

شاخص درجه زردی و آهن فعال برای ارزیابی تحمل برخی پایه‌های مرکبات به آهک خاک

علی اسدی کنگرشاهی¹، نگین اخلاقی امیری و محمود سمر

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ kangarshahi@gmail.com

استادیار بخش علوم زراعی و باغی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران؛ neginakhlaghi@yahoo.com

دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب کشور؛ mahmoodsamar@hotmail.com

دریافت: 93/11/20 و پذیرش: 94/7/11

چکیده

در این پژوهش تحمل برخی پایه‌های مرکبات (نارنج، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی-35، گوتو و اسموت‌فلت‌سویل) به آهک کل و فعال به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در خاک‌های منطقه شرق مازندران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین وزن خشک از سوینگل‌سیتروملو و کمترین وزن خشک از نارنج، پایه معمول منطقه حاصل شد. همچنین نتایج میانگین درجه کلروز در این خاک‌ها نشان داد که سوینگل‌سیتروملو بیشترین درجه کلروز داشت و پایه‌های سی-35، کاریزوسیترنج، گوتو، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل و نارنج به ترتیب بعد از سیتروملو قرار داشتند و با افزایش آهک کل و فعال خاک، میانگین غلظت آهن فعال برگ پایه‌های مختلف کاهش یافت. به طور میانگین از آهن کل برگ‌ها، درصدی که به شکل آهن فعال بود بسیار بیشتر از ریشه‌ها بود. در مقابل میانگین غلظت آهن کل ریشه‌ها بیش از چندین برابر برگ‌ها بود و با افزایش آهک خاک‌ها، درصدی از آهن کل برگ که به شکل فعال بود کاهش نشان داد، اما در ریشه‌ها بر خلاف برگ‌ها، این درصد آهن فعال افزایش یافت. همچنین افزایش آهک فعال خاک، تأثیر معنی‌داری بر غلظت آهن فعال برگ نارنج و اسموت‌فلت‌سویل نداشت. در مقابل، غلظت آهن فعال برگ سوینگل‌سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی-35 و گوتو با افزایش آهک فعال کاهش یافت. لذا با توجه به شاخص درجه زردی برگ و شیب کاهش غلظت آهن فعال برگ به ازای هر واحد افزایش آهک فعال، نارنج و اسموت‌فلت‌سویل متحمل‌ترین و سوینگل‌سیتروملو حساس‌ترین پایه به آهک خاک بودند. پایه‌های گوتو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج و سی-35 از نظر حساسیت به ترتیب پس از سوینگل قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: ژنوتیپ مرکبات، آهک فعال، نارنج

¹ نویسنده مسئول، آدرس: ساری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، بخش تحقیقات خاک و آب

مقدمه

استان مازندران یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران است که مرکبات کشت عمده آن محسوب می‌شود. سطح زیر کشت مرکبات استان مازندران بالغ بر 120 هزار هکتار و میزان تولید آن بیش از دو میلیون تن در سال است. مطالعات خاکشناسی باغ‌های مرکبات مناطق شرق مازندران نشان می‌دهد که مقدار کربنات کلسیم معادل خاک باغ‌های این منطقه از میانه به طرف شرق، به تدریج افزایش می‌یابد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 2008 و 1393). از طرفی، پایه غالب باغ‌های مرکبات این منطقه نارنج می‌باشد (خویی، 1370) که حساس به ویروس تریستزای مرکبات است و استفاده از آن در بیشتر کشورها و همچنین شرق مازندران بسیار محدود شده است (کمرا و همکاران، 2000 و رحیمیان و همکاران، 2000).

در سال‌های اخیر شیوع بیماری ویروسی تریستزا و حساسیت پایه نارنج به این بیماری، صنعت مرکبات و به دنبال آن اقتصاد منطقه شرق مازندران را با تهدید مواجه کرده است و روند افزایش زوال مرکبات منطقه، هر سال تشدید می‌شود. بنابراین استفاده از پایه‌های متحمل به تریستزا مانند ترویرسیترینج، کاریزوسیترینج، سی-35 و سیتروملو در شرق مازندران به سرعت در حال گسترش است درحالی‌که، منابع مختلف خارجی نشان می‌دهد که این پایه‌ها به مقادیر بالای کربنات کلسیم خاک حساس است و بعد از چند سال، امکان زوال این پایه‌ها وجود دارد (رحیمیان و همکاران، 1379 و چولیارس و همکاران، 2004).

کلروز آهن در درختان میوه از جمله مرکبات به طور فراوان گزارش شده است (تنگلیاونی و رومبلا، 2001) کلروز شدید آهن، ممکن است منجر به توقف کامل باردهی محصول شود. بنابراین، کلروز آهن می‌تواند تأثیر معنی‌داری در کاهش اقتصاد باغدار داشته باشد، روش‌های مورد استفاده برای جلوگیری و رفع کلروز آهن معمولاً غیر قابل اطمینان و خیلی گران هستند مناسب‌ترین روش برای جلوگیری از کلروز آهن، انتخاب پایه مناسب در زمان احداث باغ است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393، چولیارس و همکاران، 2004 و کاسگارتن و همکاران، 1998). نتایج پژوهشی برای یافتن پایه جایگزین برای نارنج در خاک‌های آهکی تگزاس نشان داد که پایه‌های سی-35، کاریزوسیترینج، ترویرسیترینج، سوینگل سیتروملو و گوتو در 2 سال اول کاشت کلروز شدید آهن نشان دادند و نارنج کلروز خفیف نشان داد. پایه‌های سی-35، کاریزوسیترینج، سوینگل سیتروملو از بین رفتند. اما پایه‌های نارنج، گوتو و ترویرسیترینج ابتدا کلروز

خفیف نشان دادند سپس بهبود یافته و رشد مناسبی داشتند. بهبود پایه‌های گوتو و ترویرسیترینج کندتر از نارنج بود به طوری که بر تولید سال اول آنها تأثیر گذاشت (لوزدا، 2008).

درختان مرکبات روی بیشتر پایه‌های تجاری در خاک‌های با آهک زیاد، از عملکرد مناسبی برخوردار نمی‌باشند (کمپل، 1991، کاستل و همکاران، 2004، فرگوسن و همکاران، 1990 و ساگی و همکاران، 1992)، که عمدتاً به دلیل عدم توانایی در جذب کافی آهن است (مانتی و همکاران، 1994). از خصوصیات شیمیایی خاک که در قابلیت استفاده آهن برای گیاه اختلال ایجاد می‌کند، آهک نقش عمده‌ای دارد (لوپیرت و همکاران، 1994). بیشتر گزارش‌ها نشان می‌دهد که ارتباط مشخصی بین مقدار آهک معادل و شدت کلروز در درختان میوه وجود ندارد، (نیکولیک و رامهلد، 1999، باشور و سایه، 2007 و کاستل و نونالی، 2009). در مقابل برخی گزارش کرده‌اند آهک فعال برای درجه بندی حساسیت درختان میوه به کلروز مناسب‌تر می‌باشد (باشور و سایه، 2007 و کاستل و نونالی، 2009). همچنین مقدار و شکل آهک (کل و فعال) می‌تواند بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و پاسخ‌های گیاهی تأثیر زیادی داشته باشد، به طوری که برخی گزارش‌ها نشان داده است آهک معادل بیشتر از 20 درصد و یا آهک فعال بیشتر از 10 درصد موجب کاهش رشد و عملکرد بیشتر گیاهان می‌شود (باشور و سایه، 2007). همچنین کارتر (1981)، سطوح بحرانی آهک کل را 11 تا 30 درصد و برای آهک فعال 7 تا 9 درصد گزارش کرد. از طرف دیگر، بیشتر گزارش‌ها نشان می‌دهد که حساسیت پایه‌های مرکبات به عارضه زرد برگی آهن بسیار متفاوت است (کاستل و نونالی، 2009 و یانگ و همکاران، 2010). اغلب گونه‌های درختان میوه می‌توانند بر اساس سطحی از آهک فعال که شروع به توسعه علائم کلروز می‌کنند، رتبه بندی شوند، ژنوتیپ‌های خیلی حساس در سطوح آهک فعال کم‌تر از 0/5 درصد کلروز نشان می‌دهند، در مقابل بعضی ژنوتیپ‌ها قادرند آهک فعال 10 تا 15 درصد را نیز به خوبی تحمل کنند (تنگلیاونی و رومبلا، 2001).

به طور کلی مطالعات محدودی روی پایه‌های مناسب مرکبات برای خاک‌های آهکی، صورت گرفته است. برخی مطالعات نشان داده است که با افزایش کربنات کلسیم خاک به دو درصد، رشد رویشی گریپ‌فروت با پایه سیتروملو به شدت کاهش می‌یابد (کاستل و استور، 2001). در خاک‌های آهکی آریزونا نیز کاریزوسیترینج و سوینگل سیتروملو به علت زردی ناشی از

از ثابت پایداری بالایی برخوردار است، کمپلکس آهن (II) - فنانترولین رنگ نارنجی خاصی ایجاد می‌کند که شدت رنگ در طول موج 510 نانومتر قرائت شده و با استفاده از یک منحنی استاندارد (جذب در مقابل غلظت) غلظت آهن (II) محاسبه می‌گردد (کتیال و شارما، 1980). نتایج برخی تحقیقات گذشته نشان داده است که همبستگی خوبی بین آهن فعال و شدت عارضه زرد برگی وجود دارد، بنابراین می‌تواند یک روش مناسب برای تشخیص کمبود آهن باشد (نیامن و آگیری، 2007، تگلیاونی و همکاران، 2000 و رامهد، 2000).

نظر به این که، پیش‌بینی امکان توسعه کلروز آهن در زمان احداث باغ از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد اشتباه در این مرحله، امکان دست‌یابی به عملکرد مطلوب، بدون استفاده از روش‌های شیمیایی و مدیریت باغبانی برای بهبود کلروز آهن غیر ممکن و بعید می‌سازد (لویپرت و همکاران، 1994). بنابراین با توجه به وجود آهنک در خاک و روند افزایش آن از میانه به شرق مازندران (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393) انجام تحقیقاتی برای بررسی پاسخ پایه‌های مختلف به مقادیر مختلف آهنک، در این منطقه بسیار ضروری است. نظر به این که، نارنج پایه معمول و پایه‌های کاریزوسیترنج، سوینگل‌سیتروملو، ترویرسیترنج، سی-35، اسموت‌فلت‌سویل و گوتو در صنعت مرکبات شمال به سرعت در حال گسترش هستند و تاکنون پژوهشی مدون در این زمینه در مازندران و حتی در کشور انجام نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر به ارزیابی تحمل پایه‌های مختلف مرکبات به آهنک خاک با استفاده از شاخص درجه زردی و غلظت آهن فعال برگ در برخی خاک‌های منطقه اختصاص داده شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نهال‌ها

ابتدا بذر پایه‌های نارنج، (پایه معمول منطقه)، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سوینگل‌سیتروملو، سی-35، اسموت‌فلت‌سویل و گوتو (پایه‌های در حال توسعه و جدید که بذرشان از کشور اسپانیا وارد شد) در سینی‌های کاشت که دارای خانه‌هایی به حجم 125 سانتی‌متر مکعب بودند با بستر مناسب (کوکوپیت + پیت‌ماس به نسبت حجمی مساوی) کشت شد. بعد از چهار برگی شدن به گلدان‌های پلاستیکی به حجم 3/5 لیتر که شامل 50 درصد کوکوپیت و 50 درصد پیت‌ماس بودند انتقال داده شد. در طول فصل رشد تغذیه به صورت کود آبیاری با کودهای نیترات کلسیم (5 میلی‌مول در لیتر)، نیترات پتاسیم (1/4 میلی‌مول در لیتر)، سولفات پتاسیم (0/6

کمبود آهن و رشد ضعیف، پایه‌های مناسبی برای لیمو در این منطقه نیستند (رایت و همکاران، 1999). همچنین سودانو و روز (1994) گزارش کردند که بیشتر هیبریدهای پونسیروس (به ویژه سیتروملوها) حساس به کلروز آهن ناشی از آهنک هستند، اما سوینگل‌سیتروملو همیشه رشد و عملکرد ضعیفی در خاک‌های آهنکی نداشت. در مقابل واتسچر و همکاران (1975)، همچنین کاستل و همکاران (1988) گزارش کردند که گریپ‌فروت با پایه سوینگل‌سیتروملو در خاک‌های با pH بالا در تگزاس و فلوریدا از عملکرد نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. پژوهش‌های مختلف برای انتخاب پایه‌های جایگزین نارنج در فلوریدا نشان داد که پایه‌های سی-35، کاریزو سیترنج و سوینگل‌سیتروملو در این خاک‌ها زردی ناشی از آهنک نشان دادند اما گوتو علائم زردی نشان داد ولی قادر به بازیابی خود بود (لوزدا و همکاران، 2008).

نتایج تحقیقات کامن و همکاران (2009) در خاک‌های آهنکی نشان داد که کاریزوسیترنج تحمل بسیار ضعیفی به خاک‌های آهنکی دارد. همچنین بیشتر گزارش‌ها نشان می‌دهد که سوینگل‌سیتروملو حساس‌تر از ترویرسیترنج نسبت به کمبود آهن می‌باشد (سودانو و همکاران، 1994، بایم و همکاران، 1995 و پستانا و همکاران، 2005). نتایج بررسی کاریزوسیترنج، نارنج، اسموت‌فلت‌سویل، سوینگل‌سیتروملو، کلوپاتراماندارین، پونسیروس و ولکامریا در خاک‌های با سطوح مختلف آهنک نشان داد که رشد نسبی پایه‌ها با افزایش آهنک خاک کاهش یافت. نارنج و کلوپاتراماندارین بیشترین سوینگل‌سیتروملو و پونسیروس کم‌ترین رشد نسبی را داشتند (کاستل و نونالی، 2009). همچنین نتایج بیشتر گزارش‌ها نشان می‌دهد که همبستگی چندانی بین غلظت آهن کل و درجه زردی ناشی از کمبود آهن وجود ندارد و در بیشتر موارد برگ‌های زرد شده، آهن کل بیشتر از برگ‌های سالم دارند که به تضاد آهن مشهور می‌باشد، اما در مقابل این برگ‌های زرد شده آهن فعال کم‌تری از برگ‌های سالم داشتند (آبادیا، 1992 و تریوس و همکاران، 2005).

نتایج بررسی روش‌های مختلف عصاره‌گیری آهن (II) برگ درختان آوکادو نشان داد که همبستگی بین آهن (II) عصاره‌گیری شده با فنانترولین با شدت علائم زردی ناشی از کمبود آهن در برگ این درختان بیشتر از روش‌های دیگر بود. بنابراین عصاره‌گیری با فنانترولین، می‌تواند یک روش مناسب برای تشخیص کمبود آهن در این درختان باشد (نیامن و آگیری، 2007). اورتو- فنانترولین یک کمپلکس پایداری با آهن (II) تشکیل داده و

و 100 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره 7 افزوده شد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393). سپس نهال‌های مورد نظر در هر خاک کاشته شد. آزمایش به شکل گلدانی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور خاک (7 خاک با دامنه متفاوت آهک) و پایه‌های مرکبات (7 ژنوتیپ) در 4 تکرار با 196 گلدان انجام شد. پایه‌های مورد استفاده شامل: 1- نارنج 2- ترویرسیترنج 3- کاریزوسیترنج 4- سوینگل‌سیتروملو 5- سی-35 6- اسموت فلت سویل 7- گوتو بودند. خاک‌های آزمایشی (با آهک معادل از 2 تا 40 درصد) از مناطق مختلف شرق مازندران (بابل، قائمشهر، جویبار، ساری و نکا) جمع‌آوری شد. بعد از کاشت نهال‌ها، درطول دوره رشد، تغذیه (بومن و همکاران، 2008) و آبیاری (فدل و همکاران، 2008) به طور منظم انجام شد. نمونه‌های برگ در مرداد ماه از برگ‌های میانی سرشاخه‌های فصل جاری در پیرامون هر نهال تهیه شد (امبلتون و همکاران، 1973 و مارشال، 1984). نمونه‌های گیاه ابتدا به روش خشک اکسید شد و سپس غلظت آهن توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

آهک فعال

بعد از تعادل خاک با اکسالات آمونیوم 0/2 نرمال (نسبت خاک به محلول، 1 به 100) به مدت 2 ساعت در pH7، مقداری از آهک با اکسالات به صورت اکسالات کلسیم رسوب کرده. سپس نمونه‌ها صاف شده و زیاده‌های اکسالات به وسیله تیتراسیون محلول با پر منگنات پتاسیم یک دهم نرمال تعیین و سپس مقدار آهک فعال محاسبه گردید (باشور و سایه، 2007).

درجه بندی ظاهری زردی ناشی از کمبود آهن (کلروز)

آزمایش به مدت دو سال انجام شد و درجه بندی کلروز در سال دوم رشد نهال‌ها، بر اساس درجه زردی برگ‌های جدید توسعه یافته و شمارش تعداد این برگ‌ها در هر تیمار آزمایشی، به طور میانگین به هر نهال درجه‌ای از یک تا پنج به صورت زیر داده شد (بایم و همکاران، 1995). پایه‌های که میانگین درجه زردی بیشتری داشتند به عنوان پایه‌های حساس‌تر به خاک‌های آهکی گزارش شدند.

1. برگ‌ها سبز
2. بین رگبرگ‌ها سبز متمایل به زرد و رگبرگ‌ها سبز
3. بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سبز و رگبرگ‌ها سبز
4. بین رگبرگ‌ها زرد و رگبرگ‌ها سبز
5. بین رگبرگ‌ها زرد متمایل به سفید، رگبرگ‌ها سبز رنگ پریده و همچنین مقداری ریزش برگ دیده می‌شود.

میلی‌مول در لیتر)، سولفات منیزیم (1 میلی‌مول در لیتر)، مونوآمونیم فسفات (0/6 میلی‌مول در لیتر)، سولفات آمونیوم (3 میلی‌مول در لیتر)، کلرید منیزیم (0/2 میلی‌مول در لیتر)، اسید بوریک (41/8 میکرومول در لیتر)، سولفات روی (3/8 میکرومول در لیتر)، سولفات مس (3/9 میکرومول در لیتر)، سولفات منگنز (6/9 میکرومول در لیتر)، مولیبدات آمونیوم (1 میکرومول در لیتر) و کلات آهن (10 میکرومول در لیتر) دو بار در هفته انجام شد (کارپنا، 1983) تا قطر نهال‌ها به حدود یک سانتی‌متر رسید سپس رقم نارنگی انشو میاگوا روی پایه‌های مورد نظر پیوند شد. هنگامی که ارتفاع نهال‌ها به حدود 50 سانتی‌متر رسید به گلدان‌های 30 لیتری که حاوی خاک‌های مورد نظر بودند انتقال داده شد.

انتخاب و جمع‌آوری خاک‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه از روی نقشه خاک و گزارش‌های خاکشناسی منطقه شرق مازندران و همچنین مطالعات انجام شده در باغ‌های شرق مازندران (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)، 7 نمونه خاک به گونه‌ای انتخاب گردید که دارای دامنه وسیعی از کربنات کلسیم باشند و همچنین منطقه وسیعی از نظر جغرافیایی (نواحی عمده کشت مرکبات) در بر داشته باشند، پس از خشک کردن در هوا، کوبیدن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شد: کربنات کلسیم معادل به روش تیره کردن با اسید (باشور و سایه، 2007)، رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986)، واکنش خاک در خمیر اشباع (مکلین، 1982)، ماده آلی به روش والکلی - بلک (نلسون و سامر، 1990)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (ساشیندر، 1997)، فسفر به روش اولسن و سامرز (اولسن و سامر، 1982)، منگنز، آهن، و روی به روش دی تی پی ای (لیندسی و نورول، 1978) اندازه‌گیری شد.

روش انجام آزمایش

سپس نمونه‌های خاک مورد نظر، در سطل‌های پلاستیکی ریخته شد. مقدار 30 کیلوگرم خاک به هرگلدان اختصاص داده شد. کود نیتروژنی به میزان 60 میلی‌گرم نیتروژن خالص در کیلوگرم خاک به صورت سولفات آمونیوم اضافه گردید. قبل از کاشت، کودهای فسفر (سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (سولفات پتاسیم) فقط به خاک‌هایی افزوده شد که به ترتیب کمتر از 15 میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر قابل استفاده (اولسن و سامر، 1982) و 300 میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم قابل استفاده به روش استات آمونیوم داشتند. 20 میلی‌گرم فسفر و 200 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم به خاک شماره 5 و 25 میلی‌گرم فسفر

آهن فعال

واریانس قرار گرفت و میانگین پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند. در پایان تحمل پایه‌های مختلف به آهک خاک با استفاده از شاخص‌های درجه زردی برگ و غلظت آهن فعال برگ مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

برخی خصوصیات خاک‌ها و پایه‌های آزمایشی

دامنه آهک معادل خاک‌ها از 2 تا 45 درصد، آهک فعال از صفر تا 16 درصد، رس از 13 تا 41 درصد، سیلت از 18 تا 37 درصد، شن از 34 تا 58 درصد و کربن آلی از 0/65 تا 1/80 درصد متغییر بود (جدول 1). همچنین برخی ویژگی‌های پایه‌های آزمایشی در جدول 2 آمده است.

نمونه‌های برگ و ریشه تازه تهیه شده کاملاً شسته و سپس سطح آنها خشک شد. از این نمونه‌های برگ و ریشه، 2 گرم به دقت وزن کرده و 20 میلی‌لیتر محلول فنانتروپین با غلظت 1/5 درصد در pH₃ اضافه کرده، بعد از 16 ساعت، نمونه‌ها صاف و به حجم رسانده و شدت رنگ قرمز-پرتقالی محلول که متناسب با غلظت آهن (II) می‌باشد در طول موج 510 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و با استفاده از منحنی استاندارد (جذب در مقابل غلظت) غلظت آهن (II) محاسبه شد (کتیال و شارما، 1980 و محمد و همکاران، 1998).

تجزیه داده‌ها

کلیه داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزارهای SPSS و MSTATC و همچنین آزمون F مورد تجزیه

جدول 1- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

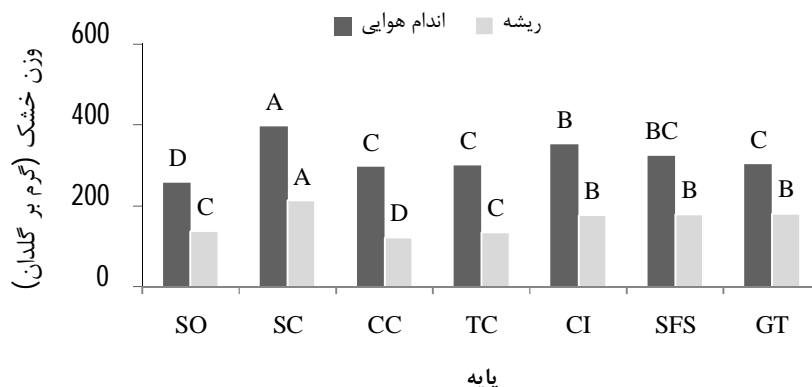
خصوصیت	خاک و منطقه						
	1	2	3	4	5	6	7
	جنوب بابل	غرب قائم شهر	جنوب ساری	غرب نکا	شمال نکا	غرب ساری	شرق ساری
رس (درصد)	23	29	19	41	13	37	22
سیلت (درصد)	30	26	35	18	29	29	37
شن (درصد)	47	45	46	41	58	34	40
آهک معادل (درصد)	2	9	14	30	40	25	45
آهک فعال (درصد)	0	3	5	14	7	10	16
کربن آلی (درصد)	1/17	0/95	1/80	1/60	0/65	1/52	1/10
اسیدیته اشباع	6/8	7/45	7/86	7/60	7/77	7/78	7/76
فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	26	22	15	17	11/20	18/30	9/87
پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	404	380	360	460	221	325	265
آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	7/20	6/40	8/80	8/90	4/40	8/22	6/80
منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	3/10	4/20	3/96	5/40	3/20	7/71	3/40
روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	2/40	2/50	0/70	0/60	0/91	1/60	1/50

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

نتایج میانگین وزن خشک اندام هوایی پایه‌های مختلف نیز نشان داد که بیشترین وزن خشک از آن سوینگل‌سیتروملو بود و کمترین وزن خشک از نارنج، پایه معمول منطقه به دست آمد. پایه‌های سی-35، اسموت‌فلت‌سویل و کاریزوسیترنج همراه با ترویرسیترنج و گوتو به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. افزایش ماده خشک سوینگل‌سیتروملو، سیترنج‌کاریزو، سیترنج‌ترویر، سی-35، اسموت و گوتو نسبت به نارنج به ترتیب 53، 14/8، 16/2، 36/3، 25/8 و 17/3 درصد

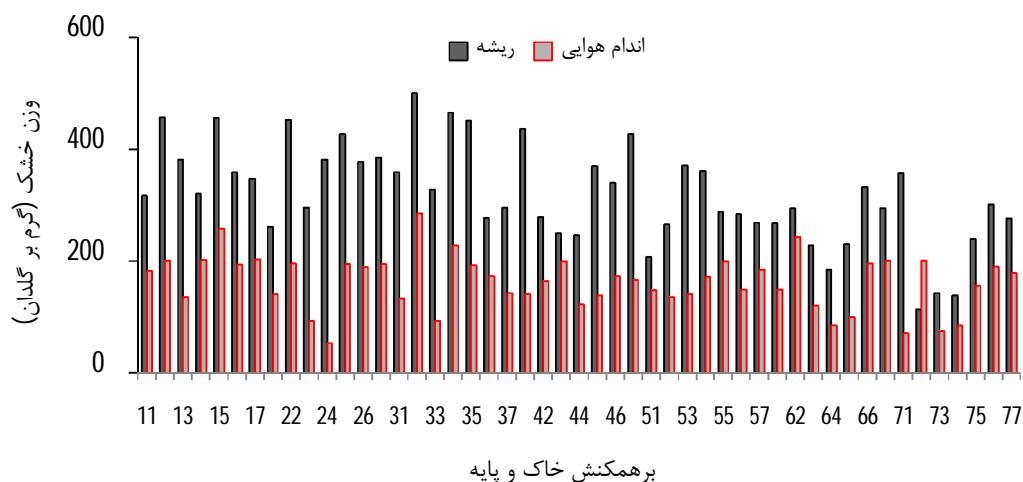
بود که از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (شکل 1). همچنین اثر متقابل خاک و پایه بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (شکل 2). بیشترین وزن ماده خشک اندام هوایی از خاک شماره 3 و سوینگل‌سیتروملو به دست آمد. در خاک‌های 1 و 2 وزن ماده خشک سوینگل‌سیتروملو و سی-35 یکسان و ماده خشک بیشتری نسبت به سایر پایه‌ها داشتند. در خاک 3 نیز سوینگل‌سیتروملو بیشترین ماده خشک داشت و ترویرسیترنج و سی-35 بعد از سیتروملو قرار گرفتند. در خاک 4 نارنج و گوتو و در خاک 5 کاریزوسیترنج و ترویرسیترنج بیشترین عملکرد داشتند. اما در خاک‌های 6

و 7 به ترتیب اسموت‌فلت‌سویل و نارنج از عملکرد بالاتری برخوردار بودند (شکل 2).



شکل 1- میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه

(SO، نارنج؛ SC، سوئینگل سیتروملو؛ CC، کاریزوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت‌فلت‌سویل؛ GT، گوتو، میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)



شکل 2- اثر بر همکنش خاک و پایه بر میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه

(در محور افقی هر عدد دو رقمی نشان دهنده یک تیمار می‌باشد رقم اول، شماره خاک و رقم دوم شماره پایه را نشان می‌دهد که در جدول یک و دو تعریف شده‌اند)

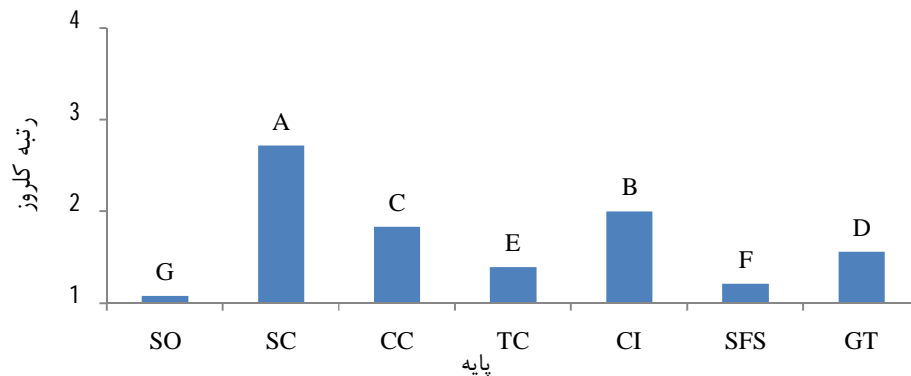
می‌دانستند در تضاد است. ولیکن در مورد سایر پایه‌ها، با نتایج بیشتر محققان مشابه است. همچنین برهمکنش خاک و پایه بر درجه کلروز برگ نشان داد که تغییرات درجه کلروز پایه‌های مورد آزمایش در خاک‌های یک تا سه کم بود، اما در خاک‌های چهار، پنج، شش و هفت این تغییرات بسیار بیشتر بود و اختلاف بین پایه‌ها در تحمل به کلروز آهن را به وضوح نشان می‌دهد (شکل 4). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده است که نارنج و ترویرسیترنج متحمل به کلروز هستند (بنیاهیا و همکاران،

استفاده از شاخص درجه زردی برگ به عنوان شاخص غربالگری

نتایج میانگین درجه کلروز پایه‌ها در خاک‌های مختلف در شکل 3 آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که سوئینگل سیتروملو بیشترین درجه کلروز را دارد و پایه‌های سی-35، کاریزوسیترنج، گوتو، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل و نارنج به ترتیب بعد از سیتروملو قرار دارد که با نتایج برخی محققان که گوتو را مشابه نارنج

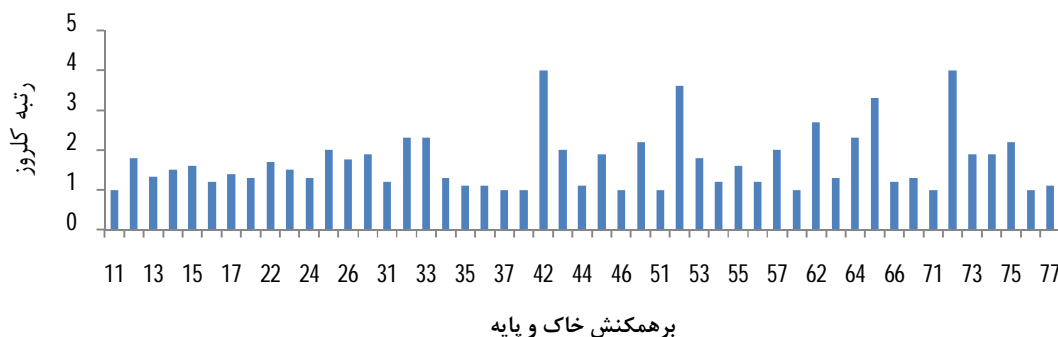
رفتار ترویرسیترنج در مطالعه‌های متعدد را ناشی از چگونگی انجام آزمایش و هموزنی مواد گیاهی گزارش کرده‌اند (ماریلا، 2005).

اما برخی پژوهش‌های دیگر ترویرسیترنج را نیمه محتمل و حد واسط پونسیروس و نارنج گزارش کرده‌اند (روسکپر و روسو، 1988). برخی پژوهشگران این تغییر



شکل 3- میانگین درجه زردی برگ پایه‌های مختلف در خاک‌های آهنی

(SO) نارنج؛ SC، سوئینگل سیتروملو؛ CC، کاریوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت‌فلت‌سویل؛ GT، گوتو، میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)



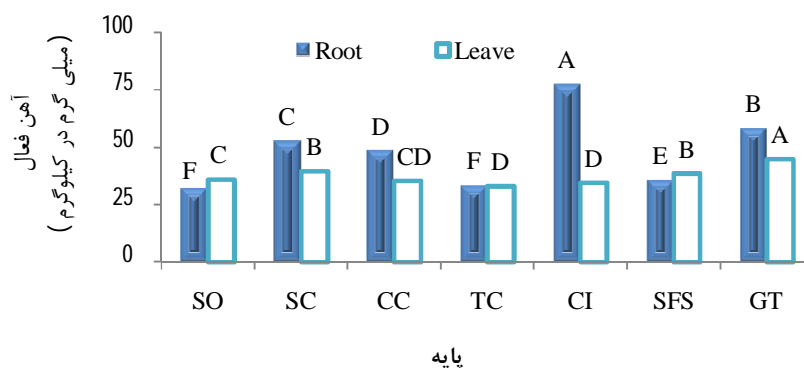
شکل 4- تأثیر برهمکنش خاک و پایه در میانگین درجه زردی برگ

در محور افقی هر عدد دو رقمی نشان دهنده یک تیمار می‌باشد رقم اول، شماره خاک و رقم دوم شماره پایه را نشان می‌دهد که در جدول یک و دو تعریف شده‌اند)

غلظت آهن کل و فعال برگ

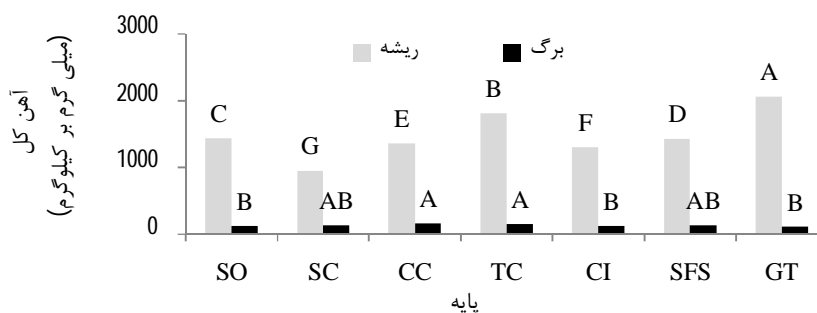
غلظت آهن فعال ریشه بیشتر از برگ بود. نتایج اثر پایه بر غلظت آهن کل برگ و ریشه نشان داد که کاریزو و ترویرسیترنج بیشترین و نارنج و گوتو کمترین غلظت آهن در برگ داشتند و بین سایر پایه‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اما بیشترین غلظت آهن کل ریشه از گوتو حاصل شد و سوئینگل سیتروملو کمترین غلظت آهن ریشه داشت و پایه‌های ترویرسیترنج، نارنج، اسموت‌فلت‌سویل، ترویرسیترنج و سی-35 بعد از گوتو قرار گرفتند (شکل 6).

نتایج میانگین غلظت آهن فعال ریشه و برگ پایه‌های مختلف (شکل 5) نشان داد که در نارنج و اسموت‌فلت‌سویل، غلظت آهن فعال ریشه کمتر از برگ است و در ترویرسیترنج تقریباً مشابه بود. سی-35 از بیشترین غلظت آهن فعال ریشه و کمترین غلظت آهن فعال برگ برخوردار بود، که نشان می‌دهد راندمان انتقال آهن فعال از ریشه به برگ در این پایه کمتر از سایر پایه‌ها بود. همچنین در سوئینگل سیتروملو، کاریوسیترنج و گوتو،



شکل 5- میانگین غلظت آهن فعال برگ و ریشه در پایه‌های مختلف

(SO، نارنج؛ SC، سوئیگل سیتروملو؛ CC، کاریزوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت‌فلت‌سویل؛ GT، گوتو، میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)



شکل 6- میانگین غلظت آهن کل برگ و ریشه در پایه‌های مختلف

(SO، نارنج؛ SC، سوئیگل سیتروملو؛ CC، کاریزوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت‌فلت‌سویل؛ GT، گوتو، میانگین‌های مربوط به هر ستون که دارای حروف لاتین مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند)

نسبت آهن فعال به آهن کل در برگ و ریشه نیز نشان داد که به طور متوسط حدود 29/69 درصد از غلظت آهن برگ و 2/59 درصد از غلظت آهن ریشه به شکل آهن فعال است. بیشترین آهن فعال ریشه از آن گوتو (حدود 41/5 درصد) و کمترین درصد از آن ترویرسیترنج (22/8 درصد) بود و نارنج، سوئیگل سیتروملو، اسموت‌فلت‌سویل، سی-35 و کاریزوسیترنج به ترتیب بعد از ترویرسیترنج قرار داشتند. بیشترین و کمترین درصد آهن فعال برگ به ترتیب سوئیگل سیتروملو و ترویرسیترنج داشتند و اسموت‌فلت‌سویل، سی-35، کاریزوسیترنج، نارنج و گوتو به ترتیب بعد از سوئیگل سیتروملو قرار گرفتند.

استفاده از آهک و آهن فعال به عنوان شاخص غربالگری

غلظت آهن فعال برگ در پایه‌های اسموت‌فلت‌سویل و نارنج تحت تأثیر افزایش آهک فعال خاک قرار نگرفت و با افزایش آهک فعال، غلظت آهن

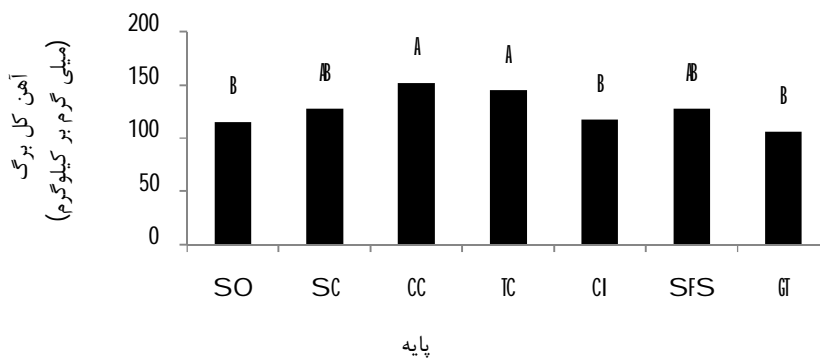
بر اساس داده‌های شکل 6 و 7، نسبت غلظت آهن فعال ریشه به برگ برای پایه‌های نارنج و اسموت‌فلت‌سویل کمتر از یک، ترویرسیترنج برابر یک و پایه‌های سوئیگل سیتروملو، کاریزوسیترنج، سی-35 و گوتو بیشتر از یک است. اما نسبت غلظت آهن کل ریشه به برگ در پایه‌های مختلف از 7/4 در سوئیگل سیتروملو تا 19/4 در گوتو متفاوت بود. این نسبت در کاریزوسیترنج 7/9، ترویرسیترنج 12/4 و سی-35 و اسموت‌فلت‌سویل تقریباً یکسان و حدود 11 بود. بنابراین، نتایج این تحقیق نشان داد که در پایه گوتو آهن تحرک کمی دارد و غلظت آهن ریشه بسیار بیشتر از غلظت آهن در برگ است که با نتایج تحقیقات منگل (1995) و کاسگارتن و کیرو (2001) مطابقت دارد که گزارش کردند بیشتر آهن ریشه در آپوپلاست سلول‌های ریشه ذخیره می‌شود. بنابراین زردی ناشی از کمبود آهن می‌تواند ناشی از انتقال کم آهن از ریشه به برگ‌ها و همچنین راندمان پایین آهن در برگ‌ها باشد (وایرن، 2002). نتایج میانگین

فعال خاک، غلظت آهن فعال برگ در کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج و سی-35 به طور معنی‌داری کاهش یافت. غلظت آهن فعال برگ گوتو نیز تا آهک فعال حدود 3 درصد تغییر چندانی نداشت اما با افزایش بیشتر، غلظت آهن فعال کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل 8).

نتایج بررسی میانگین درجه کلروز پایه‌ها در خاک‌های مختلف نشان داد که سوینگل‌سیتروملو بیشترین درجه کلروز داشت و پایه‌های سی-35، کاریزوسیترنج، گوتو، ترویرسیترنج، اسموت‌فلت‌سویل و نارنج به ترتیب بعد از سیتروملو قرار داشتند. نتایج تحقیقات مختلف (کواتر و همکاران، 2007، کاستل و نونالی، 2009 و کاسگارتن، 1999) نشان داده است که بی‌کربنات محلول خاک بر راندمان فیزیولوژیکی آهن در ریشه‌ها و برگ‌ها به شدت تأثیر می‌گذارد که ابتدا منجر به کند شدن تشکیل برگ‌های جدید، کاهش رشد برگ و غلظت کم کلروفیل می‌شود و سپس برگ‌های زرد کوچک ظاهر می‌شود. بنابراین به احتمال زیاد کاهش تشکیل برگ و کاهش رشد برگ از علائم کمبود آهن در خاک‌های آهکی هستند. اما سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن در برگ‌های سبز کوچک همانند دیگر برگ‌ها است بنابراین، رشد این برگ‌ها به وسیله کاهش فراهمی فتوسنتزها محدود نمی‌شود بلکه این کاهش رشد ناشی از کاهش فراهمی آهن است. اما رشد برگ‌ها با کلروز شدید علاوه بر کمبود آهن به فقدان یا کاهش فراهمی مواد فتوسنتزی نیز بستگی دارد (کاسگارتن و همکاران، 1998).

فعال برگ نارنج و اسموت‌فلت‌سویل تقریباً ثابت ماند، بنابراین بر اساس این شاخص، این دو پایه به عنوان متحمل به خاک‌های آهکی گزارش شدند. اما در سوینگل‌سیتروملو، کاریزوسیترنج، ترویرسیترنج، سی-35 و گوتو با افزایش آهک فعال خاک‌ها، غلظت آهن فعال برگ آنها کاهش یافت و با توجه به شیب خط رگرسیون، شدت این کاهش در سوینگل‌سیتروملو بیشترین بود و پایه‌های کاریزوسیترنج ($R^2=0.68^*$)، گوتو ($R^2=0.71^*$) و سی-35 ($R^2=0.62^*$) از نظر شدت کاهش غلظت آهن فعال برگ با افزایش آهک فعال خاک به ترتیب بعد از سیتروملو قرار گرفتند. نتایج این پژوهش با گزارش‌های دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد که نارنج و اسموت‌فلت‌سویل را متحمل به خاک‌های آهکی معرفی کرده‌اند (چولیاریس و همکاران، 2004 و پستانا و همکاران، 2005).

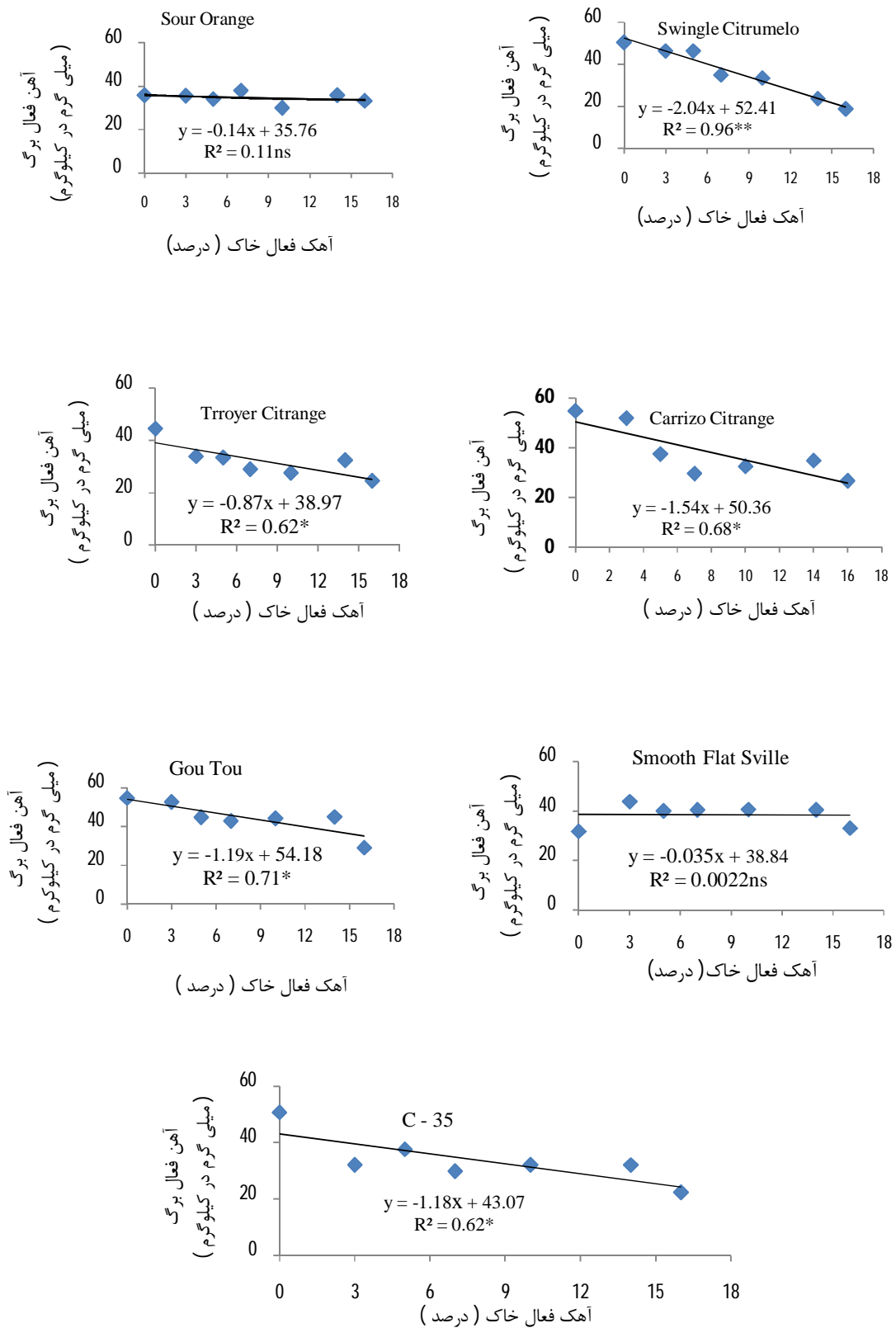
اما نتایج پژوهش با برخی گزارش‌های دیگر در تضاد است (اوبرضا، 1995 و کاستل و نونالی، 2009) که تحمل گوتو به خاک‌های آهکی را مشابه نارنج گزارش کردند. تأثیر افزایش آهک فعال بر آهن فعال برگ در سوینگل‌سیتروملو نشان داد که با افزایش آهک فعال خاک تا حدود 5 درصد، غلظت آهن فعال برگ آن تقریباً ثابت بود اما همگام با افزایش بیشتر آهک فعال، روند کاهش غلظت آهن فعال تشدید شد. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، حد قابل تحمل آهک فعال برای سوینگل‌سیتروملو حدود 5 درصد است. همچنین با افزایش آهک



شکل 7- میانگین غلظت آهن کل برگ در پایه‌های مختلف

(SO، نارنج؛ SC، سوینگل‌سیتروملو؛ CC، کاریزوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت‌فلت‌سویل؛ GT، گوتو، میانگین‌های مربوط

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



شکل 8- رابطه بین آهک فعال خاک با غلظت آهن فعال در برگ پایه‌های مختلف

(SO، نارنج؛ SC، سوئینگل سیتروملو؛ CC، کاریزوسیترنج؛ TC، ترویرسیترنج؛ CI، سی-35؛ SFS، اسموت فلت سویل؛ GT، گوتو)

براساس گزارش‌های منگل و گرتزن (1986)، زمان بحرانی توزیع آهن در برگ‌ها، انتقال آن از رگبرگ‌ها و آپوپلاست به درون سلول‌ها است. از این رو، آهن (III) موجود در آپوپلاست سلول‌های برگ، قبل از این‌که به وسیله سلول‌های مزوفیل جذب شود باید کاهش یابد (نیکولیک و رومهلد، 1999). بنابراین pH زیاد این بافت‌ها که ناشی از جذب بی‌کربنات می‌باشد مانع انتقال آهن و سبب رسوب آن در فضای آپوپلاست سلول‌های برگ می‌شود. لذا یون بی‌کربنات فاکتور اصلی محدود کننده انتقال آهن از رگبرگ‌ها و آپوپلاست به سیتوپلاسم سلول‌های برگ است (وایرن و گروساک، 2000، زربی، 2002 و کواتز و همکاران، 2007). همچنین نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که حضور یون بی‌کربنات در آپوپلاست، انتقال آهن در گیاهان را کاهش داده به طوری که موجب افزایش pH و رسوب آهن در فضای آپوپلاست سلول‌ها می‌شود. همچنین یون بی‌کربنات انتقال آهن از رگبرگ‌ها و آپوپلاست به سیتوپلاسم سلول‌های برگ را کاهش می‌دهد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که حتی اگر آهن محلول به اندازه کافی در خاک‌های آهکی وجود داشته باشد، این یون ممکن است جذب نشود و به برگ‌ها انتقال پیدا نکند (وایرن، 2000، زربی، 2002 و کواتز و همکاران، 2007) که به علت رسوب آهن در فضای آپوپلاست سلول‌های ریشه و بافت‌های هادی می‌باشد (زربی، 2002). حلالیت آهن در شیره آوند چوبی به وسیله حضور یون بی‌کربنات و pH زیاد محلول به شدت کاهش می‌یابد و اگر مقدار کافی از یون سترات و دیگر آنیون‌های کمپکس کننده در شیره آوند چوبی وجود نداشته باشد، ممکن است تحرک آهن بسیار کاهش یابد. بنابراین، مشکل کمبود آهن نه تنها به وسیله حلالیت کم این یون در خاک، بلکه به وسیله راندمان پایین انتقال آن در گیاه نیز حاصل می‌شود (کواتز و همکاران، 2007 و زربی، 2002).

همچنین در این پژوهش رابطه بین غلظت عناصر در ریشه و غلظت آهن فعال در برگ پایه‌های مختلف نشان داد که بین غلظت فسفر در ریشه هر پایه با آهن فعال در برگ آن پایه رابطه خطی معنی‌داری وجود نداشت. اما به طور کلی بین غلظت فسفر در ریشه با آهن فعال در برگ همه پایه‌های آزمایشی رابطه خطی معنی‌داری وجود داشت. با افزایش غلظت فسفر در ریشه، غلظت آهن فعال در برگ کاهش یافت و رابطه خطی معنی‌داری بین غلظت فسفر در ریشه با آهن فعال در برگ ($R^2 = -0.20^{**}$) وجود داشت. همچنین اثر غلظت فسفر در ریشه بر غلظت آهن کل در ریشه نشان داد که رابطه خطی

کلروز آهن و کاهش رشد برگ همراه با انتقال پایین آهن از ریشه به برگ‌ها و همچنین راندمان پایین آهن در برگ‌ها برای فعالیت‌های زیستی درختان است. راندمان ضعیف آهن در برگ‌ها احتمالاً به علت کاهش جذب آهن از آپوپلاست به سلول‌های برگ در pH بالای آپوپلاست برگ می‌باشد. برگ‌های جدید در حال توسعه و دیگر اندام‌های مرستمی نیاز به غلظت و راندمان بالاتری از آهن نیاز دارند. بنابراین رشد و تشکیل برگ‌های جدید بیشتر از کلروفیل به کمبود یا فراهمی ناکافی آهن حساس هستند (کاسگارتن و همکاران، 1998). به طور کلی زرد برگی ناشی از کمبود آهن، به علت اختلال در جذب و انتقال آهن در گیاه است و این اختلال نیز ناشی از غلظت زیاد یون بی‌کربنات در آپوپلاست سلول می‌باشد، که موجب افزایش pH و رسوب آهن در این فضای بین سلولی می‌شود. یون بی‌کربنات همچنین انتقال آهن از رگبرگ‌ها و آپوپلاست به سیتوپلاسم سلول‌های برگ را کاهش می‌دهد. یون آهن برای این که بتواند در گیاه انتقال یابد، باید با کلات‌ها کمپلکس شود (رومهلد، 2000) نتایج تحقیقات مختلف (چولیارس و همکاران، 2004، منگل، 1995 و تریوس و همکاران، 2005) نشان می‌دهد که آهن (III) به شکل فریک سترات توسط آوندهای چوبی به اندام‌های هوایی گیاه منتقل می‌شود و در غلظت‌های یکسان از اسیدهای آلی، سترات بیشتر از دیگر اسیدهای آلی مانند اسید مالیک با آهن در آوندهای چوبی کمپلکس ایجاد می‌کند و در انتقال آن نیز بیشتر مؤثر است. در برخی موارد برگ‌های کلروزدار و سبز دارای غلظت یکسانی از آهن کل هستند که به تضاد (Paradox) آهن مشهور است.

این تضاد، به طور عمده ناشی از کاهش یا توقف رشد برگ‌ها است که سبب غلظت زیاد این عنصر در برگ‌ها می‌شود (رومهلد، 2000). زردی ناشی از کمبود آهن ممکن است در برگ‌ها و بافت‌های با غلظت کافی یا بیشتر، از آهن کل اتفاق بیفتد که نشان می‌دهد از نظر فیزیولوژیکی کمبود این عنصر وجود دارد (رومهلد، 2000). در برگ‌های کلروزدار مقداری زیادی آهن غیرفعال وجود دارد که نشان می‌دهد در خاک‌های آهکی، بیشتر آهنی که از ریشه به اندام‌های هوایی منتقل می‌شود نمی‌تواند از غشایی پلاسمایی سلول‌های برگ عبور کند و در آپوپلاست سلول‌های مزوفیل رسوب می‌کند، این رسوب نتیجه pH زیاد، سرعت زیاد اکسیداسیون آهن (II) و فعالیت کم آنزیم رداکتاز آهن (III) (تگلیاونی و همکاران، 2000).

معنی‌داری ($R^2=0.31^{**}$) بین غلظت فسفر در ریشه و غلظت آهن کل در ریشه وجود دارد و با افزایش غلظت فسفر در ریشه، غلظت آهن کل در ریشه نیز افزایش یافت و افزایش فسفر موجب انباشته شدن و عدم تحرک آهن در ریشه شد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک به ترتیب از سوینگل‌سیتروملو و نارنج (پایه معمول منطقه) به دست آمد. پایه‌های سی-35، اسموت‌فلت‌سویل و کاریزوسیترنج همراه با ترویرسیترنج و گوتو به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. در خاک‌های با بافت متوسط و آهن نسبتاً کم، بیشترین ماده خشک از سوینگل‌سیتروملو حاصل شد. اما نارنج، گوتو و اسموت‌فلت‌سویل در خاک‌های با آهن زیاد و بافت سنگین، بیشترین ماده خشک داشتند و در خاک‌های با بافت سبک و آهن متوسط، بیشترین ماده خشک از کاریزوسیترنج و ترویرسیترنج به دست آمد. براساس نتایج این پژوهش و با استفاده از شاخص درجه زردی و آهن فعال برگ، نارنج و اسموت‌فلت‌سویل متحمل به خاک‌های آهنی هستند و در مقابل سوینگل سیتروملو حساس به آهن خاک گزارش شدند. اما ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج و سی-35 حدواسط بودند و نسبتاً متحمل به خاک‌های آهنی بودند.

نتایج این تحقیق با نتایج مکدونالد و همکاران (1996)، پستانا و همکاران (2005)، کاستل و نونالی (2009) مطابقت دارد. بی‌کربنات محلول خاک در خاک‌های آهنی بر راندمان فیزیولوژیکی آهن در ریشه‌ها و برگ‌ها تأثیر زیادی دارد که ابتدا منجر به کند شدن تشکیل برگ‌های جدید، کاهش رشد برگ و سپس کاهش غلظت کلروفیل می‌شود (کاستل و نونالی، 2009 و کاسگارتن، 1999). بنابراین در خاک‌های آهنی، کاهش تشکیل برگ و کاهش رشد برگ از علائم کمبود آهن می‌باشد و سرعت تثبیت دی‌اکسیدکربن در این برگ‌های سبز کوچک مشابه برگ‌های فاقد علائم بود. بنابراین رشد این برگ‌ها به وسیله کاهش فراهمی فتوسنتت‌ها محدود نمی‌شود بلکه این کاهش رشد ناشی از کاهش فراهمی آهن می‌باشد. اما رشد برگ‌های با کلروز شدید علاوه بر کمبود آهن به فقدان یا کاهش فراهمی مواد فتوسنتزی نیز بستگی دارد (زامه‌لد، 2000 و کاسگارتن و همکاران، 1998).

میانگین غلظت آهن ریشه حدود 12 برابر غلظت آهن برگ بود که نشان از تجمع آهن در ریشه دارد که با نتایج تحقیقات مختلف در خاک‌های آهنی مطابقت دارد

که گزارش کردند غلظت آهن ریشه بسیار بیشتر از غلظت آهن در برگ‌ها است و بیشتر این آهن در آپوپلاست سلول‌ها ذخیره می‌شود (منگل، 1995 و کاسگارتن و همکاران، 1999). همچنین نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش آهن فعال خاک غلظت آهن فعال برگ کاهش نشان داد و رابطه بین آهن فعال خاک و غلظت آهن فعال برگ از معادله خطی نسبتاً خوبی برخوردار بود. بر اساس نتایج این آزمایش، به طور متوسط کمتر از 30 درصد از غلظت آهن کل برگ به شکل آهن فعال بود اما در مقابل، در ریشه‌ها کمتر از 3 درصد از غلظت آهن کل به شکل آهن فعال بود. نظر به این که آهن محلول در خاک، یک ارتباط تعادلی بین یون‌های آهن و کانی‌های شامل آهن نمی‌باشد، لذا فعالیت‌های بیولوژیکی می‌تواند یک فاکتور کنترل‌کننده آهن محلول در خاک باشند، که اهمیت زیادی در فراهمی آهن به ویژه در خاک‌های آهنی دارد. در خاک‌های آهنی گیاهان عمدتاً از کمبود آهن خسارت می‌بینند که ناشی از غلظت ناکافی آهن در محلول خاک نمی‌باشد بلکه ناشی از کاهش جذب آن توسط ریشه‌ها است. گیاهان در طول دوره رشد، مکانیسم‌های را توسعه می‌دهند که به وسیله آن می‌توانند آهن (III) سیدروفورها را متحرک سازند، در غشای خارجی (پلاسما) نوک ریشه‌ها رداکتاز آهن (III) قرار دارد که یک الکترون به آهن (II) سیدروفور انتقال می‌دهد.

با این کاهش آهن (III) ساختمان مولکولی سیدروفور شکسته شده و آهن (II) آزاد می‌شود و ممکن است توسط یک کانال ویژه در عرض پلاسما به داخل سلول عبور نماید. فعالیت رداکتاز آهن (III) وابسته به pH می‌باشد و pH بالا از فعالیت آهن جلوگیری می‌کند (کاسگارتن و همکاران، 2004 و اماری و منگل، 2006). چنین pH بالایی در آپوپلاست ریشه گیاهان در خاک‌های آهنی معمولاً وجود دارد که منجر به رسوب آهن در دیواره سلول‌های ریشه می‌شود، در چنین شرایطی یک وضعیت غیر معمول حاصل می‌شود که قابلیت استفاده یا فراهمی آهن در خاک‌ها و همچنین غلظت آهن در دیواره سلول‌های ریشه زیاد است، اما گیاهان از کمبود آهن زیان می‌بینند (اماری و منگل، 2006). همچنین برخی گیاهان با کاهش pH محیط ریشه، می‌توانند آهن آپوپلاست ریشه را متحرک سازند. در مقابل، برخی دیگر به علت فعالیت کم آهن (III) رداکتاز در pH بالایی آپوپلاست نمی‌توانند ترکیبات آهن (III) ریشه را متحرک ساخته و به اندام هوایی انتقال دهند (کیورتز و همکاران، 2007 و تولون و همکاران، 1992). بنابراین گیاهان زرد شده ناشی از کمبود آهن در خاک‌های آهنی دارای غلظت زیادی از آهن در

ریشه‌های جانبی و تمایز سلول‌های انتقالی می‌باشد که سطح ویژه ریشه برای جذب و انتقال آهن افزایش می‌دهند، پاسخ‌های فیزیولوژیکی که شامل هر سه مکانیسم شیمیایی، که شامل افزایش اسیدی شدن ریشه توسط افزایش خروج پروتون از ریشه، ترشح اسیدهای آلی و فنولیک برای کلات کردن آهن (III) و کاهش آهن (III) به آهن (II) توسط کاهنده‌های آهن (III) وابسته به غشا، برای افزایش فراهمی آهن می‌باشند (گارینوت و یای، 1994). نتایج تحقیقات کاستل و نونالی (2009) نشان داد که ژنوتیپ‌های نارنج، اسموت‌فلت‌سویل و برخی سیترنج‌ها تحمل نسبتاً بالایی به تنش کمبود آهن دارند و در مقابل سیتروملوها و پونسیروس حساس به تنش کمبود آهن هستند (دونینی و همکاران، 2009).

ریشه هستند، این ریشه‌ها ممکن است به عنوان ذخیره آهن عمل کنند اگر pH اطراف ریشه کاهش یابد (منگل، 1995 و کاسگارتن و همکاران، 1999).

به طوری کلی غلظت تعادلی آهن (III) محلول خاک در خاک‌های آهکی حدود 10^{-17} مولار می‌باشد که بسیار کمتر از مقداری است که برای رشد گیاهان لازم است. گیاهان سه مکانیسم برای افزایش حلالیت اکسیدهای آهن (III) دارند که شامل اسیدی کردن، کلات کردن و کاهش می‌باشد. در مرکبات، افزایش حلالیت آهن (III) به طور عمده به وسیله فرآیند کاهش انجام می‌شود و سپس آهن (II) از غشای پلازما عبور می‌کند. بنابراین، مرکبات با تغییرات مورفولوژی و فیزیولوژیکی به کمبود آهن پاسخ می‌دهند. تغییرات مورفولوژی شامل توسعه

فهرست منابع:

1. اسدی کنگرشاهی، علی و نگین اخلاقی امیری. 1393. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات. جلد اول، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران. صفحه 321.
2. خویی، سلطنت. 1370. اصول تغذیه مرکبات. وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی. تهران، ایران. صفحه، 281.
3. رحیمیان، حشمت ...، سید وحید علوی، جمشید شایگان و علی هادی‌زاده. 1379. انتقال ویروس تریسزای مرکبات با شته سبز پنبه در شمال ایران. مجله بیماری‌های گیاهی. شماره 355، صفحه 31-40.
4. Abadia, J. 1992. Leaf responses to Fe deficiency: a review. *Journal of Plant Nutrition*.15: 1699-1713.
5. Ammari, T. & Mengel, K. 2006. Total soluble Fe in soil solution of chemically different soils. *Geoderma*.136: 876 – 885.
6. Asadi Kangarshahi, A., & Akhlaghi, N. 2008. Investigation of physicochemical condition and fertilization methods to citrus gardens of Mazandaran, Iran. *11th International Citrus Congress (ICC2008)*. Hubei, China.
7. Bashour, I. & Sayegh, A.A. 2007. *Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P. 49-53.
8. Benyahia, H., Beniken, L., Omari, F.Z., Benazzouze, A., Handaji, N., Msatef, Y. & Ollitrault, P. 2011. Evaluation of the resistance of few citrus rootstocks to alkalinity by applying a fast test of screening. *African J. Agr. Res.* 6: 780 – 784.
9. Boman, B.J., Obreza, T.A. & Morgan, K.T. 2008. Citrus Best Management practices: Fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. *Proceeding of The 11th International Society of Citriculture*. pp. 573 – 578.
10. Bui, E.N., Loeppert, R.H. & Wilding, L.P. 1990. Carbonate Phases in calcareous soils of western United States. *Soil Science Society of American Journal*. 54: 39- 45.
11. Byrne, D.H., Rouse, R.E. & Sudahono. 1995. Tolerance to citrus rootstocks to lime-induced iron chlorosis. *Subtrop. Plant Science*. 47: 7 – 11.
12. Cambra, M., Gorris, M.T., Marroquin, C., Roman, M.P., Olmos, A., Martinz, M.C., Mendoza, A.H. & Lopez, A. 2000. Incidence and epidemiology if citrus tristeza virus in the Valencian community of Spain. *Virus Research*. 71: 85 – 95.
13. Campbell, C.W. 1991. Rootstocks for the Tahiti lime. *Proceeding of the Florida State Horticultural Society*.104: 28-30.

14. Carmen, M., Jose Liosa, M., Quijano, A. & Angeles, M. 2009. Effect of rootstocks on photosynthesis of leaves of Navelina trees grown in calcareous soils. *HortScience*. 48: 242-250.
15. Carpena, O. 1983. Dinamica de nutrientes en portainjertos de citrus. I: Congreso Mundial de la Asociacion de Viveiristas de Agrios. *International Society of Citrus Nurserymen*, Valencia, Spain. pp. 58 – 61.
16. Carter, M. R. 1981. Association of total CaCO_3 and active CaCO_3 with growth of fine tree species on chernozemic soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 61: 173 -175.
17. Castle, W.S. & Nunnallee, J. 2009. Screening citrus rootstocks and related selections in soil and solution culture for tolerance to low-iron stress. *HortScience*. 44: 638-645.
18. Castle, B. & Stover, E. 2001. Update on use of swingle citromelo rootstock. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences.
19. Castle, W.S., Grosser, J.W., Gmitter, F.G., Schnell, R.J., Ayala-Silva, T., Crane, J.H. & Bowman, K.D. 2004. Evaluation of new citrus rootstocks for Tahiti lime production in Southern Florida. *Proceeding of the Florida State Horticultural Society*. 117: 174 -181.
20. Castle, W.S., Wutscher, H.K., Youtsey, C.O. & Pelosi, R.R. 1988. Citrumelos as rootstocks for Florida citrus. *Proceeding of the Florida State Horticultural Society*. 101: 28 - 33.
21. Chouliaras, V., Therios, I., Angelos, P., Molassiotis, A.N., Antigoni, M. & Papavaslopoulos, A. 2004. The effect of iron deficiency and bicarbonate treatments on physiological and biochemical parameters in citrus. *Agro Thesis*. 2: 11 -18.
22. Donnini, S., Castagna, A., Ranieri, A. & Zocchi, G. 2009. Differential responses in pear and quince genotypes induced by Fe deficiency and bicarbonate. *Journal of Plant Physiology*. 166: 1181-1193.
23. Embleton, T.W., Jones, W.W., Labanauskas, C.K. & Reuther, W. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization (W. Reuther, ed.). *The Citrus Industry*, Vol.3, pp. 183 – 210. Div. Agri. Sci., Berkeley, Calif, USA.
24. Fadl, A., El-Otmani, M., Benismail, M.C., Abouatallah, A. & El-Jaouhari. 2008. Optimizing irrigation water supply in a young citrus orchard. *Proceeding of The 11th International Society of Citriculture*. pp. 573 – 578.
25. Ferguson, L., Sacovieh, N. & Roose, M. 1990. California citrus rootstocks. University of California Publication. 21477. P. 12-18.
26. Gee, G.W. & Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P. 383 – 411. In: A. Klute, (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part1. SSSA, Madison, WI.
27. Guerinot, M.L. & Yi, Y. 1994. Iron: nutritious, noxious and not readily available. *Plant Physiology*. 104: 815-820.
28. Katyal, J.C. & Sharma, B.D. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil*. 55: 105- 119.
29. Kosegarten, H., Hoffman, B., Roco, E., Grolig, F., Gluesenkamp, K. & Mengel, K. 2004. Apoplastic pH and Fe^{III} reduction in young sunflower (*Helianthus annuus*) roots. *Physiol. Plant*. 122: 95 – 106.
30. Kosegarten, H., Hoffmann, B. & Mengel, K. 1999. Apoplastic pH and Fe^{3+} reduction in intact sunflower leaves. *Plant Physiology*. 121: 1069 – 1079.
31. Kosegarten, H., Wilson, G.H. & Esch, A. 1998. The effect of nitrate nutrition on iron chlorosis and leaf growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.). 8: 283 – 292.
32. Kosegarten, H. & Koyto, H. 2001. Apoplastic accumulation of iron in the epidermis of maize (*Zea mays*) roots grown in calcareous soil. *Physiol. Plant*. 113: 515 – 522.
33. Lindsay, W.L. & Norvel, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421- 428.
34. Loeppert, R.H., Wei, L.C., Ocumpaugh, W.R. 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.
35. Louzada, E.S., del Rio, H.S., Setamou, M., Watson, J.W. & Swietlik, D.M. 2008. Evaluation of citrus rootstocks for the high pH, calcareous soils of South Texas. *Euhytica*. 164: 13 – 18.
 36. Marchal, J. 1984. Citrus. In: P. Martin et al., (Eds.), *Plant Analysis as Aguide to the Nutrient Requirements of Temperate and Tropical Crops*,(pp. 320 – 354). Lavoisier Publishing INC. New York.
 37. Maribela, P., Amarilis, V., Javier, A., Eugenio, A.F. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. *Sci. Horti*. 104: 25 – 36.
 38. 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.
 39. 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, The etherlands. 389-397.
 40. Mengel, K., Geurtzen, G. 1986. Iron chlorosis in calcareous soils. Alkaline nutritional condition as the cause for the chlorosis. *J. Plant Nutr*. 9: 161-173.
 41. Mohammad, M.J., Najim, H. & Khresat, S. 1998. Nitric acid– and O-Phenanthroline-extractable iron for diagnosis of iron chlorosis in citrus lemon trees. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 29: 1035 – 1043.
 42. Neaman, A., & Aguirre, L. 2007. Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. *Journal of Plant Nutrition*. 30: 1098 – 1108.
 43. Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 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.
 44. Nikolic, M. & Romheld, V. 1999. Mechanism of Fe uptake by symplast: Is inactivation in leaf a cause of deficiency chlorosis? *J. Plant and Soil*. 215: 229 – 237.
 45. Olsen, S.R. & Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: A.L. Page et al., (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Monograph no 9. (pp. 403-430). Am. Agron., Madison, WI.
 46. Pestana, M., de Varrnes, A., Abadia, J. & Araujo Faria, E. 2005. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. *Scientia Horticulturae*. 104: 25 – 36.
 47. Qrtiz, P.R., Meza, B.J.C., Garza Requena, F.R., Flores, G.M. & Etchevers Barra, J.D. 2007. Evaluation of different iron compound in chlorotic Italian lemon. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45: 330-334.
 48. Recupero Reforgaiato, G., Russo, F. 1988. A trial of rootstocks for clementine Comune in Italy. *International Citrus Congres* (6th: 1988: Tel Aviv, Israel): Margraf. 1: 61 – 66.
 49. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grape vine. *Journal of Plant Nutrition*. 13: 1629-1643.
 50. Sagee, O., Hasdai, D., Hamou, M. & Shaked, A.1992. Screenhouse evaluation of new citrus rootstocks for tolerance to adverse soil condition. *Proceedings International Society Citriculture*. 1: 299 – 303.
 51. 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.
 52. Sudahono, Byrne, D.H. & Rouse, R.E. 1994. Greenhouse screening of citrus rootstocks for tolerance to bicarbonate-induced iron chlorosis. *HortScience*. 29: 113 – 116.
 53. Tagliavini, M., Abadia, J., Rombola, A.D., Abadia, A., Tsipouridis, C. & Marangoni, B. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees. *Journal of Plant Nutrtrion*. 23: 2007-2022.

54. Tagliavini, M. & Rombola, A.D. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *European Journal of Agronomy*. 15: 71– 92.
55. Therios, I., Chouliaras, V., Bizas, D., Boukouvalas, S., Palioura, E., Hatzidimitriou, E., Basioukas, D., Gioldasis, V. & Stavrou, N. 2005. Changes in leaf biochemical and physiological indices due to iron deficiency in citrus. *AgroThesis*.1: 18 – 25.
56. Toulon, V., Sentenac, H., Thibaud, J.B., Davidian, C., Moulineau, C. & Grignon, C. 1992. Role of apoplast acidification by the H⁺ pump. Effect on the sensitivity to pH and CO₂ of iron reduction. *Planta*. 186: 212-218.
57. Ullrich, W.R. 1992. Transport of nitrate and ammonium through plant membranes. In: Mengel, K., Pilbeam, D.J. (Ed.), *Nitrogen Metabolism in Plants*. Oxford University Press, Oxford, pp. 121-137.
58. Wei, L.C., Ocumpaugh, W.R. & Loeppert, R.H. 1994. Plant growth and nutrient uptake characteristics of Fe – deficiency chlorosis susceptible and resistant subclovers. *Plant and Soil*. 165: 235 – 240.
59. Wiren, N.V., Grusak, M.A. 2000. Summary of IX international symposium of iron nutrition and interaction in plants. *Journal of Plant Nutrition*. 23: 2083-2102.
60. Wright, G.C., Tilt, P.A. & Pena, M.A. 1999. Results of scion and rootstock trials for citrus in Arizona. *Final report for project 98-12*. University of Arizona, College of Agriculture.
61. Wutscher, H.K., Maxwell, N.P. & Shull, A.V. 1975. Performance of nucellar grapefruit (*Citrus Paradisi Macf.*) on 13 rootstocks in south Texas. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 100: 48 - 51.
62. Yang, L., Li, G., Lin, Q. & Zhao, X. 2010. Active carbonate of chestnut soils in different lands. *Ecology and Environmental Science*.19: 428 – 432.
63. Zribi, K. 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. *J. Plant Nutr.* 25: 2143-2149.