

## تزریق سولفات آهن در خاک، راهکاری ارزان برای درمان کمبود آهن درختان میوه

حسین حیدری کهل<sup>۱</sup>، سید محمود سمر<sup>۱</sup> و محمد معز اردلان

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.

[hoseinheydari131@yahoo.com](mailto:hoseinheydari131@yahoo.com)

استادیار موسسه تحقیقات آب و خاک.

[mahmoodsamar@hotmail.com](mailto:mahmoodsamar@hotmail.com)

استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج.

[mardalan@ut.ac.ir](mailto:mardalan@ut.ac.ir)

\* دریافت: مهر ۱۳۹۳ و پذیرش: اسفند ۱۳۹۳

### چکیده

آزمایشی که در فاصله سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ در یک باغ هلو در منطقه شهریار انجام شد، این شبیه را برطرف نمود. در این آزمایش کارآیی روش تزریق سولفات آهن - مواد آلی به تنهایی و یا به همراه اسید سولفوریک، در مقایسه با کلات آهن ارزیابی شد. اندازه گیری شدت سبزی برگ با استفاده از کلروفیل متر نشان داد که تزریق سولفات آهن - مواد آلی به همراه اسید سولفوریک، به اندازه کلات آهن در شرایط باغ آزمایشی موثر بوده است. غلظت منگنز در برگ، در تیمار "کلات آهن" کاهش شدیدی نشان داد در حالی که در تیمار تزریق اینگونه نبود. کاهش غلظت منگنز در برگ پس از مصرف کلات آهن پدیده‌ای شناخته شده در علم تغذیه گیاه است که خوشبختانه این ویژگی منفی در روش تزریق سولفات آهن دیده نمی شود. شدت سبزی برگ در اوایل سال دوم، همزمان با اوج زردی برگ و برای ارزیابی اثربخشی تیمارهای سال گذشته نیز اندازه گیری شد، که بیانگر تداوم اثربخشی تیمارهای تزریق بود. از طرف دیگر زردی برگها در تیمار کلات آهن مشهود و بیانگر کوتاه مدت بودن اثربخشی این کود بود. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که برای مقابله با زردی برگ در بسیاری از باغهای میوه، روش تزریق سولفات آهن با کود آلی و اسید سولفوریک، جایگزین مناسب و ارزانی برای کلات آهن می باشد.

واژه‌های کلیدی: کلروز، سولفات آهن، تزریق در خاک، کمبود آهن، درخت هلو، اسید سولفور.

<sup>۱</sup> - آدرس نویسنده مسئول: موسسه تحقیقات خاک و آب

## مقدمه

مقدار کل آهن در خاک ها، بین ۱ تا ۲۰ درصد وزنی متغیر می باشد (میانگین چهار درصد). بنابراین در مقایسه با سایر عناصر غذایی ضروری، مقدار این عنصر در خاک بسیار زیاد است. هر چند گیاهان در هر هکتار تنها بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم آهن در سال جذب می کنند، با این وجود در بسیاری مواقع، رشد طبیعی آنها از تغذیه نامناسب آهن صدمه می بیند. این حالت به ویژه در خاکهای آهکی، صادق می باشد. خاکهای آهکی (خاکهایی که در آن کربنات کلسیم آزاد وجود دارد) یک سوم از اراضی جهان را در بر گرفته اند (فائو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵) و در کشور ما نیز به زحمت می توان خاکهای یافت که آهکی نباشد. کمی آهن قابل استفاده برای گیاهان در این گونه خاکها، معمولاً مرتبط با حلالیت کم ترکیبات آهن دار در شرایط بازی و اکسایشی می باشد. البته خاکهایی که از نظر پی اچ<sup>۲</sup> و پتانسیل اکسایش<sup>۳</sup> و کاهش<sup>۴</sup> مشابه باشند، لزوماً مقدار یکسانی آهن در اختیار گیاه قرار نمی دهند. این امر ناشی از تفاوت در ویژگیهای کانی شناسی و بلورشناسی ترکیبات آهن دار خاک می باشد (لیندسی<sup>۵</sup>، ۱۹۹۱). علاوه بر این توانایی ریشه های گیاهان نیز در جذب آهن از خاک متفاوت می باشد. مجموعه این عوامل باعث می شود تا در برخی شرایط شاهد کمبود آهن و زردی برگ در گیاهان کشت شده باشیم.

آهن دو ظرفیتی، شکل غالب آهن در بیشتر کانیهای اولیه خاک است. به دنبال انحلال کانیهای اولیه در فرآیند هوازدگی، آهن دو ظرفیتی آزاد می شود. در صورت وجود اکسیژن فراوان در محیط، که خود ناشی از وجود تهویه در خاک می باشد، آهن دو ظرفیتی به آهن سه ظرفیتی تبدیل شده و در نهایت رسوبات انواع اکسیدهای آهن سه ظرفیتی شکل می گیرد. اکسیدها، هیدروکسیدها و اکسی هیدروکسیدهای آهن متنوعی در

خاکها وجود دارند. از جمله مهمترین آنها، گوئیتایت<sup>۶</sup> ( $\alpha\text{-FeOOH}$ )، همتایتایت<sup>۷</sup> ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )، لپیدوکروسایت<sup>۸</sup> ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) و مگهمایت<sup>۹</sup> ( $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ ) را می توان نام برد. در خاکهای تهویه دار مناطق خشک و نیمه خشک، گوئیتایت و همتایت فراوانترین اشکال می باشند. حلالیت این ترکیبات و همچنین ترکیبات دیگری که از آنها با عنوان کلی "آهن خاک"<sup>۱۰</sup> یاد می شود، به قدری کم است که در پی اچ حاکم بر خاکهای آهکی، تمامی انواع گیاهان، قادر به جذب مقدار کافی از آهن نیستند و برخی به وضوح علائم کمبود آهن را نشان می دهند (لیندسی، ۱۹۹۱).

کمبود آهن، در باغهای مناطق مختلفی از جهان، از جمله اسپانیا، یونان، فرانسه، ایتالیا، ایالات متحده، ترکیه، آرژانتین، هندوستان و ایران گزارش شده است. درختان کیوی، هلو، گلابی، مرکبات، گیلاس و انگور، حساسیت بیشتری به این عارضه دارند (رامبول و تاگلیاوینی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۶). البته مقاومت ارقام یک نوع درخت میوه نیز نسبت به کمبود آهن، متفاوت می باشد. درختان میوه دچار کمبود آهن، با شدت بیشتری دچار سال آوری شده و در کل حساسیت بیشتری به آفات و بیماریهای گیاهی دارند. همچنین کاهش عملکرد و کیفیت میوه، از ویژگیهای بارز چنین درختانی می باشد. زردی بین رگبرگی در برگهای انتهایی شاخه، آشکارترین علامت کمبود آهن در درختان می باشد.

قبل از عرضه کلات های آهن در بازار، استفاده از کود سولفات آهن در باغهای دچار کمبود مرسوم بود. مصرف این کود معدنی آهن دار به صورت اختلاط با خاک سطحی، محلول پاشی و یا تزریق در تنه درختان، از نخستین راههای مقابله با کمبود آهن به شمار می رفت. مصرف کود سولفات آهن، اثربخشی قاطعی نداشت. به

6 - Goethite  
7 - Hematite  
8 - Lepidocrocite  
9 - Maghemite  
10 - Soil Iron  
11 - Rambola and Tagliavini

1 - FAO  
2 - pH  
3 - Oxidation  
4 - Reduction  
5 - lindsay

ولی معمولاً اقتصادی نیست. در صورتی که بخواهیم با افزودن مقادیر کمتری از سولفات آهن و مواد آلی نتایج خوبی به دست آید، گاهی جایگذاری موضعی موثر می باشد. در این حالت سولفات آهن و مواد آلی به صورت نواری و یا نقطه‌ای در خاک (در مجاورت و یا مسیر توسعه ریشه درخت) قرار می‌گیرد. در جایگذاری موضعی از شدت واکنش‌های شیمیایی آهن با ذرات خاک (که منجر به غیر قابل جذب شدن آن برای گیاه می‌شود)، کاسته می‌شود. نقش مواد آلی در این حالت تشکیل ترکیبات پیچیده با آهن و جلوگیری از رسوب آن می باشد (سمر و همکاران، ۱۳۹۰).

ویژگی دیگر ترکیبات معدنی آهن دار، بی تحرکی آنها در ستون خاک می‌باشد. به عبارت دیگر، در صورت افزودن محلول این مواد در سطح خاک، آهن به همراه آب نافذ، به اعماق خاک منتقل نمی‌شود. بنابراین حتی کاتیون‌های آهنی که از اکسید شدن و رسوب مضمون مانده‌اند، به محل فعالیت ریشه‌های درختان منتقل نمی‌شوند. بنابراین در عمل بایستی ترکیبات معدنی آهن‌دار، به گونه‌ای در مجاورت ریشه‌ها قرار گیرند.

اثرات مفید ماده آلی بر فراهمی<sup>۲</sup> آهن، توسط محققان گزارش شده است. عزیزی و گلپسر<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) اثر مفید کاربرد ترکیبی از برگهای مرمر، شلتوک برنج و زغال چوب به همراه سولفات آهن بر رفع زردی برگ‌های آهنی ذرت را گزارش نمودند. هورش<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۱)، درگلدان‌هایی که نهال مرکبات کشت شده بود، مقدار کمی از خاک آهنی را خارج کرده و در جای آن یک نوع خاک پیت به همراه سولفات آهن اضافه کردند. با این روش زرد برگی آهنی نهال‌ها اصلاح شد. جایگذاری موضعی سولفات آهن و مواد آلی در عمق خاک یک باغ سیب (با عنوان روش چالکود)، نیز موثر گزارش گردیده است (سمر و همکاران، ۲۰۰۱). در این آزمایش نسبت وزنی ماده آلی به سولفات آهن در حدود ۲۰ به یک بود.

همین علت زمینه برای ساخت و ترویج کلات های آهن فراهم شد. هم اکنون قیمت یک کیلوگرم سولفات آهن در حدود هشت هزار ریال و قیمت یک کیلوگرم کلات آهن مناسب برای مصرف خاکی در حدود ششصد هزار ریال می‌باشد. اگر به‌طور متوسط ۱۰۰ گرم کلات آهن برای رفع کمبود آهن در طول یک سال برای یک درخت بالغ نیاز باشد (مقدار متوسط از ۵۰ تا ۱۵۰ گرم)، هزینه مصرف این کود برای هر درخت شصت هزار ریال خواهد بود. در صورتی که سولفات آهن به طریق موثری در خاک مصرف شود، در حدود یک کیلوگرم برای یک درخت نیاز می‌باشد (هشت هزار ریال). البته بر خلاف کلات آهن که حداکثر یک سال دوام دارد، ممکن است اثرات سولفات آهن بیش از یک سال هم برقرار باشد. از طرف دیگر کلاتها حلالیت بالایی داشته و مخاطرات زیست محیطی خاص خود (مانند سایر کودهای با حلالیت بالا) را به همراه دارند.

هر چند حلالیت سولفات آهن در آب کم نیست، ولی پس از قرار گرفتن محلول آن در میان ذرات خاک به سرعت رسوب می‌کند. این مطلب در آزمایشهای نورول و لیندسی<sup>۱</sup> (۱۹۸۲) به خوبی آشکار می‌باشد. ایشان در آزمایشی به یک خاک آهنی، محلول کلرید آهن (ترکیب معدنی آهن دار که واکنش آهن آن در خاک، مشابه سولفات آهن می‌باشد) افزوده و فعالیت یونهای  $OH^-$  و  $Fe^{3+}$  محلول خاک را در فواصل زمانی معین اندازه‌گیری کردند.

نتایج نشان داد که حاصل ضرب حلالیت یون-های فوق به تدریج کاهش یافته و در نهایت پس از ۳۰ روز، مقدار لگاریتمی آن به ۳۹/۳- (حلالیت ترکیبات آهن‌دار موجود در خاک) تقلیل یافت. به همین علت مصرف خاکی سولفات آهن همواره اثر بخش نیست. البته مصرف مقادیر فراوان از سولفات آهن (مثلاً بیش از یک تن در هکتار)، همراه با مقادیر زیادی مواد آلی (مثلاً بیش از ۱۵ تن در هکتار)، اثرات مثبتی می‌تواند داشته باشد،

<sup>2</sup> - Availability

<sup>3</sup> - Azizi and Glaser

<sup>4</sup> - Horesh

<sup>1</sup> - Norvel and Lindsay

حلالیت آهن داشته باشد (هاولین<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). البته این افزایش چندان پایدار نبوده و در واکنش با آهن خاک، در مدت زمان نسبتاً کوتاهی از میان می‌رود. با این حال در همان زمان کوتاه نیز ممکن است باعث افزایش جذب آهن شده و بسته به شرایط در مداوای کمبود آهن موثر واقع شود. المو<sup>۶</sup>، (۱۹۹۴) معتقد است در صورتی که اسید سولفوریک غلیظ، ابتدا با مواد آلی واکنش داده شود، باعث متلاشی شدن آن به ابعاد کلونیدی شده و اثربخشی بهتری خواهد داشت.

باغهای هلو در منطقه شهریار به درجات متفاوتی از کمبود آهن متاثر می‌باشند. این مشکل به ویژه در باغهایی که به روش سطحی آبیاری می‌شوند دیده می‌شود. به طور کلی درختان هلو از حساسترین درختان میوه به کمبود آهن بوده و در بسیاری از باغهای این میوه مصرف کلات آهن رایج می‌باشد. در این پژوهش از روش تزریق سولفات آهن به همراه مواد آلی، با یا بدون اسید سولفوریک، استفاده و تاثیر آن بر رفع زردی برگ درختان بررسی و با کود "کلات آهن با بنیان ئی دی ای" مقایسه گردیده است.

### مواد و روشها

آزمایش در سالهای ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در باغ هلو مبتلا به کمبود آهن، در منطقه شهریار (کرج) انجام گردید. مساحت این باغ پنج هکتار ( دارای ۲۶۰۰ اصله درخت) بود که به روش سطحی آبیاری می‌شدند. درختان از انواع متفاوتی بودند و درختان هلو، زردی برگ را شدیدتر و بسته به موقعیت در باغ، به درجات مختلفی نشان می‌دادند. در بازدیدی که در مرداد ماه ۱۳۹۰ از این باغ به عمل آمد، زردی برگ سرشاخه‌ها در درختان هلو به وضوح قابل مشاهده بود و براساس اظهارات مدیر باغ، این زردی در تمام فصل رشد ادامه می‌یافت. قطعه‌ای از باغ که تا حد ممکن دارای درختان یکسانی بود (حدود ۱۴۰ درخت پنج

روش چالکود به نیروی کارگری و مقدار زیادی مواد آلی نیاز دارد. در سالهای اخیر دستمزدها و قیمت مواد آلی افزایش یافته و به همین علت تا حدی مقبولیت روش چالکود کاهش یافته است. اخیراً ماشینهای پیشرفته‌ای برای تزریق هیدروژلها در عمق خاک، وارد کشور شده است. با اینگونه دستگاهها امکان تزریق کود و مواد آلی نیز وجود داشته و در صورت استفاده از آن، هزینه‌های کارگری برای جایگذاری کود کاهش می‌یابد.

در صورتی که سولفات آهن جایگذاری شده با دستگاه تزریق که با مقدار کمتری از مواد آلی همراه است، همانند روش چالکود اثربخشی داشته باشد، راهکار جدیدی برای مقابله با کمبود آهن در اختیار باغداران قرار می‌گیرد. محققان چندی از روش تزریق برای رفع کمبود آهن استفاده کرده‌اند. رومبولا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) و اماری و حتار<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) برای رفع کمبود آهن درختان کیوی و لیمو، سوسپانسیون حاوی فسفات آهن ( $(\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O})$ : ویویانیت<sup>۳</sup>) را در خاک نزدیک ریشه، تزریق نمودند. نتایج مثبتی (با درجات اثر بخشی متفاوت) در این آزمایشها حاصل گردید. همچنین کاناسوراس و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) با روش مشابهی سولفات آهن و سیدریت را در خاک باغهای دارای چهار رقم متفاوت درخت زیتون تزریق نمودند. تزریق این دو ترکیب آهندار معدنی فقط بر روی دو رقم از چهار رقم اثرات مثبت نشان داد. بنابراین بایستی به خاطر داشت که اثر بخشی روش تزریق نیز همیشه قاطع نیست و به عوامل محیطی و مدیریتی (مقدار آهن، شوری، مواد آلی، رطوبت، دما و تهویه خاک) و همچنین ویژگی‌های وراثتی گیاه وابسته می‌باشد (سمر و همکاران، ۱۳۹۰).

برای افزایش اثر بخشی سولفات آهن و مواد آلی تزریقی، افزودن اسید نیز با استفاده از دستگاه تزریق امکانپذیر می‌باشد. بر اساس یافته‌های علمی موجود، کاهش پی اچ کود تزریقی می‌تواند اثر خوبی بر افزایش

<sup>1</sup> - Rombola et. al

<sup>2</sup> - Ammari and Hattar

<sup>3</sup> - Vivianite

<sup>4</sup> - Canasveras et al

<sup>5</sup> - Havlin

<sup>6</sup> - Elmo

<sup>7</sup> - Fe-EDDHA

ساتنی متری تهیه (نمونه مرکب) و برخی ویژگیهای آن در آزمایشگاه، بر اساس روشهای متداول در موسسه تحقیقات خاک و آب (علی احیایی، ۱۳۷۳) اندازه گیری شد جدول(۱).

ساله، پایه هلوی بذری و پیوند هلوی انجیری) برای اجرای آزمایش انتخاب گردید. برای جلوگیری از تداخل اثر تیمارها، درختان آزمایشی به گونه ای انتخاب گردیدند که میان دو درخت آزمایشی، حداقل یک ردیف درخت فاصله باشد. به منظور کسب اطلاعات لازم از ویژگیهای خاک، دو نمونه خاک از اعماق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ مورد آزمایش

| عمق(سانتی متر) | واکنش گل اشباع (پی اچ) | کربنات کلسیم معادل (درصد) | گچ (درصد) | کربن آلی (درصد) | قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر) | کلاس بافت |
|----------------|------------------------|---------------------------|-----------|-----------------|--|-----------|
| ۰-۳۰           | ۷/۶                    | ۱۴                        | ۰         | ۱/۳             | ۱/۰۵   | لومی      |
| ۳۰-۶۰          | ۷/۸                    | ۱۲                        | ۰         | ۱/۶             | ۰/۹۷   | لومی      |

جدول ۱- ویژگی های خاک (ادامه)

| عمق (سانتی متر) | نیترژن کل (درصد) | فسفر قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | پتاسیم قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | منیزیم قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | آهن قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | منگنز قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | روی قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) | مس قابل جذب (میکرو گرم بر گرم) |
|-----------------|------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| ۰-۳۰            | ۰/۱              | ۶۲                               | ۵۵۴                                | ۲۸۷                                | ۱۱                              | ۱۴                                | ۲                               | ۲                              |
| ۳۰-۶۰           | ۰/۲              | ۷۸                               | ۵۲۲                                | ۳۰۶                                | ۱۲                              | ۱۳                                | ۲                               | ۲                              |

سایه‌انداز هر درخت در اوایل اردیبهشت ماه (مطابق با توصیه شرکت سازنده).

✱ پخش سطحی: مصرف ۳۰۰۰ گرم کود دامی به همراه ۱۰۰۰ گرم سولفات آهن (دارای ۲۵ درصد آهن) به صورت اختلاط با خاک سایه انداز (تا عمق ۱۵ سانتیمتری).

✱ تزریق: تزریق تمامی کودهای مصرفی در تیمار سه (به همراه ۱۰ لیتر آب) برای هر درخت در چهار نقطه در انتهای سایه انداز درخت در اوایل اردیبهشت ماه.

✱ تزریق اسیدی: مشابه تیمار چهار با این تفاوت که مواد آلی ابتدا به مدت دو روز با اسید غلیظ تیمار شدند (۹۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ تجاری) و سپس سولفات آهن به آن اضافه شد.

مقدار مصرف کود دامی کم در نظر گرفته شد تا امکان تزریق آن توسط دستگاه وجود داشته باشد. به عبارت دیگر در روش تزریق کود در خاک توسط دستگاه،

بر این اساس، کود سرک اوره (۱۰۰ گرم در دو نوبت)، برای هر درخت مصرف گردید. در طول دوره آزمایش، مدیریت یکسان (خاکورزی، مبارزه با علفهای هرز، مبارزه با آفات و بیماریها و آبیاری) برای تمامی درختان قطعه آزمایشی، توسط باغدار اعمال گردید. قبل از اجرای تیمارها، گودالی در اطراف یکی از درختان باغ حفر و مشاهده گردید که بیشترین پراکنش ریشه درخت در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتیمتری می‌باشد. این عمق برای تزریق کود در نظر گرفته شد. این پژوهش در قالب طرح آزمایشی کاملا تصادفی و با چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از:

✱ شاهد: بدون مصرف کود آهن و مصرف ۳۰۰۰ گرم کود دامی به صورت اختلاط با خاک سایه انداز (تا عمق ۱۵ سانتیمتری).

✱ کلات آهن: افزودن ۴۰ گرم کلات آهن با بنیان ئی دی (حل شده در ۱۰ لیتر آب آبیاری) به خاک

امکان تزریق مقدار زیاد مواد وجود ندارد (محدودیت منافذ و شکافهای خاک برای جای دادن مواد تزریقی). با توجه به بروز مشکلات فنی در دستگاه تزریق تدارک دیده شده برای این آزمایش، عمل تزریق کود شبیه سازی شد. به این ترتیب که توسط اگر، گودالی به قطر ۱۴ و عمق ۵۰ سانتیمتر حفر و کودهای مربوط به تیمار تزریق به داخل آن افزوده گردید. این عمل به آهستگی انجام شد تا بیشترین نفوذ کود به توده خاک از عمق ۲۰ سانتیمتری به بعد باشد (بیشترین پراکنش ریشه).

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده ها در سال ۱۳۹۱ در جدول (۲) ارائه گردیده است. اولین شاخص کلروفیل اندازه گیری شده، در دو تیمار "کلات آهن" و "تزریق اسیدی" یکسان و بیشتر از تیمارهای دیگر بود. شاخص کلروفیل در مرحله دوم در سه تیمار "کلات آهن"، "تزریق" و "تزریق اسیدی" یکسان و بیشتر از تیمارهای دیگر بود.

شاخص کلروفیل در مرحله سوم در تمامی تیمارها یکسان بود. به عبارت دیگر با گذشت فصل رشد، از شدت زردی برگ کاسته شده و برگ درختانی که کود دریافت نکرده بودند نیز به سبزی گراییده بودند. ممکن است افزایش دما و کاهش رطوبت خاک (همگام با گرم شدن هوا) عامل این پدیده باشد. احتمالاً با افزایش دما و کاهش آب خاک، تهویه افزایش یافته و از غلظت بیکربنات در محلول خاک کاهش یافته است. در این حالت در گیاهان دارای استراتژی یک (مانند درخت هلو) جذب آهن بهبود می یابد. این مطلب به خوبی در بررسیهای زو و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) و در گیاه سویا به اثبات رسیده است. ایشان گزارش کردند که با افزایش آب خاک از ۵۰ به ۱۰۰ درصد ظرفیت نگهداری، برگها زردتر می شدند. اندازه گیریهای ایشان همچنین نشان داد که با افزایش مقدار آب خاک، غلظت بیکربنات در ریزوسفر افزایش یافته و متعاقب آن قدرت احیای کلات آهن سه ظرفیتی در ریشه کاهش یافته و غلظت آن در آپوپلاست افزایش می یافت. به عبارت دیگر در غلظت بالای بیکربنات در ریزوسفر، ریشه قادر به احیای آهن سه ظرفیتی و انتقال آن به درون سیتوپلاسم سلولهای ریشه نبوده است. به همین علت آهن سه ظرفیتی در آپوپلاسم تجمع نموده است.

برای ارزیابی تاثیر تیمارها بر غلظت عناصر غذایی برگ، نمونه های برگ در اوایل تیر ماه از میان برگهای کامل و جوان شاخه های حاصل از رشد فصل جاری<sup>۱</sup> برداشت گردید. نمونه های ظرف مدت یک ساعت به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشو و خشک شدن، میزان عناصر غذایی آنها بر اساس روشهای مرسوم در موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه گیری شد (بی نام، ۱۳۷۵). همچنین مقدار رشد سال جاری سرشاخه ها و کلروفیل برگ (با استفاده از دستگاه کلروفیل متر، اسپد ۵۰۲، در چهار نوبت در تاریخهای ۹۱/۳/۲۴، ۹۱/۴/۱۹ و ۹۱/۵/۱۰ و ۹۲/۳/۱۲) نیز اندازه گیری گردید.

پس از رسیدن میوه ها، تمام میوه های هر درخت جداگانه برداشت و به این ترتیب عملکرد میوه هر درخت تعیین گردید. سپس ۱۰ عدد میوه به طور تصادفی از میان آنها انتخاب و به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه وزن و قطر افقی و عمودی یک میوه، همچنین پی اچ، درجه بریکس و اسیدیتیه قابل تیتر آب میوه اندازه گیری گردید. داده های به دست آمده با استفاده از نرم افزار سس<sup>۳</sup> ارزیابی و در مواردی که اختلاف تیمارها معنی دار بود، میانگینها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح پنج درصد) مقایسه شدند.

<sup>۱</sup> -Shoot

<sup>۲</sup> - SPAD 505, Minolta Co.

<sup>۳</sup> - SAS

<sup>۴</sup> - Zou et al.

افزایش اثربخشی آهن موجود در آن، علت چنین حالتی می تواند باشد (کوزگاتن و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹).

غلظت منگنز برگ، در تیمار تزریق اسیدی و همچنین تیمار کلات آهن کمتر از شاهد بود. با توجه به عدم افزایش غلظت آهن در برگها، به نظر میرسد که افزایش غلظت آهن در محلول خاک به طریقی از جذب و یا انتقال منگنز به قسمتهای هوایی جلوگیری کرده باشد. این اثر با حضور عامل کلات کننده تشدید شده است. کاهش جذب و یا انتقال منگنز در گیاهان به دنبال مصرف کود کلات آهن در سویا، توسط قاسمی فسایی و همکاران<sup>۴</sup> نیز گزارش گردیده است.

ایشان گزارش نمودند که مصرف خاکی کلات آهن با بنیان ئی دی دی اچ ای در کشت ۱۲ رقم سویا، باعث کاهش جذب و غلظت منگنز در برگها گردیده است. این ویژگی منفی کلاتهای آهن که در برخی تحقیقات دیگر نیز به آن اشاره شده، باعث گردیده که استفاده از راهکارهای دیگر در درمان کمبود آهن (مانند استفاده از سولفات آهن، روشهای به زراعی و گزینش ارقام مقاوم) در اولویت توصیه ها قرار گیرد (قاسمی فسایی و همکاران، ۲۰۰۲)، زیرا کاهش جذب منگنز و یا انتقال آن در داخل گیاه (ریشه به قسمت فوقانی) میتواند منجر به کاهش محصول و زیان اقتصادی شود.

در سال خرداد ماه سال ۱۳۹۲، شاخص کلروفیل مجدداً اندازه گیری شد (جدول ۲، سال دوم). همان گونه که مشاهده می شود، پس از گذشت یک سال از اعمال تیمارها، اثر کلات آهن کاملاً از میان رفته است. این در حالی است که تیمارهای تزریق همچنان برتری خود را نسبت به تیمار شاهد نشان می دهند. اثربخشی قاطع ولی کوتاه مدت، از ویژگیهای شناخته شده کلاتهای آهن می- باشد (آبادیا و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴) و در باغهای دچار کمبود آهن، مصرف سالانه و یا چند نوبت در یک سال، رایج می باشد.

در این راستا داونپورت و استیونس<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) نیز در فاصله سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴، شدت زردی برگ را در باغهای انگور احداث شده در خاکهای آهکی ایالت واشینگتن ارزیابی نمودند. آنها دریافتند که در سالهایی که قبل از باز شدن گلها، هوا سردتر و خاک خیستر بوده، شدت زردی برگ درختان مو افزایش می یافت. به هر حال بایستی به خاطر داشت که مدیریت آبیاری در باغها بایستی به گونه ای باشد که مقدار آب خاک، در اوایل فصل رشد زیاد نباشد. این چنین مدیریت در خاکهای با بافت سنگین مهمتر می باشد، زیرا درصد نسبی تخلخل درشت در این خاکها کمتر و با آبیاری، تهویه بیشتر مختل می شود.

علیرغم رفع زردی برگ، شاخصهای رشد و باردهی اندازه گیری شده (رشد طولی سال جاری سرشاخهها، وزن یک میوه، قطر افقی و عمودی میوه و عملکرد میوه یک درخت)، کیفیت میوه (پی اچ، اسیدیته قابل تیترو و درجه بریکس آب میوه) و غلظت بیشتر عناصر غذایی اندازه گیری شده در برگ (ازت، فسفر، آهن، مس، روی، و بور) تغییری نکرد. معمولاً توقع بر آن است که با رفع کلروز، رشد و باردهی درختان میوه بهبود یابد. به نظر می رسد که فاصله زمانی میان رفع کلروز و اندازه گیریها به قدری نبوده است تا اثرات فتوسنتز و ماده سازی بیشتر برگها، بر ویژگیهای مزبور آشکار گردد.

میزان آهن در برگها ارتباط خاصی با میزان کلروفیل نشان نداد. این یافته تاییدی بر این مطلب است که غلظت آهن در برگ به تنهایی بیانگر وجود یا عدم وجود کمبود آهن در درختان میوه نمی باشد. چنین حالتی در تحقیقات سایر محققین نیز به گزارش شده است (مورالس و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). استفاده از سولفات آهن با اسید در این آزمایش، احتمالاً باعث بهبود جذب و انتقال آهن شده و مقدار کلروفیل برگها را افزایش داده است. کاهش پی اچ آپوپلاست سلولهای پارانشیم برگ و

<sup>3</sup> - Kosegarten et al.

<sup>4</sup> - Ghasemi-Fasaei et al.

<sup>5</sup> - Abadia et al.

<sup>1</sup> - Davenport and Stevens

<sup>2</sup> - Morales et al.

جدول ۲- مقایسه میانگین تیماره (۱۳۹۱)

| شاهد               | کلات آهن | پخش سطحی سولفات آهن | تزریق خاکی سولفات آهن | تزریق خاکی سولفات آهن | شاخص کلروفیل (۹۱/۳/۲۴)           |
|--------------------|----------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| ۷/۶ B <sup>†</sup> | ۱۵/۴ A   | ۶/۵ B               | ۹/۲ B                 | ۱۴/۲ A                | شاخص کلروفیل (۹۱/۴/۱۹)           |
| ۷/۶ C              | ۱۵/۲ AB  | ۸/۸ BC              | ۱۵/۶ AB               | ۱۸/۲ A                | شاخص کلروفیل (۹۱/۵/۱۰)           |
| ۶B                 | ۹B       | ۵B                  | ۱۴A                   | ۱۴A                   | شاخص کلروفیل (۹۲/۳/۱۲)           |
| ۴/۵ A              | ۴/۵ A    | ۵/۶ A               | ۴/۷ A                 | ۴/۶ A                 | پی اچ آب میوه                    |
| ۹/۲ A              | ۱۱/۱ A   | ۵/۹ A               | ۸/۹ A                 | ۸/۴ A                 | درجه بریکس                       |
| ۴۱/۷ A             | ۴۰/۰ A   | ۵۹/۰ A              | ۳۶/۷ A                | ۳۳/۳ A                | طول سرشاخه (سانتی متر)           |
| ۵/۶ A              | ۶/۰ A    | ۵/۵ A               | ۵/۹ A                 | ۵/۷ A                 | قطر افقی میوه (سانتی متر)        |
| ۲/۷ A              | ۳/۱ A    | ۲/۹ A               | ۳/۱ A                 | ۲/۸ A                 | قطر عمودی میوه (سانتی متر)       |
| ۵۷/۳ A             | ۶۹/۸ A   | ۵۴/۲ A              | ۶۲/۹ A                | ۵۷/۶ A                | میانگین وزن میوه (گرم)           |
| ۶/۴ A              | ۷/۳ A    | ۶/۱ A               | ۹/۲ A                 | ۳/۴ A                 | عملکرد میوه هر درخت (کیلوگرم)    |
| ۳/۷ A              | ۴/۴ A    | ۴/۴ A               | ۳/۴ A                 | ۴/۸ A                 | میزان اسیدیته قابل تیتر          |
| ۳/۶ A              | ۳/۶ A    | ۳/۷ A               | ۳/۵ A                 | ۲/۵ A                 | غلظت نیتروژن برگ (%)             |
| ۰/۱۷ A             | ۰/۱۹ A   | ۰/۲۰ A              | ۰/۱۸ A                | ۰/۱۸ A                | غلظت فسفر برگ (%)                |
| ۲/۹ AB             | ۲/۳ B    | ۳/۲ A               | ۲/۵ B                 | ۲/۳ B                 | غلظت پتاسیم برگ (%)              |
| ۱۵۹ A              | ۱۵۱ A    | ۱۴۹ A               | ۱۶۲A                  | ۱۵۰A                  | غلظت آهن برگ (میکروگرم بر گرم)   |
| ۴۵ A               | ۲۸ C     | ۴۲ AB               | ۴۰ AB                 | ۳۴ BC                 | غلظت منگنز برگ (میکروگرم بر گرم) |
| ۱۴ A               | ۱۶ A     | ۱۶ A                | ۱۷A                   | ۲۴A                   | غلظت روی برگ (میکروگرم بر گرم)   |
| ۹/۱ A              | ۶/۷ A    | ۹/۶ A               | ۷/۷ A                 | ۷/۵ A                 | غلظت مس برگ (میکروگرم بر گرم)    |
| ۸۶ A               | ۵۴ A     | ۷۰ A                | ۷۸ A                  | ۵۴ A                  | غلظت بور برگ (میکروگرم بر گرم)   |

†: حروف مشابه بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ میان تیمارها می‌باشد

## نتیجه گیری و رهیافت ترویجی

اثربخشی مواد اصلاح کننده تزریق شده برقرار بماند. به هر حال با توجه به اثر کوتاه مدت کلاتهای آهن، ایجاد اختلال شدید این کود در جذب منگنز و همچنین مخاطرات زیست محیطی بالقوه آن (آبادیا و همکاران، ۲۰۰۴)، به کارگیری روش تزریق در باغهای دارای شرایط مشابه توصیه می‌گردد. در صورتی که اعمال چنین تیماری با سایر مدیریتهای بهینه در باغ همراه شود (آبیاری مناسب، کاهش فشردگی خاک از طریق افزودن مواد آلی و کاهش رفت و آمد ماشین آلات به ویژه در خاک خیس)، احتمال موفقیت این روش در رفع کمبود آهن در هر باغی مطرح می‌باشد.

در کل نتایج این آزمایش نشان داد که تزریق مقدار بسیار کمی ماده آلی (در مقایسه با مدیریتهای مرسوم) به همراه سولفات آهن، روش موثری برای جایگزینی کلات آهن بوده و افزودن اسید معدنی نیز بر کارایی آن افزوده و اثرات آن تا سال دوم نیز ادامه یافته است. در صورت ادامه آزمایش، ممکن است در سال و یا سالهای بعد نیز نیازی به تزریق مجدد نباشد، که در این حالت هزینه‌ها باز هم کمتر می‌شود. به علاوه، از آنجا که در برگ مقادیر کافی آهن وجود دارد، و مهمتر آن که با اصلاح زردی برگ غلظت آهن در برگ کاهش نیافته، ممکن است با کاهش مقدار و یا حذف سولفات آهن،



## فهرست منابع

۱. امامی، ع. ۱۳۷۵. روشهای تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه فنی شماره ۹۸۲، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۲. امامی، ع. و ع. ابهبانی زاده. ۱۳۶۵. روشهای آزمایشگاهی تجزیه کودهای شیمیایی مطابق با روشهای استاندارد بین المللی. نشریه فنی شماره ۷۰۷، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
۳. سمر، س. م. س سماوات، م. س. تدین، ح. رضایی، م. م. طهرانی، م. س. اردکانی، ح. بشارتی و ع. ر. فلاح. ۱۳۹۰. آهن در خاک و گیاه، ۱۹۱ صفحه. نشر آموزش کشاورزی. کرج، ایران.
۴. علی احمایی، م. ۱۳۷۶. شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک (جلد دوم). نشریه فنی شماره ۱۰۲۴. موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
5. Abadia, J., A. Alvarez-Fernandez, A. D. Rombola, M. Sanz, M. Tagliavini and Anunciacion Abadia. 2004. Technologies for the Diagnosis and Remediation of Fe Deficiency. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50 (7): 965-971.
6. Ammari. T.G. and B.Hattar. 2011. Effectiveness of vivianite to prevent lime-induced iron deficiency in lemon trees grown on highly calcareous Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:2586–2593.
7. Azizi. P. and B. Glaser. 2006. Organic iron fertilizers from hornbeam-leaves, outer rice husks and charcoal. *Journal of Applied Sciences*, 6(3): 673-677.
8. Cañasveras, J.C., A.R. Sánchez-Rodríguez, M.C. del Campillo, V. Barrón and J. Torrent. 2013. Lowering iron chlorosis of olive by soil application of iron sulfate or siderite. *Agronomy for Sustainable Development*. DOI 10.1007/s13593-013-0191-4
9. Davenport, J. R. and R. G. Stevens. 2006. High soil moisture and low soil temperature are associated with chlorosis occurrence in concord grape. *Hortscience* 41(2):418-422.
10. Elmo. R. Method for producing suspension fertilizer. 1994. United States Patent 5443613. In: <http://patent.ipexl.com>
11. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2005) Land and Plant Nutrition Management Services Map of World Calcisols [Online]. Available at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/prosoil/calc.htm> (verified May 2005).
12. Ghasemi-Fasaee, R., A. Ronaghi, M. Maftoun, N. Karimian and P. N. Soltanpour. 2002. Influence of FeEDDHA on Iron–Manganese Interaction in Soybean Genotypes in a Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition*: 26(9)1815-1823.
13. Havlin, J., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. (2005). *Soil fertility and fertilizers*, 7th edition. Pearson Prentice Hall.
14. Holloway, B., D. Brace, I. Ritcher, M. McLaughlin, G. Hettiarachchi, and R. Armstrong. 2006. Micronutrient availability improved with fluids. *Fluid J.* 54(14):17–19.
15. Horesh, I., Y. Levy and E. E. Goldschmit. 1991. Correction of lime-induced chlorosis in container-grown citrus trees by peat and iron sulfate application to small soil volumes. PP. 345-349. In: Y. Chen and Y. Haddar (eds.). *Iron nutrition and interactions in plants*. Kluwer Academic Publishers, New York.
16. Kosegarten, H.U., B. Hoffman, and K. Mengel. 1999. Apoplastic pH and Fe<sup>3+</sup> reduction in intact sunflower leaves. *Plant Physiol.* 121:1069-1079.
17. Lindsay, W. L. 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soil. In: J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M. Welch (eds.), *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, WI.
18. Morales, F., R. Grasa, A. Abadía and J. Abadía. 1998. Iron chlorosis paradox in fruit trees. *Journal of Plant Nutrition*, 21(4):815-825.

19. Moosavi, A.A and A. Ronaghi. 2010. Growth and iron-manganese relationships in dry beans as affected by foliar and soil application of iron and manganese in a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 33(9):1353-1365.
20. Norvell, W.A and W.L. Lindsay. 1982. Estimation of the concentration of  $Fe^{3+}$  and  $(Fe^{3+}(OH)^{-3})$  ion product from equilibria of EDTA in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:710-715.
21. Rambola, A. and M. Tagliavini. 2006. Iron nutrition of fruit trees crops. In: *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*, eds. L.L. Barton and J. Abad, 23-59. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
22. Rombola, A. D., M. Toselli, J. Carpintero, T. Ammari, M. Quartieri, J. Torrent and B. Marangoni. 2003. Prevention of Iron-Deficiency Induced Chlorosis in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Through Soil Application of Synthetic Vivianite in a Calcareous Soil. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 26(10 & 11):2031-2041.
23. Samar, S.M., M.J. Malakouti, H. Siadat, A. Sadjadi, H. Ghafourian. 2001. Root partial contact with localized organic matter increased  $^{59}Fe$  uptake and alleviated lime-induced chlorosis of young apple trees. In: *Proceeding of 14<sup>th</sup> International Plant Nutrition Colloquium*. Pp: 860-861. Kluwer Academic Publishers.
24. Zuo, Y., L. Ren, F. Zhang and R. F. Jiang. 2007. Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(5):357-364.