بود. به طور کلی منیزیم و گوگرد به ترتیب بیشترین وکمترین راندمان انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و آهن فعال و آهن کل به ترتیب دارای بیشترین و کمترین راندمان انتقال بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص زرد برگی نهال‌های انشو با پایه گوتو در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشت و پایه گوتو نسبتا متحمل به آهک خاک بود. بنابراین، پایه گوتو نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای پایه نارنج در خاک‌های با آهک خیلی زیاد باشد.

واژه‌های کلیدی: پایه مرکبات، زرد برگی (کلروز)، عناصر غذایی، کربنات کلسیم

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول:kangarshahi@gmail.com

مقدمه

به طور کلی مهمترین علایم کمبود آهن در درختان مرکبات، زردی بین رگبرگ‌ها (ابتدا در برگ‌های جوان‌تر ظاهر می‌شود)، ظاهر شدن و تشکیل برگ‌های نازک (بیشتر در مقابل نور خورشید ظاهر می‌شوند)، خشکیدگی شدید سرشاخه‌ها در پیرامون درختان به ویژه در انتهای درختان، در برخی موارد سفید شدن و سوخته شدن نوک و حاشیه برگ‌ها و همچنین کاهش اندازه و ریزش برگ‌ها است. درختان دارای کمبود، نسبت به درختان طبیعی، گل‌دهی کمتر، تشکیل میوه کمتر و همچنین رنگ میوه ضعیف‌تر دارند. درختان دارای کمبود شدید، سرانجام زوال خواهند یافت، اما بسیاری از آنها قبل از این مرحله، به علت تولید میوه کم و اقتصادی نبودن باغ، توسط باغدار قطع می‌شوند. همچنین کلروز آهن می‌تواند موجب کاهش عملکرد، کیفیت و تأخیر در رسیدن میوه مرکبات شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ کوارتیز و همکاران، ۲۰۰۷؛ رامهلد، ۲۰۰۰). به طور کلی آهن در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند. لذا کمبود آهن می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل شود (لاربی و همکاران، ۲۰۰۶؛ مولاسیوتیس و همکاران، ۲۰۰۶).

به طور کلی شدت علائم کلروز (زردی) در درختان میوه، عمدتا ناشی از مقدار آهک، تغییرات برخی ویژگی‌های خاک به ویژه مقدار رس و وزن مخصوص ظاهری در لایه‌های زیرین خاک (منطقه ریشه) به علاوه تغییرات شرایط محیطی گزارش شده است که موجب کاهش تهویه خاک و کاهش توسعه ریشه و در نتیجه کاهش قابلیت استفاده و جذب آهن می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷؛ آلکانترا و همکاران، ۲۰۱۲). یکی از مهمترین ویژگی‌های شیمیایی خاک که در کاهش قابلیت استفاده آهن و شدت کلروز درختان میوه موثر است مقدار کربنات کلسیم خاک می‌باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). کربنات کلسیم در بیش از ۳۰ درصد اراضی جهان وجود دارد (چن و باراک، ۱۹۸۲، لوپرت و همکاران، ۱۹۹۴). بیشتر مناطق مدیترانه‌ای شرایط اقلیمی مناسبی برای کشت مرکبات دارند، اما حدود ۲۰ تا ۵۰ درصد باغ‌های میوه آنها از کمبود آهن رنج می‌برند، شایع‌ترین علت کمبود آهن در این مناطق، غلظت بالای یون‌های کربنات و بی‌کربنات در محلول خاک است که ناشی از کربنات کلسیم در این خاک‌ها است (پستانا و همکاران، ۲۰۰۵). این خاک‌های آهکی غلظت بالایی از یون‌های بی‌کربنات دارند که موجب افزایش pH محلول خاک می‌شوند (منگل، ۱۹۹۵). خاک-های مناطق مدیترانه‌ای اغلب دارای بیش از ۲۰ درصد کربنات‌های کلسیم و منیزیم هستند که به شدت pH محلول خاک را بافر کرده و در محدود ۷/۵ تا ۸/۵ نگه می‌دارند (پستانا و همکاران، ۲۰۰۵). جذب آهن به شدت به pH خاک بستگی دارد و فعالیت آهن در محلول برای هر واحد افزایش pH حدود ۱۰۰۰ برابر کاهش می‌یابد و در محدوده ۷/۴ تا ۸/۵ به حداقل می‌رسد (بایرن و همکاران، ۱۹۹۵).

آهن یک عنصر ضروری برای گیاهان است و برای طیف وسیعی از مسیرهای متابولیک، مانند تثبیت نیتروژن، کاهش ریبونوکلئوتیدها، انتقال الکترون، فعال‌سازی و انتقال اکسیژن، و همچنین غیرفعال‌سازی اشکال کاهش‌یافته اکسیژن مورد نیاز است (ایسنستین و بلمینگ، ۱۹۹۸؛ زوچی و همکاران، ۲۰۰۷). بیشتر ارقام و پایه‌های مرکبات به کلروز آهن حساس هستند و کلروز آهن یک مشکل تغذیه‌ای رایج در خاک‌های با pH بالا است (چولیاراس و همکاران، ۲۰۰۴). نارنج یکی از پایه-هایی است که تحمل و سازگاری خوبی به خاک‌های آهکی دارد و به طور گسترده در حوضه مدیترانه استفاده می‌شود (اوزان، ۱۹۷۹). بیشتر ارقام مرکباتی که روی نارنج پیوند می‌شوند میوه‌های با کیفیت مناسب دارند اما این پایه حساس به بیماری وبروسی تریستیزا است. در مقابل پایه‌های سه برگچه‌ای و هیبریدهای آنها (پونسیروس، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی۳۵، سوینگل سیترومِلو و ....) نسبت به این بیماری متحمل هستند اما این پایه‌ها معمولا به آهک زیاد در خاک

حساس هستند و احتمال کلروز در خاک‌های آهکی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷).

گزارش ارزیابی برخی ژنوتیپ‌های مرکبات (پایه) به منظور تعیین تحمل نسبی به کلروز آهن ناشی از آهک نشان داده است که نارنج و کلئوپاترا ماندارین بیشترین تحمل به آهک خاک دارند، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج و سی۳۵ تحمل متوسطی دارند و در مقابل سوینگل سیترومِلو، ولکامریانا و پونسیروس حساس به آهک خاک هستند (اینسیزو و همکاران، ۲۰۱۶؛ بومن و جوبرت، ۲۰۲۰). ارزیابی چندین پایه برای نارنگی کلمانتین در کشور مصر نشان داده است که کاریزوسیترنج مناسب‌ترین پایه برای آن در خاک‌های اسیدی است در مقابل گوتو پایه مناسبی برای کلمانتین نیست (حسین و همکاران، ۲۰۱۳).

در استان مازندران نیز مقدار کربنات کلسیم خاک باغ‌های این منطقه از میانه به طرف شرق به تدریج افزایش می‌یابد به طوری که مقدار کربنات کلسیم خاک‌ها در شرق ساری و نکا به بیش از ۴۰ درصد می‌رسد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). آهک کل ممکن است برای پیش‌بینی توسعه کلروز آهن، مناسب نباشد ولی آهک فعال که قادر به تولید و نگهداری غلظت های زیاد بی‌کربنات در خاک است، می‌تواند شاخص مناسب‌تری باشد. آهک فعال، معرف بخشی از آهک خاک است که سطح ویژه بالایی (تقریبا معادل رس خاک) داشته و بسیار واکنش‌پذیر می‌باشد. این آهک فعال به طور غیر مستقیم مسئول کاهش رشد و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مانند عارضه زرد برگی است (کاستل و نونالی، ۲۰۰۹؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین گونه های مختلف درختان میوه بر اساس سطحی از آهک فعال در خاک که شروع به توسعه علائم کلروز می‌کنند، می توانند رتبه‌بندی شوند. ژنوتیپ‌های خیلی حساس به آهک ممکن است در سطوح کربنات کلسیم فعال کم‌تر از ۰/۵ درصد کلروز نشان دهند، اما ژنوتیپ‌ها متحمل یا مقاوم ممکن است بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد کربنات کلسیم فعال در خاک را نیز به خوبی تحمل کنند (تگلیاونی و رومبلا، ۲۰۰۱).

تحمل درختان مرکبات به آهک خاک و کلروز، بیشتر به پایه آنها بستگی دارد. پایه‌های ترویرسیترنج، کاریزوسینرنج، سی ۳۵، سوینگل سیترومِلو به صنعت مرکبات استان مازندران وارد شده‌اند و در این مناطق گسترش و ترویج شده‌اند در حالی که گزارش‌هابی پژوهشی انجام شده در منطقه و همچنین برخی گزارش-های از منابع علمی نشان داده است که این پایه‌ها در خاک های با آهک زیاد، اغلب دچار کلروز ناشی از آهک، کاهش رشد، خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال می‌شوند (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۶؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۹؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۴۰۱؛ لوزدا و همکاران، ۲۰۰۸). نتایج پژوهشی در مورد پایه سیترومِلو نشان داد بین مقدار آهک فعال خاک و غلظت آهن فعال برگ آن، رابطه خطی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک غلظت آهن فعال برگ آن کاهش می‌یابد و این پایه حساس به خاک‌های آهکی گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۳۹۷). نتایج پژوهشی درختان نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج نشان داد که این پایه در خاک‌های آهکی با بافت متوسط یا سنگین و آهک بیشتر از ۱۴ درصد یا آهک فعال بیشتر از ۵ درصد علائم زرد برگی نشان دادند اما در خاک‌های آهکی با بافت سبک، این پایه مقدار آهک کل بسیار بیشتری را نیز به خوبی تحمل می‌کند. بنابراین استفاده از این پایه در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین و آهک کل بیشتر از ۱۴ درصد توصیه نمی‌شود. اما در خاک‌های با بافت سبک، استفاده از این پایه در خاک‌های با آهک ۴۰ درصد نیز امکان‌پذیر است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۴۰۱).

برخی منابع گزارش کرده‌اند که پایه‌های گوتو و اسموت فلت سویل متحمل به خاک‌های آهکی هستند و پاسخ آن-ها مشابه نارنج گزارش شده است (کاستل و همکاران،

۱۹۹۲؛ سینگ و همکاران، ۲۰۰۲). گزارش‌های زیادی در مورد کلروز آهن درختان مرکبات در خاک‌های آهکی وجود دارد (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷؛ پستانا و همکاران، ۲۰۰۵، گورا و همکاران، ۲۰۲۲). کلروز شدید آهن، ممکن است منجر به کاهش یا توقف کامل باردهی محصول و کاهش سود اقتصادی باغ‌دار شود. به طور معمول روش های جلوگیری یا رفع کلروز آهن، غیر قابل اطمینان و گران هستند و مناسب‌ترین روش برای جلوگیری از کلروز آهن، استفاده از پایه مناسب در زمان احداث باغ است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷؛ مورالیس و همکاران، ۱۹۹۸).

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش برای حل چالش کلروز آهن، انتخاب پایه‌های متحمل است (کاستل و همکاران، ۲۰۱۰؛ پستانا و همکاران، ۲۰۰۱). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که از برخی پارامترهای فتوسنتز مانند غلظت کلروفیل و شاخص فلورسنس کلروفیل می‌توان برای انتخاب و غربالگری ژنوتیپ‌های مختلف به تنش‌های محیطی استفاده شود، این پارامترهای فتوسنتزی هر گونه تنش و محدودیت در فرآیندهای فتوسنتزی را به خوبی نشان می دهند و ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش، تغییرات کمتری در پارامترهای فتوسنتزی در پاسخ به تنش دارند (بلخوجا و همکاران، ۱۹۹۴، میشرا و همکاران، ۲۰۱۱؛ سالیسبوری و روس، ۱۹۹۲؛ ابراهیم، ۲۰۲۰).

بنابراین در باغداری، پیش‌بینی امکان توسعه کلروز آهن در زمان احداث باغ از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و اشتباه در این مرحله، موجب کاهش رشد، عملکرد و کیفیت میوه، افزایش هزینه‌های مدیریت باغ می‌شود و در کل موجب کاهش سود اقتصادی باغدار خواهد شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷؛ لوپرت و همکاران، ۱۹۹۴). در استان مازندران با توجه به گسترش بیماری تریستیزا و حساسیت نارنج به عنوان پایه معمول منطقه به این بیماری، دامنه تغییرات زیاد آهک در خاک‌های منطقه (از صفر تا بیشتر از ۴۰ درصد)، روند افزایش تدریجی آهک در مناطق جلگه‌ای و دشت، از میانه به طرف شرق و در مناطق دامنه‌ای، میان‌بند و حاشیه جنگل‌ها (جنوب) به طرف منطقه جلگه‌ایی و دشت (شمال) و حساسیت سیترومله به خاک‌های آهکی، امکان کلروز ترویر سیترنج، کاریزوسیترنج و سی ۳۵ در خاک-های با آهک متوسط و زیاد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۳۹۶،۱۳۹۹۴، ۱۴۰۱، ایزدپناه، ۱۳۵۵) ورود پایه گوتو (*C. aurantium* L. var. Gou Tou) در منطقه، بررسی پاسخ آن به مقادیر مختلف آهک در خاک‌های منطقه ضروری است. پایه گوتو متحمل به تریستیزای مرکبات است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲) و همچنین عملکرد و کیفیت میوه روی این پایه خوب گزارش شده است (اخلاقی امیری، ۱۳۹۹). بنابراین، پژوهش حاضر به ارزیابی روند رشد، پاسخ‌های تغذیه‌ای و تحمل پایه گوتو به کلروز در خاک‌های آهکی شرق مازندران اختصاص داده شد.

مواد و روش‌ها

با توجه به نقشه خاک، گزارش‌های خاکشناسی و همچنین مطالعات انجام شده در باغ‌های شرق مازندران (ایزدپناه، ۱۳۵۵؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)، هفت نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب گردید که دارای بافت متفاوت و دامنه وسیعی از کربنات کلسیم (از ۲ تا ۴۵ درصد) بودند و همچنین منطقه وسیعی از نظر جغرافیایی (نواحی عمده کشت مرکبات) در برداشتند. خاک‌های آزمایشی از باغ‌های مناطق مختلف شرق مازندران (بابل، قائم‌شهر، ساری و نکا) جمع‌آوری شدند و پس از خشک کردن درهوا، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها از جمله کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، کربنات کلسیم فعال به روش تیتراسیون با پرمنگنات پتاسیم (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (گی و بادر، ۱۹۸۶)، واکنش خاک در خمیر اشباع (مکلین، ۱۹۸۲)،

ماده آلی به روش والکلی – بلک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (اسچنیدر، ۱۹۹۷)، فسفر به روش اولسن و سامرز (اولسون و سامرز، ۱۹۸۲)، منگنز ، آهن، و روی به روش دی تی پی ای (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸) اندازه گیری شد. دامنه آهک معادل خاک‌ها از ۲ تا ۴۵ درصد، آهک فعال از صفر تا ۱۶ درصد، رس از ۱۳ تا ۴۱ درصد، سیلت از ۱۸ تا ۳۷ درصد، شن از ۳۴ تا ۵۸ درصد و کربن آلی از ۰/۶۵ تا ۱/۸۰ درصد متغییر بود (جدول۱).

مقدار ۳۰ کیلوگرم خاک ازنمونه‌های خاک مورد نظر، درسطل‌های پلاستیکی ریخته شد. کود نیتروژنی به میزان ۶۰ میلی‌گرم نیتروژن خالص درکیلوگرم خاک به صورت سولفات آمونیوم اضافه گردید (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از ۱۵ میلی‌گرم درکیلوگرم فسفر قابل استفاده (اولسن و سامرز، ۱۹۸۲) و کمتر از ۳۰۰ میلی‌گرم درکیلوگرم پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم داشتند. ۲۰میلی‌گرم فسفر و ۲۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره ۵ و ۲۵ میلی گرم فسفر و ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره هفت افزوده شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). سپس نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو (جدول ۲) تقریبا یکسان با ارتفاع حدود ۵۰ سانتی متر و قطر حدود یک سانتی‌متر در هر خاک کاشته شد. آزمایش به مدت دو سال و به شکل گلدانی درقالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت خاک با دامنه متفاوت کربنات کلسیم معادل در چهار تکرار با ۲۸ گلدان انجام شد. بعد از کاشت نهال‌ها، درطول دوره رشد، تغذیه به صورت کود آبیاری با کودهای نیترات پتاسیم (۱/۴ میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (یک میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیوم فسفات (۰/۶ میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیم (۳ میلی‌مول در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (یک میکرومول در لیتر) هر دو هفته یک بار انجام شد (بومن و همکاران، ۲۰۰۸) و آبیاری با توزین تصادفی گلدان‌های آزمایشی (فدی و همکاران، ۲۰۰۸) به طور منظم (ضریب تخلیه رطوبت حدود ۳۵ درصد) انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۷). نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک اکسید شد و سپس غلظت آهن، منگنز، روی و مس توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

آهن فعال

اندازه‌گیری آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین ۱/۵ درصد و قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد (باسر، ۲۰۰۳). آهن فعال در برگ و ریشه، معرف بخشی از آهن است که به شکل دو ظرفیتی و از نظر متابولیکی فعال است که با محلول فنانترولین عصاره‌گیری و در طول موج ۵۱۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (باسر، ۲۰۰۳؛ نیامن و آگاری، ۲۰۰۷).

شاخص درجه زردی

برای تعیین درجه زردی برگ‌ها در سال دوم رشد بر اساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها، به هر نهال در هر خاک به طور میانگین درجه‌ای از یک تا پنج (جدول ۳) داده شد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷؛ بایرن و همکاران، ۱۹۹۵).

غلظت کلروفیل برگ

در سال دوم آزمایش، نمونه‌های برگ از هر تیمار تهیه شد (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۸). مقدار ۰/۲ گرم از نمونه برگ‌های هر تیمار به دقت وزن، در هاون چینی ساییده و استون ۸۰ درصد به آن اضافه شد. سپس محلول حاوی کلروفیل نمونه‌ها استخراج و میزان جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. برای این منظور، ابتدا قرائت اسپکتروفتومتر برای استون روی

صفر تنظیم شد و میزان جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۵ نانومتر و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. سپس غلظت کلروفیل محاسبه شد (آبادیا و آبادیا، ۱۹۹۳).

شاخص فلورسنس کلروفیل

در سال دوم آزمایش، پارامترهای فلورسنس کلروفیل در برگ‌های جوان کاملا توسعه یافته در همه خاکها{F_0: فلورسنس پایه، F_m: فلورسنس حداکثر در اولین پالس اشباع نوری بعد از سازگاری با تاریکی و F_v: تغییرات فلورسنس(F_m-F_0)} با استفاده از فلورومتر پرتابل (Efficiency Analyser, PEA, Hansatech Instrument Plant Ltd., England)، بعد از۳۰ دقیقه انطباق تاریکی اندازه‌گیری شد. برای سازگاری با تاریکی، ابتدا قسمتی از برگ نهال‌ها (با کلیپ‌های مخصوص) برای مدت زمان ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. بعد از اتمام سازگاری با تاریکی، با قرار دادن سنسور فلورومتر به کلیپ‌ها، ارتباط اندام سازگاری شده با تاریکی و منبع نور تنظیم شده فلورومتر برقرار نموده و پارامترهای فلورسنس کلروفیل قرائت گردید. سپس شاخص تغییرات کلروفیل فلورسنس$(F_v/F_m=(F_m-F_0)/F_m)$ محاسبه گردید (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹؛ مکسول و جانسون، ۲۰۰۰).

ضریب انتقال

ضریب انتقال[1] عناصر غذایی که توانایی گیاهان برای انتقال عناصر از ریشه به برگ‌ها را نشان می‌دهد از طریق رابطه زیر محاسبه شد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۷).

$$TF = C_{NE.L} / C_{NE.R}$$

TF= ضریب انتقال

$C_{NE.L}$= غلظت عنصر در برگ

$C_{NE.R}$ = غلظت عنصر در ریشه

[1]- Translocation Factor

جدول۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش

ویژگی	خاک و منطقه						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
	جنوب بابل	غرب قائم شهر	جنوب ساری	غرب نکا	شمال نکا	غرب ساری	شرق ساری
رس (درصد)	۲۳	۲۹	۱۹	۴۱	۱۳	۳۷	۲۳
سیلت (درصد)	۳۰	۲۶	۳۵	۱۸	۲۹	۲۹	۳۷
شن (درصد)	۴۷	۴۵	۴۶	۴۱	۵۸	۳۴	۴۰
کلاس بافتی خاک	لوم	لوم رسی	لوم	رسی	لوم شنی	لوم رسی	لوم
آهک کل (درصد)	۲	۹	۱۴	۳۰	۴۰	۲۵	۴۵
آهک فعال (درصد)	۰	۳	۵	۱۴	۷	۱۰	۱۶
کربن آلی (درصد)	۱/۱۷	۰/۹۵	۱/۸۰	۱/۶۰	۰/۶۵	۱/۵۲	۱/۱۰
واکنش گل اشباع	۶/۸۱	۷/۴۵	۷/۸۶	۷/۶۰	۷/۷۷	۷/۷۸	۷/۷۶
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۶/۳۴	۲۲/۲۱	۱۵/۰۹	۱۷/۱۱	۱۱/۲۰	۱۸/۳۰	۹/۸۷
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۴۰۴	۳۸۰	۳۶۰	۴۶۰	۲۲۱	۳۲۵	۲۶۵
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۷/۲۰	۶/۴۰	۸/۸۰	۸/۹۰	۴/۴۰	۸/۲۲	۶/۸۰
منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۳/۱۰	۴/۲۰	۳/۹۶	۵/۴۰	۳/۲۰	۷/۷۱	۳/۴۰
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲/۴۰	۲/۵۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۹۱	۱/۶۰	۱/۵۰

جدول۲- برخی ویژگی‌های پایه* مورد آزمایش

نام	نام لاتین	نام علمی	ویژگی	
گوتو	Gou Tou	*C. aurantium* L. var. Gou Tou	واکنش به تریستیزا	واکنش به سرما
			نسبتا متحمل	نسبتا متحمل

*منبع (سینگ و همکاران، ۲۰۰۲)

جدول ۳- راهنمای تعیین درجه زردی برگ (براساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش آن‌ها)

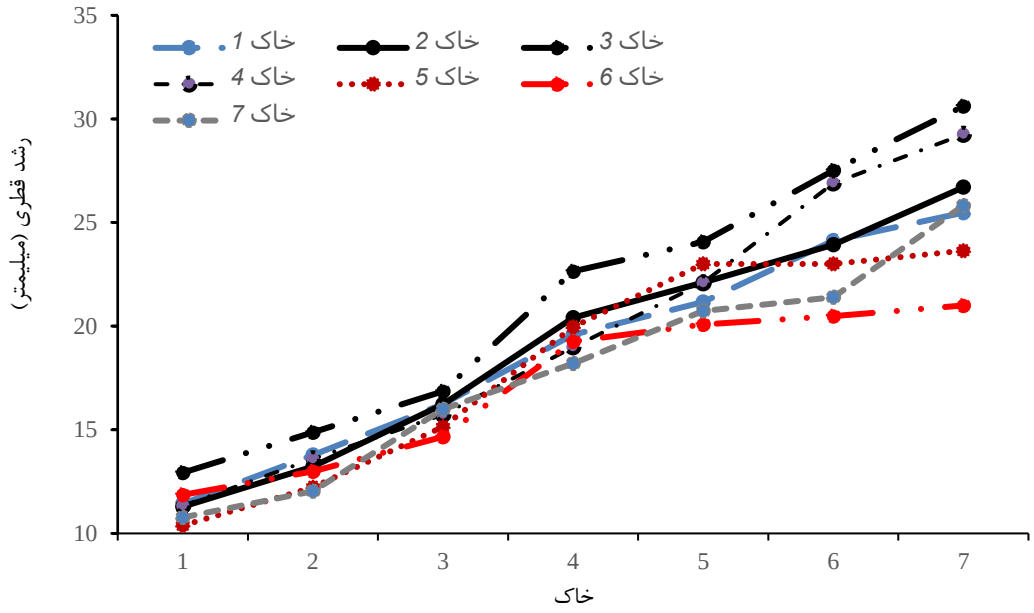
درجه زردی برگ	علائم ظاهری
۱	برگ‌ها سبز و بدون هیچ گونه علائمی
۲	بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز
۳	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز
۴	بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز
۵	بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبز رنگ پریده و مقداری ریزش برگ

به طور کلی پاسخ‌های گیاهی شامل روند رشد رویشی، وزن خشک، شاخص‌های درجه زردی برگ (بایرن و همکاران، ۱۹۹۵)، رابطه آهک فعال در خاک (باشور و سایه، ۲۰۰۷) با آهن فعال در برگ، غلظت نیتروژن به روش کجلدال (بریمر، ۱۹۹۶)، فسفر به روش مولیبدات وانادات (کیتسون و ملون، ۱۹۴۴)، سولفور به روش کدورت سنجی (جونس و همکاران، ۱۹۹۱)، پتاسیم به روش نشر اتمی (باشور و سایه، ۲۰۰۷)، کلسیم، منیزیم، آهن کل، منگنز، روی و مس به روش جذب اتمی (رایت و استوزنکی، ۱۹۹۶)، آهن فعال به روش عصاره‌گیری با محلول فنانترولین (باسار، ۲۰۰۳) در برگ و ریشه (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۲)، غلظت کلروفیل (آبادیا و آبادیا، ۱۹۹۳) و کلروفیل فلورسنس (مکسول و جانسون، ۲۰۰۰) بود. در پایان، کلیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند و توصیه‌های لازم ارائه شد.

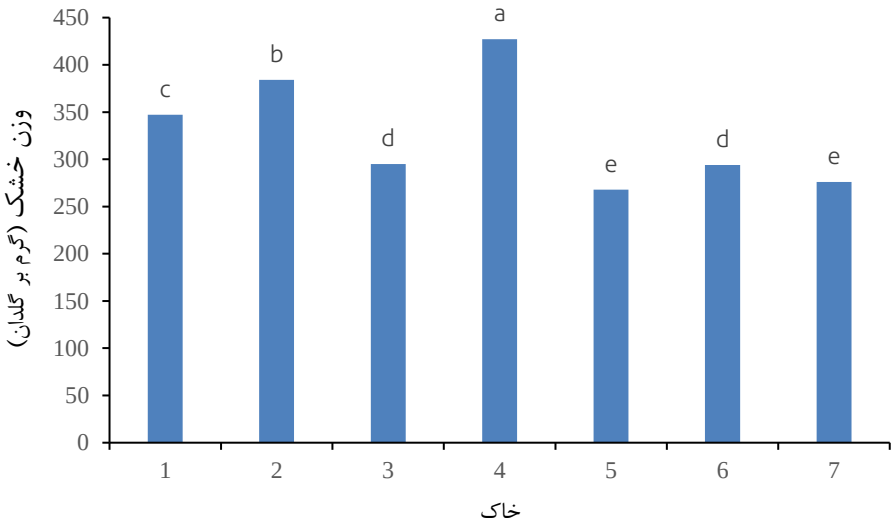
نتایج و بحث

روند رشد رویشی و وزن خشک

نتایج میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف در طول دوره رشد نشان داد که بیشترین رشد قطری در پایان دوره از خاک سه با بافت متوسط (لوم)، آهک کل ۱۴ درصد و آهک فعال ۵ درصد و کمترین رشد از خاک شش با بافت لوم رسی، آهک کل ۲۵ درصد و آهک فعال ۱۰ درصد حاصل شد (شکل۱). تاثیر خاک‌های مختلف بر وزن خشک اندام هوایی از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار بود به طوری که نتایج میانگین وزن خشک اندام هوایی نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی از خاک چهار با آهک کل۳۰ درصد حاصل شد. در مقابل کمترین وزن خشک اندام هوایی از خاک پنج و هفت به ترتیب با آهک کل ۴۰ و فعال ۷ درصد و آهک کل ۴۵ و فعال ۱۶ درصد بود (شکل۲).



شکل۱- میانگین روند رشد قطری نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

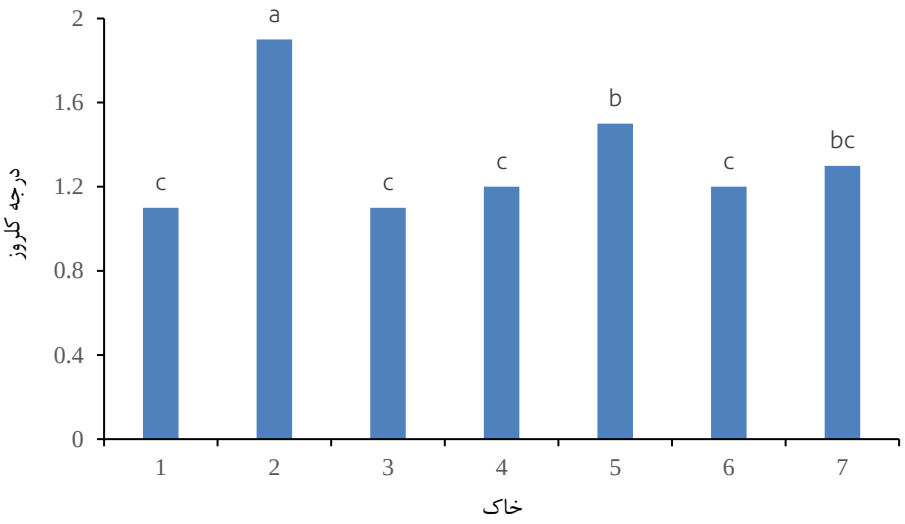


شکل۲- میانگین وزن خشک اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

شاخص درجه زردی برگ

نتایج میانگین درجه کلروز نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری در درجه زرد برگی در خاک‌های مختلف وجود دارد (شکل۳). علائم درجه زردی برگی نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های مختلف در شکل ۹ نشان داد شده است. اگرچه کربنات کلسیم کل اغلب در بیان خصوصیات شیمیایی خاک استفاده می‌شود، اما ارتباط معنی‌داری بین مقدار کربنات کلسیم کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در این نهال‌ها مشاهده نشد. نتایج برخی پژوهش‌های دیگر نشان داده است که همیشه یک ارتباط خوبی بین مقدار کربنات کلسیم کل و کاهش رشد و زردی ناشی از کمبود آهن در درختان مشاهده نشده است (کاستل و نونالی، ۲۰۰۹). افزایش درجه کلروز در خاک دو به علت کمبود منگنز دربرگ است که در شکل ۹ به خوبی این علائم نشان داده شده است.



شکل ۳- میانگین درجه زردی برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر پر مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو به ترتیب در جدول‌های چهار و پنج نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که غلظت فسفر در ریشه و برگ تقریبا یکسان بود اما غلظت گوگرد در ریشه بیشتر از غلظت آن در برگ بود به طوری که میانگین غلظت گوگرد در ریشه ۰/۴۲ درصد و در برگ‌ها ۰/۲۷ درصد بود که نشان داد میانگین غلظت آن در ریشه حدود ۱/۵۶ برابر غلظت در برگ است. میانگین غلظت نیتروژن، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در ریشه کمتر از غلظت این عناصر در برگ بود به طوری که میانگین غلظت آن‌ها در برگ به ترتیب حدود ۱/۴۶، ۱/۳۰، ۲/۵۸، ۱/۵۱ برابر غلظت آن‌ها در ریشه بود. نتایج نشان داد که منیزیم از بیشترین اختلاف غلظت بین ریشه و برگ برخوردار بود. میانگین ضریب انتقال عناصر پر مصرف نشان داد که گوگرد به علت تحرک پایین در درختان مرکبات، کمترین ضریب انتقال و منیزیم بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند و عناصر کلسیم، نیتروژن، پتاسیم و فسفر به ترتیب پس از منیزیم قرار داشتند (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). به طور کلی دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر پر مصرف از ۰/۴۲ تا ۲/۵۸ متغیر بود که نشان دهنده تفاوت در روند تجمع و تخلیه عناصر در ریشه است (شکل ۴).

جدول ۴- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

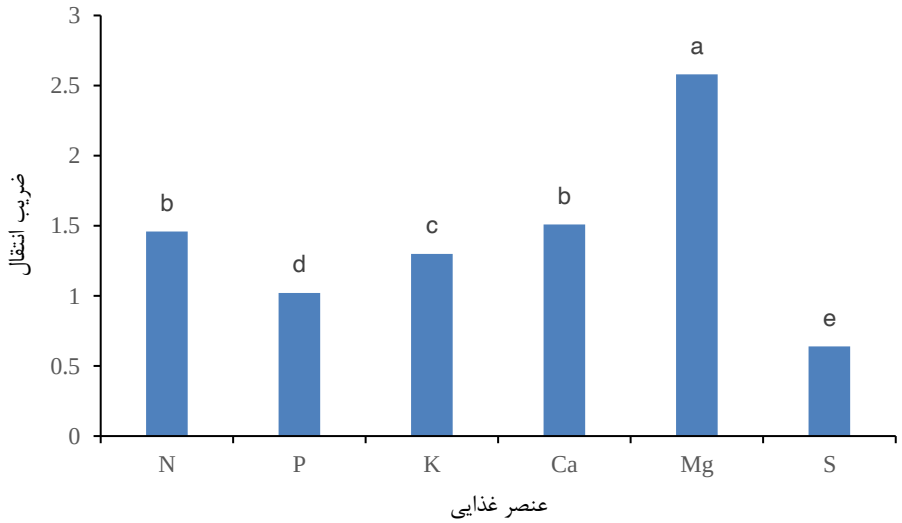
خاک	غلظت عناصر پرمصرف در برگ (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
۱	۲/۵۷b	۰/۱۷۲b	۰/۸۵d	۶/۱۲b	۰/۶۲b	۰/۳۳a
۲	۲/۴۶bc	۰/۱۹۰a	۱/۱۶c	۵/۶۹bc	۰/۷۲a	۰/۲۴c
۳	۲/۵۵b	۰/۱۴۸c	۱/۳۶b	۷/۰۲a	۰/۵۹b	۰/۲۷b
۴	۲/۲۶c	۰/۱۵۱c	۱/۰۱c	۳/۰۷c	۰/۵۰c	۰/۲۲c
۵	۲/۷۹a	۰/۱۲۴d	۱/۵۶a	۶/۰۶b	۰/۶۱b	۰/۲۷b
۶	۲/۶۷ab	۰/۱۴۹c	۱/۲۷b	۴/۸۹d	۰/۶۲b	۰/۲۹ab
۷	۲/۸۰a	۰/۱۴۰c	۱/۳۵b	۵/۵۴ab	۰/۶۷bc	۰/۲۵bc
میانگین	۲/۵۶	۰/۱۵۳	۱/۲۲	۵/۴۸	۰/۶۲	۰/۲۷

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۵- میانگین غلظت عناصر پر مصرف (درصد) ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر پرمصرف در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)*					
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	سولفور
۱	۱/۵۲c	۰/۱۷ab	۰/۸۸b	۳/۳۴c	۰/۲۵a	۰/۴۶ab
۲	۱/۸۱ab	۰/۱۹a	۰/۸۵b	۳/۵۱bc	۰/۲۵a	۰/۳۸bc
۳	۱/۶۹b	۰/۱۳c	۰/۷۴c	۳/۴۶bc	۰/۲۱b	۰/۳۲c
۴	۱/۹۶a	۰/۱۶b	۰/۷۷c	۳/۲۰c	۰/۲۵a	۰/۴۰b
۵	۱/۹۰a	۰/۱۳c	۱/۱۰a	۴/۳۴a	۰/۲۴ab	۰/۳۷bc
۶	۱/۵۴c	۰/۱۴c	۱/۱۱a	۳/۷۰b	۰/۲۶a	۰/۴۸a
۷	۱/۸۵ab	۰/۱۳c	۱/۱۱a	۳/۸۷b	۰/۲۲b	۰/۵۱a
میانگین	۱/۷۵	۰/۱۵	۰/۹۴	۳/۶۲	۰/۲۴	۰/۴۲

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل ۴- میانگین ضریب انتقال عناصر پرمصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

غلظت عناصر کم مصرف در برگ و ریشه

نتایج میانگین غلظت آهن کل، آهن فعال، منگنز، روی و مس در ریشه و برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در جدول‌های شش و هفت نشان داده شده. نتایج میانگین غلظت آهن فعال در ریشه و برگ نشان داد که غلظت آهن فعال در برگ و ریشه در خاک-های مختلف، متفاوت بود به طوری بیشترین میانگین غلظت آهن فعال برگ (۵۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) از خاک یک با آهک دو درصد حاصل شد و در مقابل کمترین غلظت آهن فعال (۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) از خاک هفت با آهک ۴۵ درصد حاصل شد. کمترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک هفت با آهک ۴۵ درصد حاصل شد که حدود ۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما بیشترین غلظت آهن فعال ریشه از خاک پنج با بافت لوم شنی و آهک ۴۰ درصد حاصل شد که ۵۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن فعال در برگ و ریشه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. میانگین غلظت آهن فعال در ریشه حدود ۳۴/۷۰ و در برگ حدود ۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. میانگین غلظت آهن کل در ریشه‌ها ۲۰۶۰ و در برگ‌ها ۱۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد غلظت آهن کل در ریشه، بسیار بیشتر از

غلظت آن در برگ است. همچنین میانگین ضریب انتقال آهن کل و فعال نشان داد که آهن کل کمترین ضریب انتقال و آهن فعال بیشترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را دارد (شکل۵). میانگین غلظت آهن کل در ریشه نهال‌ها در خاک‌های مختلف حدود ۱۹/۴۳ برابر غلظت آهن در برگ آن‌ها بود که نشان می‌دهد بیشتر آهن جذب شده از خاک‌ها در ریشه‌ها تجمع و رسوب کرده است که با نتایج دیگر پژوهشگران در خاک‌های آهکی مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر آهن جذب شده در آپوپلاست سلول‌های ریشه رسوب و ذخیره می‌شود (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷؛ مورالس و همکاران، ۱۹۹۸). نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه معنی‌داری بین مقدار آهن قابل استفاده خاک با غلظت آهن ریشه و برگ و همچنین بین غلظت آهن ریشه و برگ وجود ندارد و این نتایج با گزارش‌های مارتینز و همکاران (۲۰۱۷)، اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۷) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹و ۱۴۰۱) مطابقت دارد. بنابراین اندازه‌گیری مقدار آهن قابل استفاده در خاک (به روش DTPA)، شاخص مناسبی برای پیش‌بینی درجه زرد برگی در درختان مرکبات نمی‌باشد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۹). ناهنجاری کلروز آهن در برگ‌ها، عمدتا به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به برگ‌ها است (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷). برگ‌های دارای کلروز در خاک‌های آهکی ممکن است دارای غلظت بیشتری از آهن نسبت به برگ‌های بدون علائم کلروز باشند بنابراین کلروز آهن تنها به علت اختلال در جذب آهن توسط ریشه‌ها و انتقال آن از ریشه به اندام هوایی نیست بلکه راندمان آهن در برگ‌ها نیز بستگی دارد و آهن ممکن است در برگ‌ها غیرمتحرک شود به طوری که نتایج این پژوهش نشان داد که حدود ۱/۶۸ درصد آهن ریشه و ۴۱/۵۱ درصد آهن برگ به شکل فعال بود که نشان می‌دهد بیشتر از ۹۸ درصد آهن در ریشه و ۵۸/۵۰ درصد آن در برگ‌ها از نظر فیزیولوژی و بیوشیمیایی به شکل غیر قابل استفاده هستند که اصطلاحا تضاد آهن نامیده می‌شود (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹؛ سالیبوری و روس، ۱۹۹۲). کمبود آهن در اوایل رشد در هنگام ظاهر شدن فلش‌های بهاره، منجر به کند شدن رشد برگ‌های جدید و کاهش اندازه برگ‌ها می‌شود اما اگر کمبود آهن در هنگام توسعه برگ‌ها رخ دهد موجب کاهش غلظت کلروفیل و زردی می‌شود بنابراین در خاک‌های آهکی، کاهش اندازه برگ‌ها و ریز بودن آن‌ها از علائم کمبود آهن می‌باشد (کاستل و نونالی، ۲۰۰۹؛ مارتینز و همکاران، ۲۰۱۷).

نتایج میانگین غلظت روی در ریشه و برگ نشان می دهد که بیشترین غلظت روی در برگ از خاک یک و هفت با آهک ۲ و ۴۵ درصد حاصل شد و بیشترین غلظت روی در ریشه از خاک پنج با آهک ۴۰ درصد حاصل شد. میانگین غلظت روی در ریشه و برگ در خاک‌های مختلف به ترتیب حدود ۹۷ و ۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت روی در ریشه حدود ۴/۴۱ برابر میانگین غلظت روی در برگ بود. نتایج میانگین غلظت منگنز نشان داد که ریشه‌ها در خاک-های چهار و پنج بیشترین غلظت منگنز را داشتند و غلظت منگنز آن‌ها ۹۲ تا ۹۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. اما میانگین غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها پایین بود به طوری که میانگین آن در خاک‌های مختلف از ۸/۴ تا ۲۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود که کمتر از غلظت بهینه منگنز در برگ نارنگی‌های انشو می‌باشد (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). به طور کلی میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف ۸۰/۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در برگ ۱۳/۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میانگین غلظت منگنز در ریشه حدود شش برابر میانگین غلظت منگنز برگ است. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت منگنز در برگ نارنگی انشو با پایه گوتو در همه خاک‌های آزمایشی کمتر از حد بهینه بود. نتایج میانگین غلظت مس در ریشه و برگ نشان می‌دهد که ریشه‌ها در خاک با آهک ۹ درصد بیشترین غلظت مس (۳۷ میلی‌گرم در

کیلوگرم) داشتند. کمترین غلظت مس در ریشه حدود ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که در خاک با آهک ۴۵ درصد حاصل شد. اما بیشترین و کمترین غلظت مس در برگ به ترتیب ۸/۳ و ۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که از خاک های با آهک ۴۵ و ۳۰ درصد به دست آمد به طور کلی میانگین غلظت مس در ریشه حدود ۳/۷۱ برابر میانگین غلظت مس در برگ بود. میانگین ضرایب انتقال عناصر کم مصرف در خاک‌های مختلف نشان داد که ضریب انتقال عناصر روی، مس، منگنز و آهن کل به ترتیب پس از آهن فعال قرار داشتند و دامنه این میانگین ضرایب انتقال برای عناصر کم مصرف از ۰/۰۵ تا ۱/۲۷ متغیر بود(شکل۵).

بر اساس نتایج این پژوهش، بین قابلیت استفاده منگنز در خاک با غلظت آن در ریشه و برگ و همچنین بین غلظت منگنز در ریشه با غلظت آن در برگ رابطه معنی‌داری وجود ندارد و بر اساس نتایج این پژوهش می-توان نتیجه‌گیری کرد که کمبود منگنز در برگ درختان مرکبات شمال کشور، به علت کمبود منگنز در خاک نیست بلکه ناشی از انتقال منگنز از ریشه به اندام هوایی است که با وجود غلظت زیاد منگنز در خاک و ریشه، غلظت منگنز برگ در همه خاک‌ها در دامنه کمبود قرار داشت که با گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹ و۱۴۰۱) مطابقت دارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های اسدی و همکاران (۱۳۸۱)، اسدی و محمودی (۱۳۷۹)، خویی (۱۳۶۰) و بی نام (۱۳۵۳) مطابقت دارد که گزارش کردند اغلب مرکبات منطقه شرق مازندران کمبود پنهان و آشکار منگنز دارند. نتایج پژوهش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶) نشان داد که با وجود این که مقدار منگنز قابل استفاده در همه خاک‌های آزمایشی بیشر از حد مطلوب بود اما غلظت منگنز در برگ اغلب درختان کمتر از حد بهینه بود، این شرایط در مطالعات میدانی در خاک های تحت کشت مرکبات در شرق مازندران نیز گزارش شده است (طهرانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). همچنین نتایج این آزمایش با نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۶، ۱۳۹۹ و۱۴۰۱) مطابقت دارد که اظهار داشتند میانگین غلظت منگنز در ریشه نارنگی انشو میاگاوا با پایه‌های سوینگل‌سیترومیلو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج و سی ۳۵ در خاک‌های مختلف بسیار بیشتر از غلظت آن در برگ است. برخی گزارش‌ها (سریواستاوا و سینک، ۲۰۰۲؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ ایزدپناه، ۱۳۵۵) نشان داده است که کمبود منگنز اغلب در خاک‌های کم عمق با مواد آلی زیاد که بالای خاک‌های آهکی قرار دارند (مانند برخی خاک‌های دشت‌های مرتفع، دشت‌های دامنه‌ایی و مخروطه افکنه‌های اراضی بخش‌های جنوبی مازندران که تبدیل به باغ شده‌اند)، خاک‌های رسی و سیلتی رسوبی و همچنین خاک‌های اراضی پست با آهک زیاد (مانند برخی خاک‌های مناطق میانه و شرق مازندران و همچنین خاک هایی که زمانی آب‌بندان بوده‌اند) و خاک‌های آهکی با مواد آلی زیاد و زهکشی ضعیف (بیشتر خاک‌های اراضی پست بین رودخانه‌ای در شرق مازندران) مشاهده می‌شود. نتایج مطالعات شبکه‌ای خاک‌های مازندران نیز نشان می دهد مقدار منگنز قابل استفاده، در خاک بیشتر باغ‌های مرکبات بیش از حد کفایت است. ولی در مقابل، غلظت منگنز در برگ اکثر این باغ‌ها کمتر از حد کفایت می‌باشد و علائم کمبود آن در اکثر باغ‌ها به وضوح مشاهده می شود. همچنین اسدی کنگرشاهی و محمودی (۱۳۷۹) گزارش کردند که غلظت منگنز در برگ حدود ۶۰ درصد باغ‌های مرکبات منطقه شرق مازندران در دامنه کمبود قرار دارد و آن را به عنوان یکی از عوامل محدود کننده تولید در منطقه ذکر کردند.

به طور کلی در بسیاری از باغ‌های مرکبات در خاک‌های اسیدی، خاک‌های دارای تنش مانداب یا خاک-های با آهک کم، علائم کمبود روی موقتی است و بیشتر در برگ‌های سرشاخه‌های رشدی اوایل فصل ظاهر می-شود و به تدریج با گرم شدن هوا و بدون اعمال تیمار

مصرف روی رفع می‌شود. اما کمبود پایدار روی در باغ-های با خاک‌های اسیدی با آهن زیاد و خاک‌های با بافت سنگین با تنش مانداب و خاک‌های با آهک زیاد نیاز به مصرف کودهای روی برای رفع علائم کمبود می‌باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ سریواستاوا و سینک، ۲۰۰۲). قابلیت فراهمی روی در خاک تحت تأثیر خواص شیمیایی خاک است در خاک‌های با پ‌هاش بالا رابطه بین مقدار روی خاک با روی برگ درختان بسیار ضعیف است (سلاتو و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به حد کفایت روی قابل استفاده برای مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)، در این آزمایش مقدار روی قابل استفاده در خاک های ۳، ۴و ۵ به ترتیب با آهک ۱۴، ۳۰ و ۴۰ درصد کمتر از حد کفایت، در خاک‌های ۶ و ۷ به ترتیب با آهک ۲۵ و ۴۵ درصد در حد کفایت و در خاک‌های ۱ و ۲ به ترتیب با آهک ۲ و ۹ درصد بیش از حد کفایت بود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۴). نتایج این آزمایش نشان داد که غلظت روی برگ در خاک یک با بافت لوم و آهک دو درصد و خاک ۷ با بافت لوم و آهک ۴۵ درصد در حد کفایت و در سایر خاک‌ها کمتر از حد کفایت است که نشان می‌دهد ارتباط معنی‌داری بین مقدار روی قابل استفاده خاک و غلظت روی در برگ درختان در این آزمایش وجود ندارد.

جدول ۶- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

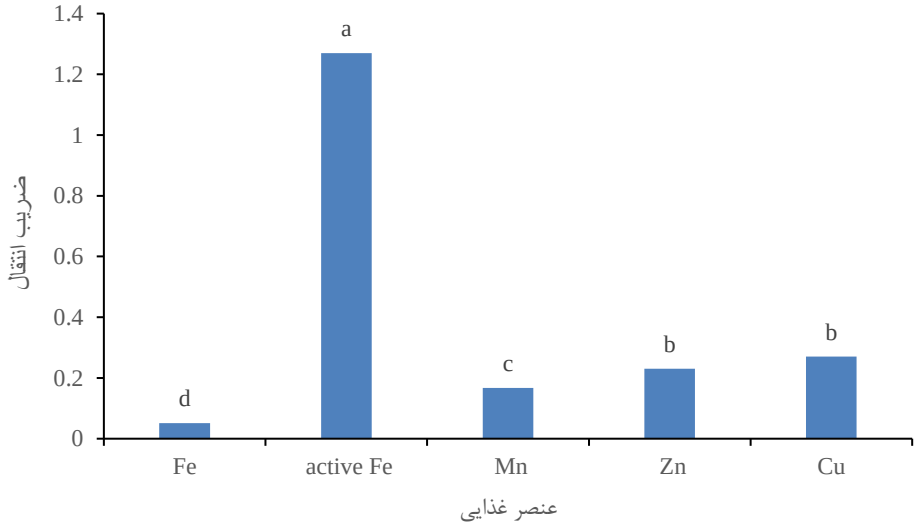
خاک	غلظت عناصر کم مصرف در برگ (میلی‌گرم برکیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
۱	۱۴۳a	۵۴a	۸/۴c	۲۶a	۵/۸c
۲	۹۳bc	۵۲a	۶/۶c	۲۳b	۶/۵b
۳	۱۲۱b	۴۴b	۹/۶bc	۲۳b	۶/۶b
۴	۸۱c	۴۴b	۲۳/۵a	۲۲b	۳/۶d
۵	۸۲c	۴۲b	۱۱bc	۱۸c	۵/۷c
۶	۱۰۹bc	۴۴b	۱۴/۲b	۱۸c	۶/۸b
۷	۱۱۵b	۲۹c	۲۰/۸a	۲۵a	۸/۳a
میانگین	۱۰۶	۴۴	۱۳/۴	۲۲	۶/۱۹

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۷- میانگین غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم برکیلوگرم) در ریشه نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو در خاک‌های مختلف

خاک	غلظت عناصر کم مصرف در ریشه (میلی‌گرم در کیلوگرم بر اساس وزن خشک)*				
	آهن	آهن فعال	منگنز	روی	مس
۱	۲۳۸۸b	۳۶bc	۸۱bc	۱۱۷b	۳۲a
۲	۲۹۳۶a	۲۷c	۷۸c	۱۲۱ab	۳۷a
۳	۲۴۳۰b	۴۱b	۷۴c	۶۳d	۱۹b
۴	۲۰۰۲c	۴۵b	۹۹a	۷۹c	۱۷b
۵	۲۰۱۶c	۵۶a	۹۲a	۱۳۸a	۱۹b
۶	۱۶۱۱d	۲۵c	۷۵c	۸۲c	۲۱b
۷	۱۰۳۷e	۱۲d	۶۳d	۸۲c	۱۶b
میانگین	۲۰۶۰	۳۴/۷	۸۰/۳	۹۷	۲۳

*. میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

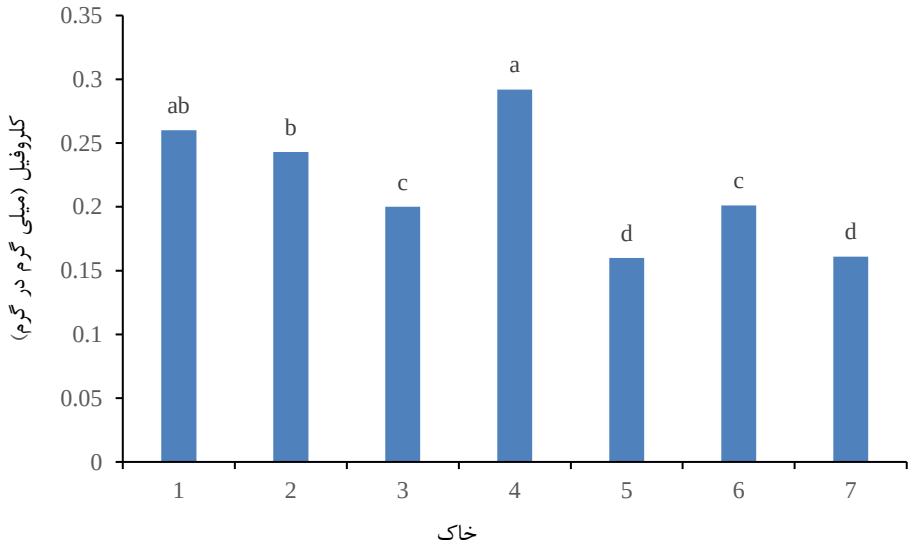


شکل ۵- میانگین ضریب انتقال عناصرکم مصرف از ریشه به اندام هوایی نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

کلروفیل برگ

نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین غلظت کلروفیل برگ نشان داد که بیشترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک چهار حاصل شد و کمترین میانگین غلظت کلروفیل از خاک هفت به دست آمد. میانگین غلظت کلروفیل در خاک‌های یک، دو، سه و شش به ترتیب پس از خاک دو قرار گرفتند (شکل۶). به طور کلی گزارش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۴۰۱) نشان داد که با افزایش کربنات کلسیم فعال خاک، میانگین غلظت آهن فعال برگ‌ها کاهش یافت و با کاهش میانگین غلظت آهن فعال برگ، میانگین غلظت کلروفیل برگ‌ها کاهش نشان داد. اما نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت کلروفیل در برگها، تنها به غلظت آهن فعال بستگی ندارد بلکه به عوامل دیگر از جمله غلظت منگنز و روی نیز بستگی دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های گذشته مطابقت دارد که گزارش کردند کمبود این عناصر (آهن، منگنز و روی) بر بیوشیمی، مورفولوژی و فیزیولوژی برگ درختان مرکبات تاثیر دارد و هر یک از این عناصر در بیوسنتز و فعال سازی بسیاری از آنزیم‌ها موثر هستند که برخی از این آنزیم‌ها در بیوسنتز کلروفیل نقش اساسی دارند (لاربی و همکاران، ۲۰۰۶؛ منگل، ۱۹۹۵). بنابراین کمبود این عناصر می‌تواند موجب کاهش غلظت کلروفیل برگ می‌شود (مارتینز و همکاران، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷). مهمترین علت کمبود آهن، منگنز و روی در خاک‌های آهکی، زیادی یون بی‌کربنات می‌باشد که موجب افزایش پ‌هاش خاک و کاهش قابلیت استفاده این عناصر در خاک و ریشه می‌شود (پستانا و همکاران، ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵). به طور کلی کمبود آهن، منگنز و روی می‌تواند موجب کاهش رشد رویشی و تعداد سرشاخه‌های و همچنین کاهش غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها شود که با کلروز و زرد شدن نوک برگ‌ها شروع می‌شود و تا زرد شدن کل سر شاخه‌های جدید ادامه پیدا می‌کند و موجب چندین خسارت بیوشیمیایی و ریزساختاری می شود که مانند دیگر تنش‌های زنده و غیر زنده، تولید گونه های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد. تولید این گونه‌های اکسیژن فعال پیامد تغییر در زنجیره انتقال الکترون، خسارت فراساختاری به کلروپلاست‌ها و کاهش بیوسنتز کاروتنوئیدها می‌شود (ماتینز و همکاران، ۲۰۱۷؛ منگل، ۲۰۰۱).



شکل ۶- میانگین غلظت کلروفیل کل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

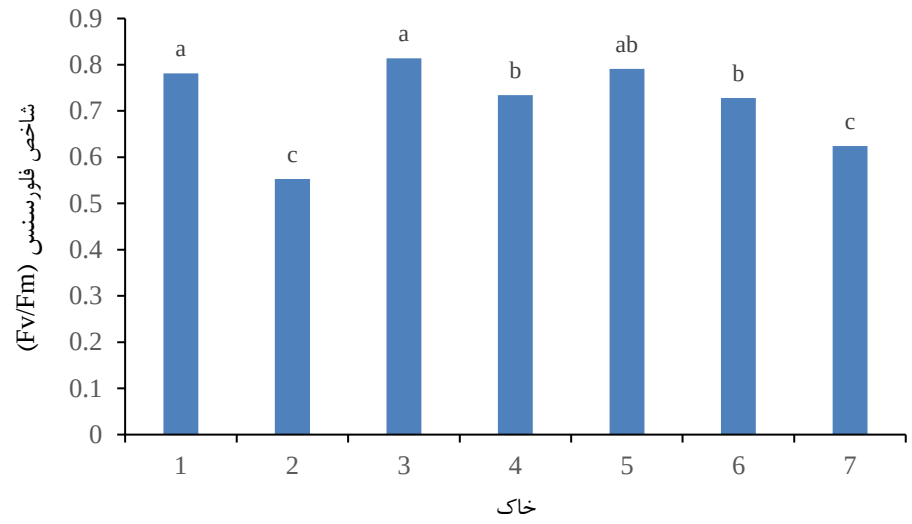
(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

نتایج اثر خاک‌های مختلف بر میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل نارنگی انشو با پایه گوتو نشان داد که در خاک های یک، دو و سه بیشترین شاخص فلورسنس کلروفیل داشت اما در مقابل در خاک دو و هفت کمترین شاخص فلورسنس را داشت بنابراین نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص فلورسنس کلروفیل در این پایه به طور معنی‌داری تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد (شکل۷). شاخص فلورسنس کلروفیل(Fv/Fm)، یک شاخص حساسیت برای راندمان عملکرد دستگاه فتوسنتزی است و نشر فلورسنس کلروفیل با فتوسنتز رابطه معکوس دارد و تحت شرایط تنش، تولید گرما در بافت‌های گیاهی (برای اتلاف زیادی انرژی) افزایش می‌یابد. اگر چه در برخی موارد، در مراحل اولیه تنش نشر فلورسنس ممکن است به طور موقت کاهش (افزایش موقتی شاخص فلورسنس) یابد. اما همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد، این تعادل که الگوی واقعی پایش فلورسنس کلروفیل را در تنش‌های مختلف تعیین می‌کند (سالسبری و روس، ۱۹۹۲.

به طور کلی، انرژی نور که توسط مولکول‌های کلروفیل جذب می‌شود، به سه شکل می‌تواند مصرف شود. قسمت عمده آن به فرآیندهای فتوشیمیایی فتوسنتز وارد شده و بقیه به گرما یا نشر مجدد نور (فلورسنس کلروفیل) تبدیل می‌شود. همواره این سه شکل با هم در ارتباط بوده و افزایش یکی، موجب کاهش دیگری می‌شود. بنابراین، تغییر در فلورسنس کلروفیل می‌تواند نشانگر تغییر در فرآیندهای فتوشیمیایی و اتلاف گرما باشد (منویکس و همکاران، ۱۹۹۰). پس از سازگاری کلروپلاست‌ها (برگ ها) با تاریکی، ذخایر بینابین اکسیداسیون و احیای مسیر انتقال الکترون به وضعیت اکسید شده بر می‌گردد و بعد از در معرض نور قرار گرفتن برگ‌های با تاریکی سازگار شده، افزایشی سریع در نشر فلورسنت دستگاه نوری II ایجاد می‌شود. این افزایش، پیامد کاهش پذیرنده‌های الکترون (کوئینون و پلاستوکوئینون) در مسیر فتوسنتز می باشد. هر بار که دستگاه نوری II، نور جذب می‌کند و پذیرنده‌های اولیه الکترون، الکترون قبول می‌کنند، تا زمانی که آنها را به حامل‌های بعدی انتقال ندهند قادر به پذیرش مجدد انرژی و الکترون نخواهند بود. لذا در طول این مدت، این مراکز واکنش غیر فعال یا بسته خواهند بود، بنابراین، به طور کلی در هر لحظه از زمان، حضور تعدادی از مراکز واکنش بسته شده منجر به یک کاهش در راندمان فتوشیمیایی و متناسب با آن عملکرد فلورسنس افزایش

می‌یابد. با انتقال برگ‌ها از تاریکی به نور، مراکز واکنش دستگاه نوری II به طور فزاینده شروع به بسته شدن، می کنند که ابتدا موجب افزایش در عملکرد فلورسنس کلروفیل، و سپس فلورسنس شروع به کاهش مجدد می کند (که به Fluorescence quenching معروف است). افزایش اولیه فلورسنس در حضور نور، به علت افزایش در انتقال الکترون‌ها از دستگاه نوری II می‌باشد (که به photochemical quenching معروف است). افزایش انتقال الکترون‌ها نیز به طور عمده به علت فعال سازی آنزیم‌ها در حضور نور، و نقش این آنزیم‌ها در متابولیسم کربن و باز شدن روزنه‌ها است. هم زمان با افزایش انتقال الکترون‌ها، افزایشی در تبدیل انرژی به گرما نیز ایجاد می شود (که به Non-photochemical quenching معروف است). بنابراین همواره یک تعادل نسبی بین سه مکانیسم عمده مصرف و اتلاف انرژی (فتوسنتز، تولید گرما و نشر فلورسنس کلروفیل) وجود دارد و با پایش یکی از آنها می‌توان راندمان عملکرد دیگر مکانیسم‌ها را ارزیابی کرد (هبر و همکاران، ۲۰۰۱). در اثر تنش میزان کلروفیل مرکبات (محتوی کلروفیل یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است) کاهش می‌یابد و این کاهش در ارقام حساس به تنش بیشتر است و کاهش کلروفیل به علت افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در اثر تنش است که باعث پراکسیداسیون این رنگیزه‌ها و در نتیجه تجزیه آنها می‌گردد (گیبس و گرینوی، ۲۰۰۳). همچنین در شرایط تنش، تثبت دی اکسید کربن و فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش فتوسنتز (مکانیسم عمده مصرف انرژی)، نشر فلورسنس کلروفیل و تولید گرما(مکانیسم‌های اتلاف انرژی) افزایش می‌یابد. لذا با سنجش فلورسنس کلروفیل بعد از سازگاری تاریکی، می‌توان تغییرات نشر فلورسنس را اندازه‌گیری کرد، که شاخصی بسیار حساس برای تغییرات در دستگاه فتوسنتزی است. بنابراین، فلورسنس کلروفیل تغییرات در سلامت و عملکرد فرآیند فتوسنتزی که شامل واکنش‌های اکسیداسیون آب، جداسازی بار، انتقال الکترون، توسعه شیب الکتروشیمیایی، چرخه گزانتوفیل و pH تیلاکوئیدها می‌باشد، را به خوبی نشان می‌دهد (آربنا و همکاران، ۲۰۰۹).

بنابراین بر اساس نتایج این تحقیق، شاخص فلورسنس کلروفیل به طور معنی‌داری تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد که با نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی و همکاران (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۲) مطابقت دارد که گزارش کردند بین مقدار سیلت، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مختلف و مقدار شاخص فلورسنس کلروفیل درختان مرکبات ارتباط معنی‌داری وجود دارد و با افزایش سیلت و کربن آلی خاک شاخص فلورسنس افزایش می‌یابد اما با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ابتدا شاخص فلورسنس افزایش و سپس کاهش می‌یابد. شاخص فلورسنس کلروفیل مطلوب درختان نارنگی انشو در خاک‌های مختلف به طور متوسط حدود ۰/۷۲ است و اعداد کمتر از آن را نشان دهنده وجود تنش در این درختان است، همچنین گزارش‌های دیگر پژوهشگران عدد مناسب شاخص فلورسنس کلروفیل (Fv/Fm)، برای بیشتر گونه های گیاهی حدود ۰/۸۳ گزارش کرده‌اند و اعداد کمتر از آن را نشان دهنده وجود تنش در آن گیاهان می‌دانستند (بلخجا و همکاران، ۱۹۹۴؛ بلخجا و مینگ، ۱۹۸۷). بنابراین می‌توان نیتجه گرفت که نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک دو و هفت، کمترین شاخص و از بیشترین تنش برخوردار بودند.



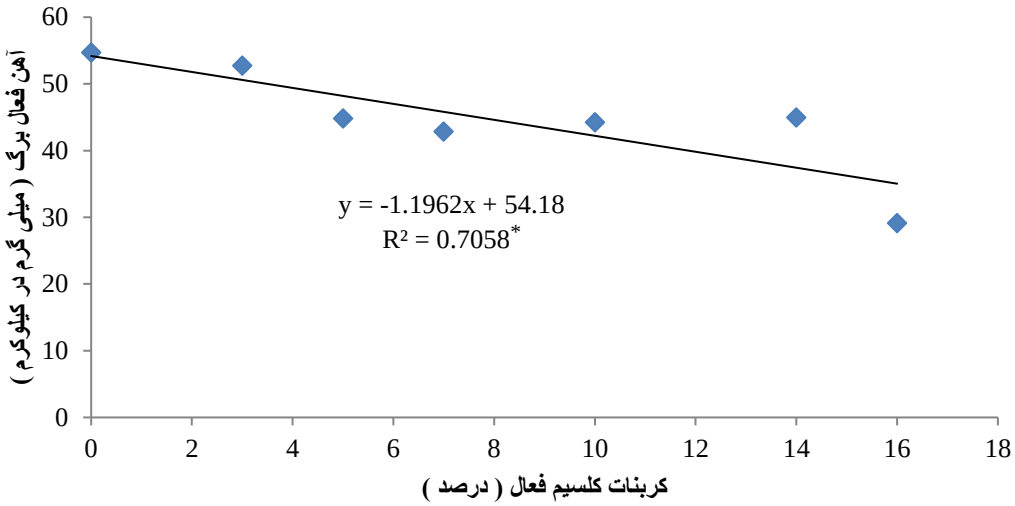
شکل ۷- میانگین شاخص فلورسنس کلروفیل برگ نهال‌های نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو

(میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

رابطه آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال برگ

نتایج این پژوهش نشان داد بین آهک فعال خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو، همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد و با افزایش آهک فعال خاک‌ها، غلظت آهن فعال برگ کاهش یافت (شکل۸). به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود کاهش غلظت آهن فعال برگ در نهال‌ها، علائم زرد برگی (کلروز) در همه خاک‌های وجود نداشت (شکل۳). حد کفایت آهن قابل استفاده در خاک (با عصاره‌گیر DTPA) برای درختان مرکبات حدود ۴ تا ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). دامنه آهن قابل استفاده خاک‌های آزمایشی از ۴/۴۰ تا ۸/۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود بنابراین مقدار آهن قابل استفاده در همه خاک‌ها بیشتر از حد کفایت است. در خاک‌های یک و دو که آهن قابل استفاده آن‌ها به ترتیب ۷/۲۰ و ۶/۴۰ میلی گرم در کیلوگرم بود، غلظت آهن فعال در برگ آنها به ترتیب ۵۴ و ۵۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود اما در خاک‌های هفت که آهن قابل استفاده آن۶/۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود غلظت آهن فعال در برگ ۲۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. لذا غلظت آهن فعال در برگ نارنگی انشو میاگاوا با پایه گوتو به عواملی دیگر غیر از مقدار آهن قابل استفاده خاک بستگی دارد. بافت خاک، آهک خاک، بی‌کربنات محلول خاک، ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی خاک نیز از عوامل اصلی کنترل کننده غلظت آهن در محلول خاک و غلظت آهن فعال در برگ هستند که نقش زیادی در فراهمی آهن برای درختان در خاک‌های آهکی دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۹). اما نتایج این تحقیق نشان داد که تنها بین مقدار آهک فعال با غلظت آهن فعال در برگ همبستگی منفی معنی‌داری (شکل۸) وجود داشت و بین سایر ویژگی خاک‌ها و غلظت آهن فعال برگ رابطه معنی‌داری حاصل نشد. لذا مقدار آهک فعال مهمترین ویژگی خاکی برای پیش‌بینی غلظت آهن فعال برای پایه گوتو است. بنابراین در کل نتایج این تحقیق نشان داد که درختان نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های آهکی با دامنه آهک از ۲ تا ۴۰ درصد علائم زرد برگی ناشی از آهک نشان نداشتند اما در خاک هفت که آهک خاک حدود ۴۵ درصد بود رنگ برگ‌ها سبز کم رنگ بود و علائم کلروز خفیفی داشت و غلظت آهن فعال در خاک هفت از کاهش معنی‌داری برخوردار بود. بنابراین غلظت آهن فعال و علایم برگی در این پایه تحت تاثیر ویژگی‌های خاک قرار گرفت به طوری که با

افزایش آهک فعال خاک، غلظت آهن فعال برگ‌ها نیز کاهش یافت (شکل۸). علایم برگی نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو در شکل ۹ آورده شده است.



شکل۸- رابطه بین کربنات کلسیم فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ نهال‌های نارنگی انشو با پایه گوتو

شکل ۹- علائم زردی برگی نارنگی انشو با پایه گوتو در خاک‌های آهکی
(ویژگی خاک‌ها در جدول ۱ تعریف شده است)

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که ویژگی-های فیزیکی و شیمیایی خاک، تاثیر زیادی در پاسخ‌های تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه گوتو دارد. به طوری که بیشترین میانگین وزن خشک اندام هوایی از خاک‌های با آهک کل ۳۰ درصد حاصل شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش آهک فعال در خاک‌ها، غلظت آهن فعال در برگ نهال‌ها کاهش یافت همچنین درجه زردی برگ نهال‌های روی این پایه در خاک‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند و علایم برگی در نهال‌های روی این پایه به ویژه در خاک دو مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، که شاخص زرد برگی نهال‌ها در خاک‌های مختلف تفاوت معنی‌داری با هم داشتند این پایه نسبتا متحمل به آهک خاک است و به باغداران توصیه می‌شود در خاک‌های آهکی (خاک‌های با آهک کم، متوسط و زیاد) از این پایه به عنوان پایه جایگزین برای نارنج در احداث باغ استفاده کنند اما در خاک‌های آهکی (با آهک خیلی زیاد) و همچنین در خاک‌های مستعد کمبود منگنز (که احتمال ظهور علائم کمبود منگنز وجود دارد) استفاده از این پایه توصیه نمی-شود.

فهرست منابع

۱. اخلاقی امیری. نگین. ۱۳۹۹. شاخص‌های عملکردی نارنگی انشو میاگاوا روی شش پایه در شرق مازندران. مجله علوم باغبانی ایران، جلد ۵۲، شماره ۲، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۴۰۱. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه کاریزوسیترنج در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۶، شماره ۱، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۳. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۸. مدیریت کوددهی درختان بارده مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۴. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۸. بررسی وضعیت مدیریت منگنز متناسب با مراحل رشد و تاثیر آن بر عملکرد و کیفیت مرکبات شرق مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۹ شماره ۵، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۵. اسدی کنگرشاهی، ع. ۱۳۹۷. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و تحمل ترویرسیترنج به خاک‌های آهکی. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، جلد ۹ شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۶. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. ۱۳۹۹. بررسی مقدار رشد و ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی نارنگی انشو با پایه سی-۳۵ در چند خاک آهکی . مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۲، شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۷. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۷. مدیریت احداث باغ پایدار مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۸. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و علیرضا فلاح. ۱۳۹۷. راهنمای نمونه‌برداری و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ برای درختان مرکبات. نشریه فنی ۵۶۱، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۹. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن اخلاقی امیری. ۱۳۹۶. روند رشد، واکنش تغذیه‌ای و درجه زرد برگی نارنگی انشو به پایه سوینگل سیترواملو در در برخی خاک‌های آهکی مازندران. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۳۱، شماره ۲، موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۱۰. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۴. بررسی شاخص درجه زردی پایه‌های مختلف مرکبات در خاک‌های آهکی شرق مازندران. چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، کرمان، ایران.

۱۱. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۳. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات. جلد اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران.

۱۲. اسدی کنگرشاهی، ع.، غ.ر. ثواقبی، م. سمر و م. فرحبخش. ۱۳۹۲. امکان استفاده از فلورسنس کلروفیل برای ارزیابی تحمل تعدادی از پایه‌های مرکبات به تنش ماتداب. مجله به زراعی کشاورزی، جلد ۱۵، شماره ۴، دانشگاه تهران، تهران، ایران،صفحه ۷۸– ۶۵.

۱۳. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و م. ج. ملکوتی. ۱۳۹۰. تاثیر مصرف چهار ساله روی بر عملکرد و کیفیت پرتقال سانگین. مجله علوم خاک و آب. جلد ۴۲، شماره ۱، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۱۴. اسدی کنگرشاهی، ع. و م. محمودی. ۱۳۷۹. ضرورت مصرف عناصر روی و منگنز در باغ‌های مرکبات شرق مازندران. مجله علمی پژوهش خاک و آب (ویژه نامه باغبانی)، موسسه تحقیقات خاک و آب. جلد ۱۲ شماره ۸ تهران، ایران.

۱۵. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری، م. محمودی و م. جعفر ملکوتی. ۱۳۸۱. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در مرکبات مازندران (محدودیت‌ها و توصیه‌ها): قسمت دوم ـ عناصر ریزمغذی. نشریه فنی شماره ۲۶۹. نشر آموزش کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.

۱۶. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و محمود سمر . ۱۳۹۴. شاخص درجه زردی و آهن فعال برای ارزیابی تحمل برخی پایه‌های مرکبات به آهک خاک. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران.

۱۷. ایزدپناه، ب. ۱۳۵۵. مطالعات نیمه تفضیلی و اجمالی خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی استان مازندران. نشریه شماره۴۹۲. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، تهران، ایران.

۱۸. بی نام. ۱۳۵۳. گزارش های پژوهشی اداره حاصلخیزی و خاکشناسی مازندران. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۱۹. خویی، س. ۱۳۶۰. بررسی وضعیت تغذیه گیاهی مرکبات شرق مازندران. نشریه شماره ۶۴۸، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.

۲۰. طهرانی، م. م.، م. پسندیده و م. ح. داودی. ۱۳۹۰. تعیین پراکنش و توصیه عناصر کم مصرف در اراضی تحت کشت آبی استان های گیلان، مازندران، همدان، کرمانشاه، آذربایجان غربی و اصفهان. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. نشریه شماره ۱۶۱۸. ۳۰ صفحه. ایران.

21. Abadia, J. and A. Abadia. 1993. Iron and plant pigments. In: Barton, L.L. & Hemming, B.C., eds. Iron chelation in plants and soil microorganisms. New York, Academic Press, 327-343.
22. Alcantara, E., I. Montilla, P. Ramirez, P. Garcia-Molina and F.J. Romera. 2012. Evaluation of quince clones for tolerace to iron chlorosis on calcareous soil under field conditions. Scientia Horti. 138: 50 – 54.
23. Arbona, V., M.F. Lopez-Climent, R.M. Perez-Clement and A. Gomez-Cadenas. 2009. Maintenance of a high photosynthetic performance is linked to flooding tolerance in citrus. Environmental and Experimental Botany. 66: 135 – 142.
24. Basar, H. 2003. Analytical methods for evaluating chlorosis in peach trees. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 34: 327-341.
25. Bashour, I. and A.A. Sayegh. 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
26. Barrett, H.C. and A.M. Rhodes. 1976. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated citrus and its close relatives. System. Bot. 1(2): 105-136.
27. Belkhodja, R., F. Morales, A. Abadia, J. Gomes and J. Abadia. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley (Hordeum vulgare L.). Plant Physiol. 104: 667-673.
28. Belkhodja, R., F. Morales, A. Abadia, J. Gomes and J. Abadia. 1994. Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in Barley (Hordeum vulgare L.). Plant Physiol. 104: 667-673.
29. Bjorkman, O. and B. Demming. 1987. Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fluorescence at 77K among vascular plants of diverse origins. Planta. 170: 489-504.
30. Boman, B.J., T.A. Obreza and K.T. Morgan. 2008. Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
31. Bowman, K.D. and J. Joubert. 2020. Citrus Rootstocks. In: Talon, M., Caruso, M. and Gmitter, F.G. (Eds), The Genus Citrus. Woodhead Publishing. pp. 105-127..
32. Bremmer, J.M. 1996. Total Nitrogen. P.1085-1122. In: D. L. Sparks et al. (eds.) Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI.
33. Byrne, D.H., R.E. Rouse and J. Sudahono. 1995. Tolerance to citrus rootstocks to lime-induced iron chlorosis. Subtrop. Plant Science. 47: 7 – 11.
34. Castle, W.S. 1987. Citrus rootstocks. P. 361-399. In: R.C. Rom and R. F. Carlson (eds.). Rootstocks for fruit crops. J.Wiley and Sons, NY.
35. Castle, W.S, R.R. Pelos, C.O. Youtsey, F.G. Gmitter, R.F. Lee, C.A. Ppwell, X. Hu. 1992. Rootstocks similar to sour orange for Florida citrus trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 105: 56-60.
36. Castle, W.S. and J. Nunnallee. 2009. Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. HortScience. 44: 638-645.

37. Castle, W.S., J.C. Baldwin and R.P. Muraro. 2010. Rootstocks and the performance and economic returns of' 'Hamlin' sweet orange trees. HortScience.45: 875-881.
38. Fadl, A., M. El-Otmani, M.C. Benismail, A. Abouatallah and E. Jaouhari. 2008. Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. Proceeding of The 11th International Society of Citriculture. pp. 573 – 578.
39. Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. P. 383 – 411. In: A. Klute, (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1. SSSA, Madison, WI.
40. Gibbs, J. and H. Greenway. 2003. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. Functional Plant Biology. 30: 1-47.
41. Gora, J.S., C. Ram, P.K. Poonia, M. Choudhary and S.M. Haldhar. 2022. Polyploid rootstocks in citrus for mitigation of biotic and abiotic stresses: A review. Journal of Agriculture and Ecology. Vol. 13:1-20.
42. Heber, U., N.G. Bukhov, V.A. Shuvalov, Y. Kobayashi and O.L. Lange. 2001. Protection of the photosynthetic apparatus against damage by excessive illumination in homoiohydric leaves and poikilohydric mosses and lichens. Journal of Experimental Botany. 52: 1999-2006.
43. Hodgson, R.W. 1967. Horticultural varieties of citrus. P. 431-591. In: W. Reuther, H.J. Webber, and L. D. Batchelor (eds.). The citrus industry, vol. I. University of California Press, Berkeley.
44. Ibrahim, A.S. 2020. Growth and Yield of orange (Washington Navel) grafted on different citrus rootstocks. Agricultural Science and Technology. 12: 247-254.
45. Jones, J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. Plant Analysis Handbook: A Practical Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation Guide. Macro-Micro Pub. Inc., Athens, GA.
46. Kitson, R.E. and M.G. Mellon. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadate phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 16: 379-383.
47. Larbi, A., A. Abadia, J. Abadia and M. Morales. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environment. Photosynth. Res. 89: 113-126.
48. Lindsay, W.L. and W.A. Norvel. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
49. Loeppert, R.H., L.C. Wei and W.R. Ocumpaugh. 1994. Soil factors influencing the mobilization of iron in calcareous soils. In: Manthey, J.A., Crowley, D.A., Luster, D.G. (Eds.), Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere. Lewis Publishers. Boca Raton. PP. 343 – 360.
50. Louzada, E.S., H.S. Rio, M. Setamou, J.W. Watson and D.M. Swietlik. 2008. Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. *Euhytica*. 164: 13 – 18.
51. Martinez-Cuenca, M.R., M.A. Forner-Giner, D.J. Iglesias, E. Primo-Millo and F. Legaz. 2013. StrategyI responses to Fe-deficiency of two Citrus rootstocks differing in their tolerance to ironchlorosis. Scientia Horticulturae 153:56–63.
52. Martinez-Guenca, M.R., A. Primo-Capella, A. Quinones, A. Bermejo and M.A. Froner-Giner. 2017. Rootstock influence on iron uptake responses in citrus leaves and their regulation under the Fe paradox effect. Peer J. 5:e3553 https://doi.org/10.7717/peerj.3553

53. Maxwell K and Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence: a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51: 659-668.
54. Mclean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P. 199- 224. In: A.L. Page et al. (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. SSSA. Madison, WI.
55. Mengel, K. and E. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
56. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soils, in: J. Abadia (Ed.), *Iron Nutrition in Soils and Plant*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 389-397.
57. Monneveux, P., M.E. Mekkaoui and X. Xu. 1990. Physiological basis of salt tolerance in wheat. Chlorophyll fluorescence as a new tool for screening tolerant genotypes. In: Wheet Breeding Prospects and Future Approaches. Varna, Bulgaria, pp. 1-33.
58. Mishra, A., K.B. Mishra, H. Hoermiller, A.G. Heyer and L. Nedbal. 2011. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in Arabidopis thaliana accession. Plant Signaling and Behavior. 6: 301-310.
59. Molassiotis, A., G. Tanoa, G. Diamantidis, A. Patakas and I. Therios. 2006. Effect of 4-month Fe deficiency exposure on Fe reduction mechanism, photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense in two peach rootstocks differing in Fe deficiency tolerance. J. Plant Physiol. 163: 176-186.
60. Morales, F., R. Grasa, A. Abadia and J. Abadia. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees, Journal of Plant Nutrition. 24: 815-825.
61. Neaman, A. and L. Aguirre. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. Journal Plant Nutrition. 30: 1098 – 1108.
62. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total cabon, organic carbon, and organic matter.P. 539 – 579. In: A.L. Page et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. 2th ed. ASA, SSSA, Madison, WI.
63. Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page et al., (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Monograph no 9. (pp. 403-430). Amrican Agronomy, Madison, WI.
64. Pestana, M., P.J. Correia, M. David, A. Abadia, J. Abadia and A. Varennes. 2011. Response of five citrus rootstocks to iron deficiency. J. Plant Nutr. And Soil Sci. 174: 837 – 846.
65. Pestana, M., M. David, A. de Varennes, J. Abadia and E. A. Faria. 2001. Responses of Newhall orange trees to iron deficiency in hydroponics: effects on leaf chlorophyll, photosynthetic efficiency and root ferric chelate reductase activity. Jounal of Plant Nutrition. 24: 1609-1620.
66. Pestana, M., A. de Varrnnes, J. Abadia and E. Araujo Faria. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. Scientia Horticulturae. 104: 25 – 36.
67. Qrtiz, P.R., B.J.C. Meza, F.R. Garza Requena, G.M. Flores and J.D. Etchevers Barra. 2007. Evaluation of different iron compound in chlorotic Italian lemon. Plant Physiology and Biochemistry. 45: 330-334.
68. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation in leaves as a secondary eventin Fe deficiency chlorosis. Journal of Plant Nutrition.23:1629–1643.

69. Salisbury, F.B. and C.W Ross. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. 682 pp.
70. Sallato, B., T. DuPont and D. Granatstein. 2018. Tree fruit soil fertility and plant nutrition in cropping orchards in central Washington. WSU Extension.
71. Schneider, A.1997. Release and fixation of potassium by a loamy soil as affected by initial water content and potassium status of soil samoles.European Journal of Soil Science. 48: 263 – 271.
72. Singh. A., S. Naqvi and S. Singh. 2002. Citrus Germplasm Cultivar and Rootstocks. Natural Research Centre for Citrus, Kalyani publishers. New Delhi, India.
73. Srivastava, A.K. and S. Singh. 2003. Citrus nutrition. International Book Distributing Co. (IBDC). India.
74. Tagliavini, M. and A.D. Rombola. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. Eur. J. Agron. 15: 71– 92.
75. Wright, R.J. and T.I. Stuczynski. 1996. Atomic absorption and flame emission spectroscopy. In: Methods of Soil Analysis. Sparks, D.L. (Ed.), Part III, Chemical Methods, SSSA Book Series No.5, SSSA, Madison, WI. P. 65–91.
76. Yang, L., G. Li, Q. Lin and X. Zhao. 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands. Ecology Environmental Science. 19: 428 – 432.