وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

بررسی علل و عوامل کمبود آهن و ارائه راهکارهای اجرائی رفع کمبود آن در درختان میوه و محصولات گلخانه ای

محسن سیلسپور

نشریه فنی: ۵۸۵

۱۳۹۸

جمهوری اسلامی ایران

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

بررسی علل و عوامل کمبود آهن و ارائه راهکارهای اجرائی رفع کمبود آن در درختان میوه و محصولات گلخانه‌ای

نگارنده

محسن سیلسپور

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران

نشریه فنی: ۵۸۵

۱۳۹۸

مشخصات اثر

عنوان: بررسی علل و عوامل کمبود آهن و ارائه راهکارهای اجرائی رفع کمبود آن در درختان میوه و محصولات گلخانه‌ای

نگارنده: محسن سیلسپور

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات سنا

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: حمید قیومی محمدی

صفحه آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: ۱۳۹۸

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب، **کد پستی:** ۳۱۷۷۹۹۳۵۴۵ - **صندوق پستی:** ۳۱۱-۳۱۷۸۵

تلفن: ۰۲۶-۳۶۲۰۱۹۰۰ **دورنگار:** ۰۲۶-۳۶۲۱۰۱۲۱

Website: www.swri.ir **Email:** info@swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۵۶۴۴۷ در تاریخ ۹۸/۸/۲۰ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارنده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱
۱- کلیات ۲
۲- عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ۴
۳- علائم ظاهری کمبود عناصر غذایی در درختان میوه ۴
۴- دلایل بروز کمبود عناصر غذایی در گیاه ۵
۴-۱- شستشوی خاک ۵
۴-۲- فشرده شدن خاک ۵
۴-۳- مصرف کود حیوانی نپوسیده ۶
۵- روش‌های تعیین کمبود عناصر غذایی در درختان میوه ۶
۵-۱- آنالیز و تجزیه خاک: ۶
۵-۲- آنالیز و تجزیه بافت‌های گیاهی (برگ و دمبرگ) ۶
۵-۳- تشخیص ظاهری از روی علائم ۷
۶- رابطه علائم کمبود عناصر غذایی با تحرک آن‌ها در گیاه ۷
۶-۱- عناصر متحرک ۷
۶-۲- عناصر غیرمتحرک ۸
۷- آهن ۸
۷-۱- آهن در خاک ۸
۷-۱-۱- گوتیت ۱۰
۷-۲-۲- هماتیت ۱۱
۷-۲- آهن در گیاه ۱۱
۸- نقش آهن در تغذیه انسان و دام ۱۳

۹- پراکنش جغرافیایی آهن ۱۵
۱۰- علائم تشخیصی کمبود یا بیش‌بود آهن در گیاه ۱۵
۱۰-۱- عوامل محیطی ۱۶
۱۰-۲- عوامل خاکی ۱۶
۱۱- مشخصات فنی، زمان و روش‌های مصرف کودهای محتوی آهن ۱۷
۱۲- مدیریت آهن در مزرعه ۱۸
۱۳- علل بروز کمبود آهن ۱۹
۱۴- درمان کمبود آهن ۱۹
۱۵- روش‌های اصلاح کمبود آهن در درختان میوه ۲۰
۱۵-۱- استفاده از منابع شیمیایی آهن ۲۰
۱۵-۱-۱- استفاده از کود سولفات آهن ۲۰
۱۵-۱-۲- موارد و میزان مصرف کود سولفات آهن ۲۱
۱۵-۲- کلات‌ها و بنیان‌های کلاته کننده ۲۲
۱۵-۲-۱- انواع ترکیبات کلات ساز ۲۳
۱۵-۲-۱-۱- کلات‌های مصنوعی ۲۳
۱۵-۲-۱-۲- لیگنوسولفونات‌ها ۲۴
۱۵-۲-۱-۳- هیومیک و فولویک‌اسید ۲۴
۱۵-۲-۱-۴- اسیدهای آلی ۲۴
۱۵-۲-۱-۵- اسیدهای آمینه (پروتئین) ۲۴
۱۵-۳- کلات‌های آهن ۲۴
۱۵-۴- انواع کود کلات آهن ۲۷
۱۵-۴-۱- کود کلات آهن EDTA ۲۷
۱۵-۴-۲- کود کلات آهن DTPA ۲۷
۱۵-۴-۳- کود کلات آهن EDDHA ۲۸
۱۶- غلظت بی‌کربنات آب ۲۸
۱۷- اسیدی کردن آب آبیاری ۳۰

۱۸- نحوه کالیبره کردن اسید در آب آبیاری (نسبت اسید موردنیاز در آب)..... ۳۱
۱۹- استفاده از گوگرد به همراه مایه تلقیح تیوباسیلوس..... ۳۲
۲۰- میزان برداشت گوگرد در مقایسه با فسفر توسط گیاهان..... ۳۴
۲۰-۱- گوگرد آلی گرانوله ۳۴
۲۰-۲- ساری کود (گوگرد کشاورزی گرانوله)..... ۳۴
۲۰-۳- بیوفسفات طلایی محتوی روی..... ۳۵
۲۱- علائم کمبود آهن در درختان میوه..... ۳۶
۲۱-۱- علائم کمبود آهن در انگور..... ۳۶
۲۱-۲- علائم کمبود آهن در سیب ۳۷
۲۲-۳- کمبود آهن در درختان میوه هسته‌دار(هلو، آلو، شلیل، گوجه) ۳۹
۲۳-۴- کمبود آهن در درختان میوه هسته‌دار(گیلاس، آلبالو) ۴۰
۲۳-۴-۱- کمبود آهن در گیلاس ۴۰
۲۳-۵- کمبود آهن در انار ۴۱
۲۳-۶- کمبود آهن در پسته..... ۴۲
۲۳-۷- کمبود آهن در زیتون ۴۳
۲۳-۸- کمبود آهن در مرکبات..... ۴۴
۲۳-۹- کمبود آهن در گردو..... ۴۵
۲۳-۱۰- کمبود آهن در گل‌محمدی..... ۴۶
۲۴- کمبود آهن در محصولات گلخانه‌ای..... ۴۷
۲۴-۱- کمبود آهن در خیار گلخانه‌ای..... ۴۷
۲۴-۲- کمبود آهن در گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ۴۸
۲۴-۳- کمبود آهن در توت‌فرنگی..... ۴۸
۲۴-۴- کمبود آهن در فلفل گلخانه‌ای..... ۴۹
۲۵- منابع ۵۰

مقدمه

در تغذیه گیاهان، آهن جزء مهم‌ترین عناصری است که بیش‌ترین مطالعه روی اثرات فیزیولوژیکی و دلایل کمبود آن در گیاهان انجام شده است. موضوع کمبود آهن در درختان میوه بسیار پیچیده‌تر از گیاهان یک‌ساله است. درختان دارای سیکل زایشی هستند که تشکیل جوانه در یک سال و گلدهی، تشکیل میوه و بلوغ آن در سال بعد اتفاق می‌افتد. ظهور علائم کلروز آهن به صورت زردی بین رگبرگی و گاهی به صورت کلروز یکنواخت مشاهده می‌شود و در طی فصل رشد رویشی به دلیل نیاز بالای گیاه به آهن قابل جذب، توسعه می‌یابد. اصولاً کلروز اغلب در بهار، در طی زمان نیاز شدید گیاه به آهن بروز می‌کند. در حال حاضر، بسیاری از باغات کشور در مناطقی با درجات گوناگون از آهک خاک کشت شده‌اند که در این شرایط کلروز ناشی از کمبود آهن فراوان مشاهده می‌شود. اختلال در تغذیه آهن ناشی از کربنات‌کلسیم خاک و آب آبیاری در چندین پژوهش گزارش شده است (ذکر مأخذ ؟؟؟). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که مقدار آهک کل برای پیش‌بینی احتمال بروز کلروز آهن شاخص مناسبی نیست، در حالی که بررسی مقدار کربنات کلسیم فعال یا آهک فعال، که جزئی از کربنات کلسیم کل است، در بیشتر مواقع می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب باشد. در یک درخت میوه، بروز کلروز آهن همواره نتیجه یک عامل مشخص نیست و می‌تواند ناشی از عوامل متعدد دیگری ازجمله pH خاک باشد. علاوه بر روش‌های مدیریت خاک در راستای اصلاح کمبود آهن، استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم به کلروز آهن به‌عنوان پایه در میوه-کاری راه حل مورد اطمینانی برای پیشگیری از کلروز آهن است. اگرچه اختلافات ژنتیکی در مقاومت به کلروز آهن در گونه‌های درختان میوه منجر به گزینش پایه‌های مناسب برای خاک‌های آهکی می‌شود، اما اصلاح روش‌های مدیریتی مثل رعایت مدیریت صحیح آبیاری باغ، اصلاح کیفیت آب آبیاری و سایر روش‌های مدیریتی در اصلاح کمبود آهن راهگشا خواهد بود. این نشریه به گونه‌ای تنظیم شده است که بتواند برای مخاطب، کارشناسان باغبانی یا بهره‌برداران بخش باغبانی، اطلاعات کاربردی در زمینه مشکلات و مسائل کمبود آهن در باغات، شناخت علائم کمبود و درنهایت اطلاعاتی در مورد رفع مشکلات ارائه نماید.

۱- کلیات

تمامی موجودات زنده ازجمله گیاهان برای رشد و نمو نیاز به غذا دارند. خاک تأمین‌کننده اکثریت قریب به‌اتفاق عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است. به‌جز کربن، اکسیژن و هیدروژن که عمدتاً از طریق آب‌وهوا تأمین می‌شوند، منبع اصلی بقیه عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، محلول خاک است. در خاک تقریباً تمام عناصر غذایی که در جدول تناوبی وجود دارد، موجود است. بخش اعظم این عناصر نیز در گیاه قابل اندازه-گیری هستند، اما گیاه برای جذب این عناصر، حالت انتخاب ندارد و بدون در نظر گرفتن مفید یا مضر بودن، آن‌ها را جذب می‌کند. تغذیه صحیح گیاه یکی از عوامل مهم در بهبود کیفی و کمی محصول به شمار می‌آید. در تغذیه صحیح گیاه، نه‌تنها باید هر عنصر به‌اندازه کافی در دسترس گیاه قرار گیرد، بلکه ایجاد تعادل و رعایت نسبت میان میزان عناصر مصرفی از اهمیت ویژه برخوردار است، زیرا در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای با افزودن تعدادی از عناصر غذایی، نه‌تنها افزایش عملکرد رخ نمی‌دهد، بلکه اختلالاتی نیز در رشد گیاه ایجاد شده و درنهایت سبب کاهش قابل‌توجه محصول خواهد شد. از آنجائی که این فاکتور به‌راحتی تحت کنترل زارع یا باغدار است، شناخت این عناصر نقش به‌سزائی در مدیریت مزرعه یا باغ دارد. آهن نیز یکی از عناصر کم‌مصرف گیاه است. با این حال وجود آهن در خاک برای جذب گیاه بسیار ضروری است، چرا که کمبود آهن در خاک برای گیاه مشکلات بسیاری به وجود می‌آورد که به تبع آن، مشکلات ناشی از کمبود آهن در تغذیه انسان نیز پیش می‌آید. علاوه بر این‌ها، آهن در خاک غیرمتحرک است و این نیز مشکل دیگری در جذب آهن است. کمبود آهن در خاک یک مشکل جهانی است که معمولاً و بیشتر در خاک‌های آهکی و قلیایی ظاهر می‌شود. بنابراین کلیه اراضی جهان که قلیایی و آهکی باشند، مستعد بروز کلروز آهن خواهند بود. علاوه بر این، در مزرعه در شرایط خاک‌های خنثی و حتی اسیدی و متوسط نیز کلروز آهن ممکن است ظاهر شود. کمبود آهن درختان میوه در خاک‌های آهکی ایران گسترده و شدید است. علاوه بر درختان میوه، درختان غیرمثمر نظیر چنار و اقاقیا که به کمبود آهن حساس هستند نیز دچار این مسئله می‌شوند. متجاوز از یک قرن است که ضرورت وجود آهن برای تغذیه گیاهان شناسایی شده است. کمبود آهن

تقریباً در تمامی درختان و بیشتر زراعت‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان توسط پژوهشگران گزارش شده و امروزه به‌عنوان یک معضل جهانی در کشاورزی شناخته شده است. مطالعات در مورد نقش عناصر کم‌مصرف از دهه ۴۰ در ایران شروع شد، اما آهنگ رشد کندی داشته و بیشتر روی درختان میوه متمرکز بوده است و مطالعات کمی در مورد نقش این عناصر در زراعت‌های مهم و یا درختان غیرمثمر انجام شده است.

۲- عناصر غذایی مورد نیاز گیاه

به‌طور کلی تعداد عناصر مورد نیاز گیاه که در محلول خاک موجود هستند، شامل ۱۳ عنصر است که بر اساس میزان مصرف گیاه به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

۲-۱- عناصر پرمصرف شامل: نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و گوگرد که به مقدار بیشتر مورد نیاز گیاه هستند را عناصر پرمصرف می‌گویند (سالاردینی، ۱۳۸۸).

۲-۲- عناصر کم‌مصرف شامل: آهن، منگنز، روی، مس، بُر، مولیبدن و کلر که به مقدار بسیار کم مورد نیاز گیاه هستند را عناصر کم‌مصرف یا ریزمغذی می‌گویند (سالاردینی، ۱۳۸۸).

البته سه عنصر کربن، اکسیژن و هیدروژن هم از عناصر مورد نیاز گیاه هستند، ولی چون این عناصر به فراوانی در هوا و آب یافت می‌شوند، به عنوان عناصر غذایی خاک محسوب نمی‌شوند.

۳- علائم ظاهری کمبود عناصر غذایی در درختان میوه

کمبودهای شدید عناصر غذایی در گیاه به صورت علائم گوناگون قابل مشاهده است که می‌توان به مواردی چون تغییر رنگ، سوختگی، توقف رشد جوانه‌های انتهایی، تغییر شکل میوه‌ها، تفاوت در عملکرد، زودرسی، دیررسی، کوچک شدن میوه‌ها، نارسایی در رشد، کاهش گسترش ریشه و کاهش خاصیت انبارداری میوه‌ها اشاره نمود. لازم به ذکر است که نشانه‌های کمبود، گاهی مشابه هم بوده و هم‌چنین عوامل دیگری چون تغییرات دما، استفاده از سموم، حشرات، باد و دیگر عوامل طبیعی نشانه‌هایی را از خود به جای می‌گذارند که مشابه علائم کمبود است. به همین دلیل، تشخیص و معالجه کمبود عناصر غذایی از روی علائم ظاهری باید با احتیاط و به‌وسیله کارشناسان با تجربه انجام گیرد. معمولاً کمبود عناصر غذایی در گیاهان ناشی از موارد زیر است:

کمبود واقعی: کمبود عناصر غذایی در خاک و یا وجود ترکیب شیمیایی غیرقابل جذب آن برای گیاه.

کمبود دروغین: کمبود عناصر غذایی به علت ایجاد شرایط خاص در بستر کشت.

در این حالت ریشه‌ها قادر به جذب عناصر موجود در خاک نمی‌باشند مانند موارد زیر:

الف) سرد بودن خاک: در این حالت پتاسیم موجود در خاک جذب ریشه نمی‌شود.

ب) غرقابی بودن خاک: آهن، مس و کلسیم در خاک غرقابی جذب نمی‌شوند. به عنوان مثال آبیاری پی‌درپی در خاک، شرایط احیاء و اکسیداسیون در خاک را فعال نموده و عناصری مثل آهن و منگنز به خاطر اکسیده شدن غیرقابل جذب می‌شوند.

ج) اسیدیته (pH) نامناسب: در خاک‌های خیلی اسیدی، منگنز و روی و در خاک-های قلیایی آهن، منیزیم و بور جذب نمی‌شوند.

د) اثر متقابل و منفی عناصر نسبت به یکدیگر: در این حالت حضور یک عنصر باعث عدم جذب عنصر دیگر می‌شود. مثلاً حضور پتاسیم بیش از حد باعث کمبود منیزیم می‌شود و یا حضور بیش از حد نیتروژن باعث رشد سبزینه‌ای گیاه شده و تعادل مصرف برخی عناصر مورد نیاز در گیاه را به هم می‌زند.

۴- دلایل بروز کمبود عناصر غذایی در گیاه

۴-۱- شستشوی خاک

شستشوی خاک به‌ویژه در خاک‌های سبک که باعث کمبود عناصر محلول در خاک مثل نیتروژن و منیزیم می‌شود. در شرایط اسیدی خاک، این حلالیت برای آهن و کلسیم بروز کرده و شسته می‌شوند و در شرایط قلیایی شستشوی پتاسیم اتفاق می‌افتد.

۴-۲- فشرده شدن خاک

با فشرده شدن خاک و عدم تبادلات گازی در خاک، گاز دی‌اکسیدکربن محبوس شده و با کربنات‌های خاک تشکیل بی‌کربنات داده و رسوب کلسیم می‌دهد و شرایط قلیایی ایجاد شده در خاک، منجر به کمبود برخی عناصر می‌شود.

۴-۳- مصرف کود حیوانی نپوسیده

مصرف کود حیوانی نپوسیده در ابتدا باعث می‌شود تا نیتروژن موجود در خاک صرف پوسیدن کود شده و در نتیجه گیاه با کمبود نیتروژن مواجه شود و از طرفی با مصرف کود حیوانی، میزان بعضی از عناصر، در خاک چندین برابر افزایش یافته و منجر به کمبود جذب دیگر عناصر موجود در خاک می‌شود. استفاده از کودهای شیمیایی پرمصرف و عدم کاربرد کودهای شیمیایی کم‌مصرف، منجر به کمبود آن‌ها در خاک شده که لزوم یک مدیریت صحیح در مصرف کودهای پرمصرف و کم‌مصرف در خاک ضروری به نظر می‌رسد. در زمان خشکی و تبخیر بیش از حد از سطح خاک، برخی نمک‌های محلول مثل کلرور پتاسیم و سدیم و کمی هم کلسیم و منیزیم و یا ترکیبات نیترات به سطح خاک آمده و در نتیجه جذب این عناصر برای ریشه امکان‌پذیر نخواهد بود.

۵- روش‌های تعیین کمبود عناصر غذایی در درختان میوه

برای تعیین کمبود عناصر غذایی در گیاهان، روش‌هایی وجود دارد که در اینجا به صورت اختصار به معرفی آن‌ها می‌پردازیم:

۵-۱- آنالیز و تجزیه خاک

این آزمایش در آزمایشگاه‌های تجزیه خاک و آب به‌وسیله کارشناسان مجرب صورت می‌گیرد. بدین صورت که از خاک باغ نمونه‌گیری شده و با مراجعه به آزمایشگاه؛ اسیدیته، شوری و املاح محلول در خاک و میزان عناصر موجود در خاک تعیین می‌شود. نتایج پژوهش نشان داده است که ارتباط چندانی بین اطلاعات آنالیز خاک با وضعیت تغذیه‌ای درخت وجود ندارد. این بدان علت است که نمونه‌برداری معمولاً از لایه‌های سطحی خاک انجام می‌گیرد، در حالی که ریشه گیاه از اعماق پایین‌تر نیز جذب انجام می‌دهد.

۵-۲- آنالیز و تجزیه بافت‌های گیاهی (برگ و دمبرگ)

این آزمایش وقتی گیاه در حال رشد است انجام می‌شود. آزمایش مزبور برای تأیید اختلالات ظاهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. با تجزیه برگ درخت، میزان عناصر موجود

در آن اندازه‌گیری می‌شود و با میزان طبیعی (مستلزم وجود آزمایشگاه‌های استاندارد) که بایستی در برگ وجود داشته باشد، مقایسه می‌شود.

۵-۳- تشخیص ظاهری از روی علائم

گیاهان با ایجاد علائم خاصی بر روی اندام‌های خود به‌ویژه برگ‌ها، به کمبود عناصر گوناگون عکس‌العمل نشان می‌دهند. این علائم می‌تواند به‌عنوان محکی برای تشخیص استفاده شوند، اما نمی‌تواند معیار دقیقی برای تشخیص کمبود عناصر باشد، به عبارتی دیگر، بعضی از عناصر کم‌مصرف علائمی شبیه به یکدیگر دارند و در مواردی نیز کمبود یک عنصر به‌صورت پنهان است و هیچ‌گونه علائم ظاهری به‌وجود نمی‌آورد، ولی بر روی عملکرد نهایی گیاه تأثیر می‌گذارد. با توجه به این‌که برگ‌ها کارخانه تولید مواد غذایی برای میوه‌ها هستند که اگر سالم نباشند عملکرد و کیفیت میوه نیز کاهش می‌یابد، لذا با بروز اولین علائم باید جهت رفع خسارت به درمان پرداخت.

۶- رابطه علائم کمبود عناصر غذایی با تحرک آن‌ها در گیاه

محل ظهور علائم کمبود عناصر غذایی در گیاهان، به وسعت و میزان انتقال عناصر غذایی از برگ‌های پیر به قسمت‌های جوان گیاه بستگی دارد که می‌توان عناصر را بر اساس جابه‌جایی در گیاه به دو دسته تقسیم نمود:

۶-۱- عناصر متحرک[1]

علائم کمبود این عناصر، ابتدا در برگ‌های پیر (برگ‌های پایینی) اتفاق می‌افتد. زیرا این عناصر می‌توانند از برگ‌های پیر پایینی به‌سوی برگ‌های جوان بالایی حرکت کنند، که این عناصر عبارت‌اند از: نیتروژن (N)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K) و فسفر (P) (سالاردینی، ۱۳۸۸).

1- Mobile Elements

۶-۲- عناصر غیرمتحرک [1]

علائم کمبود این عناصر ابتدا در برگ‌های جوان (برگ‌های بالایی) اتفاق می‌افتد زیرا این عناصر نمی‌توانند از برگ‌های پیر پایینی به‌سوی برگ‌های جوان بالایی حرکت کنند، که این عناصر عبارت‌اند از: کلسیم (Ca)، بور (B)، مولیبدن (Mo)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، مس (Cu) و آهن (Fe) (سالاردینی، ۱۳۸۸).

عدم رسیدگی به وضعیت تغذیه‌ای گیاه، سلامتی گیاه، عملکرد و کیفیت محصول را به میزان قابل توجهی کاهش داده و در نتیجه تولیدکننده متضرر می‌شود. فهم قواعد تغذیه گیاهان و تشخیص علائم کمبود و بیش‌بود عناصر غذایی و استفاده از کودهای مناسب، کلیدهای سلامت و سودآوری محصول است که بایستی رعایت شوند.

۷- آهن

۷-۱- آهن در خاک

آهن چهارمین عنصر فراوان پوسته زمین بعد از اکسیژن، سیلیسیم و آلومینیم با میزان ۵/۶ درصد است و متوسط مقدار آن در خاک ۳.۸ درصد تخمین زده شده و تقریباً در هر نوع خاکی یافت می‌شود. ولی بیشتر به صورت غیرقابل‌حل در بین لایه‌های گوناگون کانی‌ها و اکسیدهای آهن وجود دارد. معمولاً یون آهن به حالت دوظرفیتی و یا سه‌ظرفیتی در خاک مشاهده می‌شود. حلالیت آهن در خاک عمدتاً توسط اکسیدهای آهن سه‌ظرفیتی کنترل می‌شود. غلظت آهن در خاک به pH وابسته است و در pH بالاتر از ۶/۵ ، به حداقل خود می‌رسد، که متأسفانه اکثریت خاک‌های کشور نیز دارای این pH هستند.

حلالیت آهن در خاک عمدتاً توسط اکسیدهای آهن سه ظرفیتی کنترل می‌شود. غلظت Fe^{3+} در خاک به pH وابسته است و در pH بین ۶/۵ تا ۸ به حداقل خود می‌رسد. متأسفانه اکثر خاک‌های کشور نیز دارای pH بالاتر از ۷ هستند. با افزایش pH خاک از ۴ به ۸ ، غلظت Fe^{3+} از 10^{-8} به 10^{-20} مول در لیتر کاهش می‌یابد. به‌طور کلی

1- Non mobile Elements

به ازاء هریک واحد کاهش در pH خاک، فعالیت Fe^{3+} هزار بار افزایش می‌یابد (گودرزی، ۱۳۸۳). یون سه‌ظرفیتی آهن در خاک تقریباً تحرکی نداشته و در اکثر موارد غیرمحلول است و در بعضی از لجن‌ها و تورب‌ها به خاک و لجن، رنگ قرمز می‌دهد. در حالی که در شرایط احیایی خاک که آهن دو ظرفیتی غالب است، رنگ خاک خاکستری و گاهی هم آبی به نظر می‌رسد. بنابراین رنگ‌های خاک می‌توانند تحت تأثیر اکسیدهای آهن باشند. اکسیدهای آهن نظیر گوتیت[1] و هماتیت[2] در اکثر موارد عامل تغییر رنگ در خاک‌ها می‌باشند. به‌طور کلی رنگ‌هایی که بین قرمز و بژ هستند، از قبیل قرمز، زرد، نارنجی، قهوه‌ای، بژ و رنگ‌های بین خاکستری تا سبز، در نتیجه وجود آهن در خاک پدید می‌آیند (Clombo et al., 2014). کانی‌های گوناگون آهن و رنگی که به خاک می‌دهند، در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱- مشخصات کانی‌های آهن

کانی	رنگ
هماتیت	قرمز
گوتیت	زرد- قهوه‌ای مایل به قرمز
هیدرات فریک	قرمز
اکسید فرو	محیط اسیدی سبز و در محیط قلیایی آبی
استیل پینو سیدریت	زرد
هیدرات فرو	سبز مایل به خاکستری
کمپلکس‌های آهن و رس و هوموس	قهوه‌ای سیاه
کمپلکس‌های فرو	خاکستری
کمپلکس‌های فریک	قرمز

اکسیدهای آهن در خاک در اثر واکنش‌های فیزیکوشیمیایی تشکیل می‌شوند و در طبقه‌بندی جزء کانی‌های فرعی خاک قرار می‌گیرند. اکسیدهای آهن که دارای ساختاری هشت‌وجهی است، در حقیقت کلوئیدهایی با بار متغیر هستند، بدین معنی که

1- Geotite
2- Hematit

بار سطحی آن‌ها توسط پارامترهایی که با محلول خاک در ارتباط هستند تعیین می‌شود. بنابراین برحسب تغییرات pH می‌توانند آنیون‌ها و کاتیون‌ها را جذب نمایند. این کانی‌ها در pH معینی، فاقد بار سطحی هستند که در اصطلاح به آن نقطه ZPC[1] می‌گویند. بار سطحی کانی در pH پایین‌تر از نقطه ZPC مثبت بوده و می‌تواند آنیون‌ها را جذب نماید و در pH بالاتر از ZPC بار سطحی اکسیدهای آهن منفی شده و در نتیجه کاتیون‌ها را جذب می‌نمایند. لازم به ذکر است که مقادیر ZPC برای ترکیبات آهن و آلومینیوم بین ۷ تا ۹ تغییر می‌نماید (Cornell and Schwertmann, 1996). در زیر مهم‌ترین اکسیدهای آهن موجود در خاک را بیان می‌کنیم.

۷-۱-۱-گوتیت[2]

گوتیت فراوان‌ترین و از نظر ترمودینامیکی پایدارترین اکسید آهن در خاک است. فرمول کلی آن Fe_2O_3,H_2O است. گوتیت به صورت بلورهای سوزنی شکل دیده می‌شود (Cornell and Schwertmann, 1996). این کانی در معادن آهن و در تشکیلات آلیوس (فراجی پن) و در بعضی فراسول‌ها مقدار قابل توجهی گوتیت وجود دارد. به‌طور کلی گوتیت در خاک‌های شدیداً تخریب شده، بیشتر یافت می‌شود.

شکل ۱- کانی گوتیت

1- Zero Point Charge

2- Goethite

۷-۲-۲- هماتیت [1]

هماتیت ($a\text{-}Fe_2O_3$) دومین اکسید آهن فراوان در خاک است. این کانی در خاک-های کاملاً تخریب شده، وجود دارد.

شکل ۲- کانی هماتیت

دو کانی گوتیت و هماتیت فراوان‌ترین و پایدارترین اکسیدهای آهن موجود در خاک هستند. ولی اکسیدهای آهن دیگری نیز در خاک موجودند که از اهمیت کمتری برخوردارند. این کانی‌ها عبارت‌اند از: مگنتیت (Fe_3O_4)، مگهمیت ($g\text{-}Fe_2O_3$)، لپیدو کروسیت ($g\text{-}FeOOH$)، فراکسیت ($d\text{-}FeOOH$) و آکاگانتیت ($b\text{-}FeOOH$) (Cornell and Schwertmann, 1996). در بیشتر نقاط کشور ما، مهم‌ترین عامل کمبود آهن، زیادی بی‌کربنات در محلول خاک است که این بی‌کربنات خود نیز حاصل انحلال آهک در محلول خاک است.

۷-۲- آهن در گیاه

اولین بار در سال ۱۸۶۰ ضرورت وجود آهن برای گیاهان کشف شد و از آن زمان تا-کنون پژوهش‌های بی‌شماری در این رابطه انجام گرفته است. البته این پژوهش‌ها در ایران از دهه ۴۰ آغاز شده و رشد کندی نیز داشته است و عمدتاً بر روی درختان میوه بوده

1- Hematite

است. بر اساس نتایج این مطالعات، زردبرگی ناشی از آهک [1] بخش وسیعی از کشور ما را فراگرفته است که علت اصلی آن کمبود آهن در گیاه است (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴).

آهن در خاک از طریق انتشار و حرکت توده‌ای و عمدتاً به صورت آهن فریک (Fe^{3+}) منتقل و زمانی که وارد ریزوسفر گیاهی می‌شود، به فرم آهن فرو (Fe^{2+}) احیا و سپس توسط ریشه جذب می‌شود. به‌طور کلی گیاهان از دو استراتژی مشخص برای محلول نمودن و جذب آهن از خاک استفاده می‌کنند: دسته‌ای از گیاهان شامل گیاهان دولپه‌ای و تک‌لپه‌ای‌های غیرگرامینه‌ایی در عکس‌العمل به کمبود آهن یک سری واکنش‌ها و تغییرات از لحاظ شکل و وظایف فیزیولوژیکی در ریشه‌هایشان صورت می-دهند که این تغییرات موجب افزایش توانایی گیاه برای حل و جذب نمودن آهن از محیط می‌شود. گیاهان این دسته برای جبران کمبود آهن، در داخل ریشه خود پروتون (احیاکننده) ایجاد کرده که این پروتون به خارج از ریشه پمپ شده و در نتیجه آهن فریک به آهن فرو تبدیل می‌شود که بیشتر قابل جذب گیاه است. یا این‌که ریشه مقداری مواد کلات‌کننده ایجاد می‌کند که این مواد کلات‌کننده، هم آهن دو و هم آهن سه را می‌توانند کلات کرده و در اختیار گیاه قرار دهد. دسته دیگر از گیاهان که شامل گرامینه‌ها و گراس‌ها هستند، می‌توانند از طریق ترشح لیگاندهای آلی با وزن مولکولی کم، به نام سیدروفور که یک آمینواسید غیرپروتئینی است، یون‌های Fe^{3+} را حل نموده و برای جذب آماده سازند. لازم به ذکر است که این استراتژی‌ها در صورتی بروز می‌کنند که گیاه دچار کمبود باشد (Lucena, 2003).

در اثر کمبود آهن، فتوسنتز شدیداً کاهش می‌یابد، درحالی که کمبود آن اثری بر تنفس ندارد. در اثر کمبود آهن به علت کاهش فرودکسین و در نتیجه کاهش احیاء نیتریت، نیترات در گیاه تجمع می‌یابد. در لگوم‌های که از کمبود آهن رنج می‌برند، احتمالاً به علت صدمه دیدن تکثیر باکتری‌ها در طی تشکیل اولیه گره، گره‌بندی توسط ریزوبیوم ها مختل می‌شود. به‌طور کلی در برگ‌های تمام گونه‌های گیاهی، علامت اصلی کمبود آهن جلوگیری از رشد کلروپلاست است

1- Lime induced chlorosis

آهن نقش تأثیرگذاری را در گیاهان دارد. دو گروه از پروتئین‌های حاوی آهن، بنام‌های پروتئین‌های هم و پروتئین‌های غیرهم در گیاهان وجود دارد. پروتئین‌های هم شامل سیتوکروم‌های گوناگون هستند. علاوه بر این، دیگر پروتئین‌های هم شامل اکسیداز سیتوکروم، کاتالاز پراکسیداز و لگ‌هموگلوبین هستند که در گره‌های ریشه غلات دیده می‌شوند. معروف‌ترین پروتئین آهن-گوگرد (پروتئین غیرهم)، فرودکسین است. پروتئین‌های آهن-گوگرد در فرآیندهای سوخت‌وساز نظیر فتوسنتز، احیا سولفات (SO_4^-) به سولفیت (SO_3^-)، تنفس و تثبیت N_2 دخالت دارند. آهن تعدادی از آنزیم‌ها را فعال ساخته و نقش مهمی در سنتز RNA دارد. در اثر کمبود آهن، غلظت کلروفیل و دیگر رنگیزه‌های گیاهی نظیر کاروتن و گزانتوفیل کاهش می‌یابد. آهن در فعال ساختن حامل‌های الکترون هر دو فتوسیستم (I و II) مؤثر است (Marshner,1995).

این عنصر در تولید مولکول کلروفیل و هم‌چنین در فعالیت‌های انتقال انرژی نقش دارد. آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد نهایی درختان میوه است. در صورت کمبود، در سلول‌های برگ، کلروفیل به مقدار کافی تولید نمی‌شود و برگ‌ها رنگ‌پریده به نظر می‌رسند. زردی برگ شکل خاصی از کمبود آهن است که در کشور ما به فراوانی دیده می‌شود. به‌عبارتی کمبود آهن باعث کاهش غلظت کلروفیل و دیگر رنگیزه‌های گیاهی نظیر کاروتن و گزانتوفیل در سلول می‌شود که درنهایت فتوسنتز شدیداً کاهش یافته و به صورت کلروز (زردی) ظاهر می‌شود. چون آهن قابلیت تحرک کمی در گیاه دارد، معمولاً علائم کمبود در برگ‌های جوان (بالایی) دیده می‌شود و رنگ‌پریدگی معمولاً بین رگبرگ‌ها بوده و خود رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند و در برخی موارد مثل درخت گلابی، برگ‌ها سفیدرنگ می‌شوند.

۸- نقش آهن در تغذیه انسان و دام

کمبود آهن یکی از مهم‌ترین و عمومی‌ترین کمبودهای تغذیه‌ای در جهان است که گستردگی وسیعی دارد. مهم‌ترین گروه‌های حساس به کمبود آهن کودکان، نوجوانان، زنان شیرده و باردار هستند. گزارش‌های غیررسمی حاکی از آن است که بیش از ۳۰ درصد جمعیت جهان با کمبود آهن مواجه هستند که البته در کشورهای در حال

توسعه، کمبود آهن شیوع بیشتری دارد. در کشورهای در حال توسعه، ۵۰ درصد کودکان زیر پنج سال از کمبود آهن رنج می‌برند (محمدزاده لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۳). کم‌خونی ناشی از کمبود آهن بیماری شایعی است که در اکثر مناطق دنیا مشاهده شده است. یکی از عوارض کمبود توأم آهن و روی به نام کم‌خونی ایرانی[1] است که در منبع خارجی نیز ذکر شده است (محمدزاده لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۳). مقدار متوسط آهن در بدن یک مرد هفتاد کیلوگرمی، چهار تا پنج گرم و یا به عبارت دیگر حدود ۶۰ تا ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بسته به اندازه و وضعیت آهن، مقدار مذکور فرق می‌کند. تقریباً ۶۰ درصد آهن بدن در هموگلوبین و ۸ تا ۹ درصد در میوگلوبین (ماده رنگین عضلات) وجود دارد. هموگلوبین و میوگلوبین به ترتیب مسئول انتقال و ذخیره اکسیژن هستند. آهن برای سوخت‌وساز صحیح ویتامین‌های B ضروری است، به رشد کمک کرده، مقاومت در مقابل بیماری‌ها را زیاد می‌کند، از خستگی جلوگیری می‌کند، رنگ موزون به پوست می‌دهد و کم‌خونی‌های حاصل از کمبود آهن را معالجه و پیش‌گیری می‌کند (در انسان‌ها حدود هشت درصد کل آهن مصرفی جذب بدن شده، عملاً وارد جریان خون می‌شود). مقدار مصرف روزانه آهن برای بالغین ۱۸ میلی‌گرم و برای زنان باردار و شیرده بیش از ۱۸ میلی‌گرم در روز توصیه شده است. بدن زنان دو برابر مردان آهن از دست می‌دهد. برای جذب آهن در بدن، مس، کبالت، منگنز و ویتامین C مورد نیاز است. هم‌چنین تعدادی از ترکیبات از جذب آهن می-کاهند. شناخته‌شده ترین آن‌ها فیتات (اینوزیتول هگزا فسفات) است. معمولاً افزایش نمک‌های سدیم و پتاسیم فیتات از جذب آهن جلوگیری می‌کنند. این ترکیبات در دانه گندم وجود دارد و همراه با فیبر از جذب آهن موجود در گندم می‌کاهند. تانن و دیگر پلی‌فنول‌ها نیز می‌توانند نقش بازدارنده‌ای در جذب آهن داشته باشند. مثلاً چای یک مانع قوی در جذب آهن است. علاوه بر این، مصرف زیادی و نامتعادل روی و مس از جذب آهن جلوگیری می‌کنند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدزاده لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ کلاهی و همکاران، ۱۳۹۶).

1- Persian anemia

۹- پراکنش جغرافیایی آهن

به دلیل کم‌توجهی به نقش عناصر غذایی در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی، اطلاعات کمی در مورد پراکنش جغرافیایی کمبود یا بیش‌بود کلیه عناصر غذایی ازجمله عناصر کم‌مصرف در دست است. ولی آنچه مسلم است کمبود آهن عمدتاً در خاک‌های آهکی و سبک (شنی) دیده می‌شود. در مطالعه جامع فائو که توسط سیلانپا در سال ۱۹۸۲ در بیش از ۳۰ کشور جهان انجام شده است، معلوم شد که بیش از ۳۰ درصد خاک‌های این کشورها به نوعی به کمبود یک یا چند عنصر کم‌مصرف ازجمله آهن مبتلا هستند (ضیائیان، ۱۳۸۲). ولی کمبود آهن را در کشورهای مالتا، مکزیک، ترکیه و زامبیا شدید توصیف نموده است. گزارش‌های متعدد از مناطق دیگر جهان ازجمله در گیاهانی که در مناطق خشک، آهکی و خاک‌های غیرشور آهکی کشورهای شرق مدیترانه، خاورمیانه و هند و بنگلادش رشد کرده‌اند، حاکی از بروز کمبود آهن در این کشورهاست. در ایران گزارش مستند و کاملی از وضعیت و پراکندگی کمبود آهن در گیاهان وجود ندارد. شواهد موجود حاکی از کمبود شدید آهن به‌ویژه در درختان میوه در اغلب استان‌های کشور است. زردبرگی ناشی از آهک، شکل خاصی از کمبود آهن در گیاهان است که بخش وسیعی از کشور ما را فراگرفته است. استان‌های تهران، قزوین، خوزستان، خراسان، فارس، اصفهان و آذربایجان بیش از سایر مناطق دچار این مشکل هستند (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴).

۱۰- علائم تشخیصی کمبود یا بیش‌بود آهن در گیاه

جذب آهن توسط گیاه جذب فعال بوده و نیازمند انرژی است. این انرژی از سوخت‌وساز گیاهی تأمین می‌شود. هر عاملی که بر سوخت‌وساز گیاهی اثر داشته باشد، بر جذب و انتقال آهن و در نتیجه در ایجاد کمبود یا بیش‌بود آن در گیاه مؤثر خواهد بود. به‌طور کلی دو دسته عوامل محیطی و عوامل خاکی بر فراهمی آهن برای گیاه مؤثر است. در زیر هر دو عامل را به اختصار شرح می‌دهیم.

۱۰-۱- عوامل محیطی

عوامل آب و هوایی ازجمله دما و رطوبت خاک به صورت زیر بر فراهمی آهن اثر می‌گذارند:

کاهش دمای خاک از طریق کاهش رشد ریشه، کاهش سوخت‌وساز گیاهی، کاهش تولید سیدروفور و افزایش مقدار بی‌کربنات در محلول خاک بر فراهمی آهن تأثیر می-گذارند و زیادی دما نیز از طریق افزایش تجزیه میکروبی سیدروفور، افزایش میزان بی-کربنات در اثر افزایش فعالیت میکروبی، افزایش جذب فسفر و هم‌چنین افزایش رشد گیاهی و در نتیجه مقدار رطوبت خاک نیز با تأثیر بر سوخت‌وساز گیاهی، غلظت بی-کربنات در محلول خاک و شکل آهن در خاک (دو یا سه ظرفیتی) بر فراهمی آهن اثر می‌گذارد.

۱۰-۲- عوامل خاکی

فراهمی آهن در خاک شدیداً به pH و پتانسیل رداکس خاک وابسته است و مدیریت‌های مناسبی که بتواند pH خاک و پتانسیل رداکس آن را کاهش دهد، فراهمی آهن در خاک را بالا می‌برد. فراهمی آهن در خاک تا حدودی به فراهمی الکترون وابسته است. در محیط‌های غرقاب که الکترون زیاد و شرایط احیا فراهم است، فراهمی آهن زیاد است. علاوه بر این عوامل، مواد آلی نیز نقش اساسی در چرخه عناصر کم‌مصرف ایفا می‌کنند. این مواد به‌عنوان کلات‌کننده‌های طبیعی با آهن موجود در خاک پیوند برقرار کرده و آن را متحرک کرده و به ریشه می‌رسانند. هم‌چنین مواد آلی می‌تواند باعث تعدیل pH محیط اطراف ریشه شوند و درنتیجه به جذب آهن توسط ریشه‌های گیاه کمک کند. در بعضی مواقع فراهمی کم آهن در خاک ناشی از کمبود آن در گیاه نیست، بلکه در بیشتر اوقات وجود عناصر دیگر در خاک و ترکیب آهن با آن‌ها موجب کاهش فراهمی آن می‌شود. در مورد این عناصر در قسمت‌های قبل توضیح ارائه شده است (حیدری کهل و همکاران، ۱۳۹۳).

اگر گیاهی قادر به جذب آهن به مقدار کافی نباشد، ساخت سبزینه در برگ‌ها کاهش می‌یابد. بدین ترتیب، برگ‌ها رنگ‌پریده خواهند شد. در این حالت، ابتدا فاصله بین رگبرگ‌ها، و سپس با شدت یافتن کمبود، به‌جز رگبرگ‌ها، تمام سطح برگ زرد

می‌شود و در مراحل پیشرفته‌تر، برگ‌ها سوخته و خشک می‌شوند، که در درختان مو به این حالت Bleach می‌گویند. از آن‌جا که آهن در گیاه پویا نیست، این علائم ابتدا در برگ‌های جوان و در قسمت‌های بالای ساقه مشاهده می‌شود و با تشدید یافتن کمبود، تمامی گیاه را در بر می‌گیرد. البته باید به این نکته توجه کرد که تنها کمبود آهن باعث زردی برگ‌ها نمی‌شود، کمبود منیزیم، نیتروژن و برخی از عناصر دیگر، بعضی از آفات و بیماری‌های گیاهی و یا نور کم نیز در مواردی منجر به زردی برگ‌ها می‌شود. بهترین روش برای تشخیص کمبود یا بیش‌بود یک عنصر در خاک، آزمایش تجزیه خاک و گیاه است که با تجزیه گیاه و مشخص شدن میزان کمبود یا بیش‌بود آن عنصر در گیاه، می‌توان با آزمایش خاک توصیه کودی لازم را اعمال کرد (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴).

۱۱- مشخصات فنی، زمان و روش‌های مصرف کودهای محتوی آهن

امروزه هیچ کشوری در دنیای متمدن و در حال پیشرفت قادر به افزایش تولیدات کشاورزی بدون توجه به وضعیت عناصر غذایی خاک نیست و بهبود وضعیت عناصر غذایی از طریق افزودن کودهای گوناگون صورت می‌گیرد. بهترین کود محتوی آهن در خاک‌های آهکی نظیر اکثریت قریب به‌اتفاق خاک‌های ایران، ترکیبات شیمیایی با بنیان Fe-EDDHA[1] (سکوسترین آهن-۱۳۸) است. این کودها فقط به‌صورت مصرف خاکی و یا به‌صورت استفاده در آبیاری تحت فشار در درختان و زراعت‌هایی که به‌صورت نواری آبیاری می‌شوند، توصیه می‌شود و استفاده از آن‌ها به‌صورت محلول‌پاشی مؤثر نخواهد بود، زیرا این کود در اثر نور تجزیه می‌شوند. مقدار مصرف کود سکوسترین آهن-۱۳۸ که حاوی شش درصد آهن است، بسته به سن درخت، ۵۰ تا ۱۵۰ گرم برای هر درخت در روش خاکی توصیه شده است که در اسفندماه در نیمه خارجی سایه‌انداز درخت در زیر قطره‌چکان‌ها مصرف می‌شود (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

از کودهای مناسب دیگر، کلات‌های آهن با بنیان Fe-EDTA[2] (با نام تجاری فتریلون) است که محتوی شش در صد آهن بوده و مخصوص خاک‌های اسیدی است و

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid

2- EDTA(ethylene diamine tetra acetic acid)

مصرف آن به‌صورت محلول‌پاشی است. کود دیگری به اسم کود میکروی کامل توسط تولیدکنندگان داخل کشور تولید شده و به بازار آمده است. این کود غیرکلاته و ارزان است و به‌صورت محلول‌پاشی و یا چال‌کود قابل مصرف است. البته کودهای دیگری نظیر سولفات‌آهن آب‌دار، با حداقل ۱۹ درصد آهن و سولفات‌آهن خشک با ۲۴ درصد آهن نیز در بازار موجود است. ولی از آن‌جایی که اکثریت قریب به‌اتفاق خاک‌های زراعی ایران آهکی است و مصرف سولفات‌آهن در این خاک‌ها موجب تثبیت سریع آن و تبدیل آن به فرم‌های غیرقابل جذب می‌شود، لذا مصرف خاکی آن به‌جز به صورت موضعی همراه با مواد اسیدی توصیه نمی‌شود (ملکوتی و تهرانی، ۱۳۸۴).

۱۲- مدیریت آهن در مزرعه

بایستی به خاطر داشت که بروز کمبود آهن عمدتاً به دلیل ضعف مدیریت زارع یا باغدار است و با مدیریت قوی می‌توان در بیشتر مواقع از بروز کمبود جلوگیری کرد. از طرف دیگر بایستی به خاطر سپرد که همیشه پیشگیری آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر از درمان است. در این قسمت سعی می‌شود عناوین تمهیدات کاربردی و مفید در مورد مدیریت آهن در مزرعه، ارائه شود.

- کاشت گیاهان مقاوم به کمبود آهن
- عدم مصرف آب‌های سنگین که حاوی بیش از ۲۰۰ پی‌پی‌ام بی‌کربنات هستند
- افزودن مواد آلی و کود سبز به خاک (پخش یکنواخت)
- کاهش pH خاک از طریق مصرف اسید سولفوریک یا گوگرد عنصری
- زدن شخم کافی و تهویه به‌موقع خاک
- مصرف خاکی کلات‌های آهن
- محلول‌پاشی با استفاده از کلات‌های آهن ساخت داخل و یا سولفات‌آهن

۱۳- علل بروز کمبود آهن

در بیشتر نقاط ایران مهم‌ترین عاملی که موجب کمبود آهن در باغات می‌شود، زیادی بی‌کربنات در محلول خاک است. آبیاری سنگین، فشردگی خاک و یا هر عامل دیگری که تهویه آن را کاهش دهد، موجب افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در خاک می‌شود و در حضور آهک، واکنش انجام می‌دهد که طی آن بی‌کربنات تولید می‌شود. از طرف دیگر، گیاهان مقاوم به کمبود آهن، ریشه‌های کارایی برای جذب آهن دارند. ریشه گیاهان حساس به کمبود آهن کارایی مناسبی برای جذب آهن ندارند. این ویژگی بیشتر جنبه وراثتی دارد. آب آبیاری، گاهی به‌ویژه هنگامی‌که از چاه‌های عمیق تأمین شود، بی‌کربنات دارد. هوادهی این آب‌ها (با استفاده از فواره و با ریزش از بلندی) و یا مصرف مقداری اسید سولفوریک (کاهش pH آب آبیاری تا حد خنثی)، مقدار بی‌کربنات را کاهش می‌دهد. از دیگر علل کمبود آهن، کشت گیاهان حساس به کمبود آهن در خاک‌های آهکی، کمی کود آلی در خاک و مصرف زیاد کودهای فسفری است (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

۱۴- درمان کمبود آهن

برای درمان کمبود آهن در ابتدا می‌بایست عوامل به‌وجودآورنده کمبود آهن را برطرف نمود. مهم‌ترین عوامل به‌وجودآورنده کمبود آهن در گیاه آهکی بودن خاک و عدم تهویه یا خفگی ریشه‌ها می‌باشند. به‌این منظور باید شرایط تهویه خاک مناسب باشد که این امر از طریق چند عامل شامل بیل‌زدن در پای درخت و اضافه‌کردن مواد آلی به خاک امکان‌پذیر است. هم‌چنین استفاده منطقی از سایر منابع کودی مثل کودهای پتاسیمی و آمونیومی می‌تواند در کاهش زردبرگی ناشی از آهن مؤثر واقع شود. استفاده از واریته‌های آهن کارا نیز یکی دیگر از اقداماتی است که باغداران می‌توانند انجام دهند. استفاده از آب آبیاری با کیفیت مناسب نیز از مهم‌ترین اقدامات است. در این راستا، کاهش بی‌کربنات آب آبیاری از طریق اسیدی‌کردن آن امکان‌پذیر است (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

۱۵- روش‌های اصلاح کمبود آهن در درختان میوه

مدیریت اصلاح کمبود آهن در درختان میوه، متکی بر شناخت عوامل ایجادکننده کمبود آهن است. در بسیاری موارد، عدم تهویه کافی خاک، مهم‌ترین عامل به‌وجود آورنده کمبود آهن است. در موارد دیگر، بی‌کربناته بودن آب آبیاری مهم‌ترین عامل است که با روش‌های اصلاحی آب آبیاری مشکل حل می‌شود. با این وجود، پس از اجرای روش‌های مدیریتی تهویه خاک و اصلاح آب آبیاری می‌بایست از منابع شیمیایی و آلی برای رفع کمبود آهن استفاده کنیم (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

۱۵-۱- استفاده از منابع شیمیایی آهن

استفاده از منابع شیمیایی حاوی آهن، یکی از روش‌های درمان و اصلاح کمبود آهن است. منابع شیمیایی حاوی آهن کود سولفات‌آهن و کی‌لیت‌های آهن است که ذیلاً توضیح داده می‌شوند.

۱۵-۱-۱- استفاده از کود سولفات آهن

سولفات‌آهن یک کود تولید داخل ارزان قیمت و مؤثر در رفع کلروز آهن در باغات میوه است. این کود با فرمول شیمیایی $FeSO_4.7H_2O$ تولید می‌شود. سولفات آهن دو ظرفیتی (فرو سولفات) ترکیبی است با فرمول شیمیایی $FeSO_4.7H_2O$ که بسته به pH می‌تواند به صورت کریستال‌های آبی یا سبزرنگ تولید شود. در حالت عادی، هفت مولکول آب در ترکیب سولفات‌آهن موجود بوده و در صورت خشک شدن می‌تواند شش مولکول آب را از دست داده و تبدیل به پودر سفیدرنگ تک‌آبه (منوهیدرات) شود. نوع دیگر سولفات‌آهن سه‌ظرفیتی (فریک‌سولفات) با فرمول شیمیایی $Fe_2(SO_4)_3$ و به رنگ زرد تا قهوه‌ای تولید می‌شود و معمولاً مقدار کم‌تری از آن در بازار یافت می‌شود و عمدتاً جهت تصفیه آب و فاضلاب و هم‌چنین به عنوان رنگ‌دانه از آن استفاده می‌شود. سولفات آهن از پرمصرف‌ترین مواد شیمیایی است. کشورهای آلمان و انگلیس در اروپا و هند و چین در آسیا از عمده‌ترین تولیدکنندگان جهانی این ماده هستند. البته روش تولید کشورهای پیشرفته با جهان سوم متفاوت بوده، به‌طوری که آن‌ها از پساب کارخانه‌های بزرگ فولاد-سازی تولید و تغلیظ می‌شوند، مثلاً در چین از فرآوری مواد معدنی مثل اکسید تیتان

استفاده می‌شود. ایران نیز به‌دلیل نیاز فراوان به سولفات‌های آهن، دارای واحدهای تولیدی زیادی در استان‌های زنجان، اصفهان، قم، تهران و کرمان است و علاوه بر مصارف داخلی، بخشی از محصول تولیدی در کارخانه‌های ایرانی به کشورهای همسایه ازجمله عراق، ترکیه، ارمنستان، پاکستان و تاجیکستان صادر می‌شود.

شکل ۳- کود سولفات آهن

۱۵-۱-۲- موارد و میزان مصرف کود سولفات آهن

الف- مصرف خاکی: در مصرف خاکی می‌توان مقدار ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم سولفات آهن را مخلوط با مواد آلی و در چال‌کود برای هر درخت بارور در نظر گرفت. برای باغ-های پرتراکم و درختان کم‌تر از ۱۰ سال، نصف مقادیر فوق مناسب است (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

ب- مصرف محلول‌پاشی: برای رفع کلروز ناشی از آهک فعال در خاک، محلول‌پاشی سولفات آهن به تعداد دو یا چند بار در طول فصل رشد توصیه می‌شود (Abadia, 2002; Álvarez-Fernández,2004). در درختان میوه اولین محلول‌پاشی چهار هفته پس از گل‌دهی و دومین محلول‌پاشی سه هفته پس از اولین محلول‌پاشی صورت می-گیرد. محلول‌پاشی سولفات آهن با غلظت پنج در هزار برای رفع کمبود مؤثر است (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

۱۵-۲-کلات‌ها و بنیان‌های کلاته‌کننده

واژه کلات[1] برای نخستین بار در دهه ۱۹۲۰ توسط پژوهشگران استفاده شد، چرا که این واژه اصول چنگ‌زدن و نگه‌داشتن چیزی را که در فرآیند کلاته‌کردن روی می-دهد، به خوبی توضیح می‌دهد. در علم شیمی، به ترکیبی که دارای حداقل یک کاتیون فلزی (در هَم‌تافت‌ها) یا یون هیدروژن است، چَنگاله یا کلات می‌گویند. چنگاله در شیمی، فرآیند نیست، بلکه به لیگاندی که بیش از یک جفت الکترون به فلز مرکزی کمپلکس بدهد، اطلاق می‌شود. از بهترین نمونه‌های کلات در شیمی آلی فلزی، کلات ای دی تی ا [2] یا اتیلن دی آمین ترا استیک اسید را می‌توان نام برد. در واقع کلاته کردن [3] فرآیندی است که طی آن یک ترکیب شیمیایی با یک یون فلزی ترکیب شده و آن را به‌صورت محکم نگه می‌دارد. ماده‌ای که با اتصال به یون‌های فلزی ساختار حلقه‌ای پایدارتر تشکیل می‌دهد را چنگالنده[4] می‌گویند (Apicella et al., 2016). امروزه کلات‌های (چنگاله‌ها) عناصر غذایی کم‌مصرف نظیر آهن، روی، مس، منگنز، کبالت، آهن و کروم در تغذیه انسان، دام و طیور استفاده می‌شوند. این فرم از مواد جذب بالاتری داشته و از لحاظ زیست فراهمی در سطح بالاتری هستند. برای اینکه بنیان کلات‌کننده عملکرد مؤثری داشته باشد باید دارای ویژگی‌های ذیل باشد:

- وزن مولکولی کلات نباید از حد مشخصی بیشتر باشد.
- مولکول کلات باید ازنظر مجموع بار الکتریکی خنثی باشد که به‌راحتی با ترکیباتی که ازنظر شیمیایی فعال هستند واکنش ندهد.
- ملکول کلات باید از ثبات ساختاری بالایی برخوردار باشد که عنصر معدنی کلاته شده در رقابت با دیگر عناصر موجود در محیط خاک، برای جذب توسط گیاه پیشی بگیرد.
- عامل کلات‌کننده بایستی به‌آسانی توسط گیاه سوخت‌وساز شود.

بنیان‌های کلات‌کننده که مصرف خاکی دارند باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

1- Chelate
2- EDTA(ethylene diamine tetra acetic acid)
3- Chelation
4- Chelator

- باعث افزایش دسترسی گیاه به مواد معدنی ریزمغذی شوند.
- مانع از تثبیت عناصر معدنی ریزمغذی بویژه در شرایط قلیایی خاک شوند.
- باعث افزایش تحرک عناصر معدنی ریزمغذی در خاک شوند.
- عامل کلاته باید مانع از آب‌شویی شود.

بنیان‌های کلات‌کننده که مصرف برگی و محلول‌پاشی دارند باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- باعث افزایش دسترسی گیاه به مواد معدنی ریزمغذی شوند.
- مواد آلی کلات‌کننده باید اجازه عبور ماده غذایی را از سطح مومی برگ بدهند.
- باید کاملاً در آب حل شوند.

۱۵-۲-۱- انواع ترکیبات کلات ساز

پنج دسته از مواد کلاتور وجود دارند که عموماً با مواد معدنی ترکیب می‌شوند و در کشاورزی برای کاربرد در خاک و محلول‌پاشی برگ استفاده می‌شوند که به شرح ذیل هستند:

کلات‌های مصنوعی، لیگنوسولفونات‌ها، هیومیک یا فولویک اسید، اسیدهای آلی، اسید-های آمینه

۱۵-۲-۱-۱-کلات‌های مصنوعی

عمدتاً شامل کلات‌های EDDHA[1]، DTPA[2] و EDTA[3] می‌شوند که استفاده گسترده‌ای در کشاورزی دارند، اما در سال‌های اخیر استقبال از کلاتورهای آلی بویژه در کشورهای توسعه یافته بیشتر شده است.

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid
2- Diethylenetriaminepentaacetic acid
3- EDTA(ethylene diamine tetra acetic acid)

۱۵-۲-۱-۲- لیگنوسولفونات‌ها

این مواد از لیگنین (یک ترکیب شیمیایی داخل گیاه که باعث چوبی شدن بافت گیاه می‌شود) مشتق می‌شوند و کاربرد زیادی در ترکیبات کلاته برای محلول‌پاشی ندارند. این ترکیبات عمدتاً در مصارف خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی به دلیل اندازه بزرگ مولکولی قادر به جذب از بافت‌های گیاهی در محلول‌پاشی نیستند.

۱۵-۲-۱-۳- هیومیک و فولویک اسید

قادر به کلاته‌کردن عناصر معدنی ریزمغذی بوده که به‌دلیل وزن بالای خود عمدتاً مصرف خاکی دارند. اگرچه بعضی از سازندگان مطرح کود مدعی هستند که فولویک-اسید تولیدی آن‌ها دارای وزن پایینی است و قابلیت مصرف محلول‌پاشی را نیز دارد.

۱۵-۲-۱-۴- اسیدهای آلی

شامل مالیک اسید، سیتریک اسید، فوماریک اسید و ..... هستند. اسیدهای آلی به دلیل این‌که جزئی از تولیدات مواد گیاهی هستند، دارای قابلیت جذب بالایی بوده و مؤثرتر از سایر فرم‌ها هستند. این ترکیبات کلاته در محیط‌های قلیایی شدید، دارای پیوند شیمیایی ضعیف‌تری با عناصر معدنی ریزمغذی بوده و هم‌چنین فرآیند تولید گران‌تری نسبت به سایر انواع ترکیبات مزبور دارند.

۱۵-۲-۱-۵- اسیدهای آمینه (پروتئین)

از دیگر انواع ترکیبات طبیعی هستند که نقش کلات‌سازی داشته و برای محلول-سازی و انتقال مواد معدنی استفاده می‌شوند. آمینواسیدها می‌توانند به‌عنوان یک کلات-ساز عمل کنند و با یون‌های فلز با دو بار مثبت تشکیل یک پیوند شیمیایی محکم دهند.

۱۵-۳- کلات‌های آهن

واژه کلات[1] از کلمه یونانی کله چیله[2] گرفته شده به معنی چنگ‌زدن و نگاه‌داشتن توسط چنگال معنی می‌دهد. کلات‌سازی وقتی شکل می‌گیرد که مولکول‌های بزرگ

1- Chelate
2- Chele

خاصی دارای تعداد زیادی نقطه اتصال با یک باند هستند. شکل کلات یک عنصر به شکل یک عنصر حفاظت شده است که باقی عناصر نمی‌توانند جهت آن عنصر مزاحمتی داشته باشند (Apicella et al., 2016).

شکل ۴- کود کلات آهن

شکل کلاته شده یک عنصر مانند آهن نسبت به فرم معمولی آهن خیلی راحت‌تر و هم‌چنین سریع‌تر جهت گیاهان جذب می‌شود. عناصری مانند آهن زمانی که به شکل کلاته درمی‌آیند خیلی راحت‌تر از فرم معمولی خود در گیاه جذب می‌شوند. بنابراین کود آهن کلاته‌شده دارای جذب بهتری نسبت به کود معمولی است (Álvarez-Fernández et al., 2005). مهم‌ترین عوامل کلاته‌کننده آهن که در حال حاضر به مقدار زیادی به کار گرفته می‌شوند، بنیان‌های آلی هستند که نمک آهن این ترکیبات شامل EDDHSA ، EDDHMA ، DTPA[1] ، EDDHA[2] وEDTA[3] به‌عنوان کود مورد مصرف قرار می‌گیرند(Apicella et al., 2016).

کودهای EDTA[4] و DTPA[5] هرچند می‌توانند محتوی مقدار زیادی آهن تا حد ۱۵٪ باشند و از نظر قیمت به مراتب ارزان هستند، اما این درصد بالای آهن را نمی-

1- Diethylenetriaminepentaacetic acid
2- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid
3- EDTA(ethylene diamine tetra acetic acid)
4- Ethylenediaminetetraacetic acid
5- Diethylenetriaminepentaacetic acid

توانند به‌طور کامل در محیط‌های قلیائی خاک‌های ایران به‌صورت محلول حفظ کرده و آنگاه در اختیار گیاه قرار دهند و در این شرایط قلیائی تحت تأثیر کلسیم، منیزیم و یا فسفات، آهن به‌صورت هیدروکسید نامحلول رسوب می‌کند. این کلات آهن با این دو بنیان بیشتر در محلول‌پاشی برگی کاربرد دارد (Álvarez-Fernández et al., 2005). ترکیب EDDHA[1] در خاک‌های قلیایی ایران دارای تأثیرات مطلوبی است اما همان‌طور که می‌دانید به‌غیر از ایزومر ارتو- ارتو می‌تواند محتوی ایزومرهای دیگر همچون ارتو-پارا و پارا-پارا هم باشد. در طی فرآیند تولید EDDHA، تشکیل ایزومرهای فوق غیرقابل‌اجتناب است. با توجه به مباحث تغذیه گیاهی و مکانیسم‌های جذب آهن توسط گیاه و ماهیت فضایی این کمپلکس‌ها، از بین سه ایزومر فوق، فقط ایزومر ارتو-ارتو توسط گیاه جذب می‌شود و می‌تواند به‌عنوان کود مورد مصرف قرار گیرد. در حال حاضر کودهای ترکیب EDDHA به‌صورت پودر جامد که محتوی مقدار کل ۶ درصد آهن می‌باشد به بازار ایران عرضه می‌شوند که در بهترین حالت ممکن، تنها دارای ۴/۸٪ ایزومر اورتو-اورتو قابل‌جذب گیاه است. از آن جائی‌که در حین ساخت ترکیب Fe-EDDHA به غیرمحصول ایزومر ارتو-ارتو، امکان تشکیل ایزومرهای دیگر همچون ارتو-پارا و پارا-پارا نیز وجود دارد و با توجه به مشکلات جداسازی این ایزومرها از هم و ماهیت عنصر آهن و ساختار کمپلکس شش‌وجهی EDDHA و اندازه حلقه‌های حاصله، این دو ایزومر اخیر نمی‌توانند با آهن کمپلکس داده و بالطبع نقش کود ایفا کنند و لذا جهت به دست آوردن محصولی که محتوی ایزومر ارتو- ارتوی بیشتری باشد، ترکیب EDDHMA به‌عنوان کلات جدید معرفی شده است (Apicella et al., 2016).

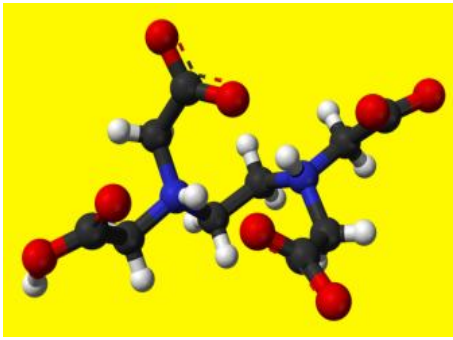
ترکیب EDDHMA نمونه اصلاح شده ترکیب Fe-EDDHA است که بر خلاف ترکیب EDDHA در این ترکیب به غیر از ایزومر ارتو – ارتو امکان تشکیل ایزومرهای دیگر نیست، اما نکته منفی در این محصول؛ باقی‌مانده آن در طبیعت بود که حاصل آن در خاک و آب، ترکیبات پاراکسول بود. مطابق اسناد و مدارک موجود، ترکیبات پاراکسول از نظر اثرات زیست تخریب‌پذیری در بدترین جایگاه قرار دارد و به‌عبارتی مسموم‌کننده و آلاینده بسیار خطرناک برای طبیعت هستند (Álvarez-Fernández, 2005).

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid

۱۵-۴- انواع کود کلات آهن[1]

۱۵-۴-۱- کود کلات آهن EDTA[2]

این ترکیب در محدوده pH بین ۶ تا ۶/۵ پایدار است. یعنی این کود در خاک‌های قلیایی بی‌اثر خواهد بود و قسمت اعظم درصد آهن آن بی‌اثر خواهد شد (Álvarez-Fernández, 2005). در بسیاری موارد دیده شده است که برگ‌پاشی این کود توصیه می-شود. این کلات دارای میل ترکیبی بالا با کلسیم بوده و در صورت استفاده به‌صورت برگ-پاشی موجب کمبود کلسیم در درخت خواهد شد. این ترکیب یک جامد بی‌رنگ بوده که قابل حل در آب است. این ترکیب دارای ساختار شش‌دندانه‌ای و خواص کی‌لیت‌سازی (توانایی آن به منظور جدا کردن یون‌های فلزی) است (شکل۵).



شکل ۵-کلات ای دی تی ا

۱۵-۴-۲- کود کلات آهن DTPA[3]

این نوع کود، نیز فقط در pH کمتر از ۷ پایدار است و دارای میل ترکیبی شدید با کلسیم است و مناسب مصرف در خاک‌های آهکی نیست (Álvarez-Fernández, 2005).

1- Chelated Iron
2- EDTA(ethylene diamine tetra acetic acid)
3- Diethylene triamine pentaacetic acid

۱۵-۴-۳- کود کلات آهن EDDHA[1]

این کود در pH قلیایی نیز پایدار است و مناسب خاک‌های آهکی و قلیایی است، اما یکی از گران‌ترین کلات‌های موجود به شمار می‌آید (Álvarez-Fernández, 2005). در جهان کلات‌های آهن از ۶ ساختار گوناگون ساخته می‌شوند که از میان آن‌ها دو نوع آن یعنی EDTA و EDDHA در ایران کاربرد بسیاری دارند. بهترین کود محتوی آهن در خاک‌های آهکی نظیر اکثریت قریب به‌اتفاق خاک‌های ایران (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲)، ترکیبات شیمیایی با بنیان Fe-EDDHA (سکوسترین آهن-۱۳۸) است. این کود فقط به‌صورت مصرف خاکی و یا به‌صورت استفاده در آبیاری تحت فشار (که در درختان به صورت نواری آبیاری می‌شوند)، توصیه می‌شود و استفاده از آن‌ها به‌صورت محلول‌پاشی مؤثر نخواهد بود، زیرا این کودها در اثر نور تجزیه می‌شوند (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

۱۶- غلظت بی‌کربنات آب

آثار نامطلوب بی‌کربنات آب آبیاری بر گیاه ممکن است به‌طور غیرمستقیم و از طریق تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاهش کیفیت خاک و درنتیجه ایجاد شرایط نامساعد برای رشد گیاه و یا به‌طور مستقیم از طریق کاهش قابل‌جذب عناصر غذایی در خاک و ایجاد اختلالات فیزیولوژیکی در سطوح گوناگون برای گیاه صورت گیرد (علیزاده، ۱۳۷۸). اگر مقدار کربنات سدیم باقیمانده[2](RSC) را که از تفاضل مجموع کلسیم و منیزیم از مجموع کربنات و بی‌کربنات موجود در آب آبیاری برحسب میلی-اکی‌والان در لیتر به‌دست می‌آید، کم‌تر از ۱/۲۵ باشد، این آب برای آبیاری مشکلی نخواهد داشت. اگر مقدار بین ۱/۲۵ تا ۲/۵ باشد با تمهیداتی باید از آن استفاده شود و اگر بیشتر از ۲/۵ باشد، به دلیل خطر سدیمی شدن خاک و ایجاد مشکلات ناشی از آن برای آبیاری مناسب نیست (علیزاده، ۱۳۷۸؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۸۰). تاکنون تحقیقات بسیار وسیعی در رابطه با تأثیر غلظت بی‌کربنات آب آبیاری بر رشد گیاه و

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid

2- Residual Sodium Carbonate

تعیین غلظت بحرانی آن صورت نگرفته است، و به دلیل متفاوت بودن تأثیر بی‌کربنات روی گیاهان تاکنون در باره این تأثیر، رده‌بندی و یا یک حد بحرانی مشخص ارائه نشده است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰). سازمان کشاورزی و خواربار جهانی(FAO) بر مبنای مقدار بی‌کربنات و میزان تأثیر آن بر رشد گیاه، آب‌های آبیاری را به سه گروه تقسیم کرده است. بر اساس این تقسیم‌بندی، اگر میزان بی‌کربنات در آب آبیاری کم‌تر از ۱/۵ میلی‌مول در لیتر باشد، بدون محدودیت، بین ۱/۵ تا ۸/۵، دارای محدودیت کم تا متوسط و اگر بیش‌تر از ۸/۵ میلی‌مول در لیتر باشد، آب آبیاری دارای محدودیت شدید برای رشد گیاه است (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۰).

گزارش شده است که مهم‌ترین عارضه ناشی از بالا بودن غلظت بی‌کربنات آب آبیاری، زردبرگی یا کمبود آهن است (Shahabi et al, 2005). در حقیقت، با کمبود آهن، سنتز کلروفیل کاهش یافته و برگ‌های گیاه حالت زردی به خود می‌گیرند. این نوع کلروز به‌راحتی از دیگر انواع کلروزها قابل تشخیص است، چون در کلروز آهن، در حالی که پهنک برگ زرد و یا سبز متمایل به زرد می‌شود، رگبرگ‌ها تا مراحل نهائی کمبود، همچنان سبز باقی می‌مانند (Kalbasi, 1995). مطالعات متعدد نشان داده که ارتباط نزدیکی بین pH آپوپلاست برگ و مقدار کلروفیل برگ وجود دارد. از طرف دیگر، همبستگی مثبت و بسیار بالایی بین pH آپوپلاست برگ و غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه وجود دارد. افزایش نسبت فسفر به آهن (P/Fe) در برگ نیز از دیگر اثرات نامطلوب بی‌کربنات است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰). از دیگر اثرات فیزیولوژیکی و به‌عبارتی مهم‌ترین عارضه فیزیولوژیکی ناشی از بالا بودن غلظت بی‌کربنات در محیط ریشه، اختلال در تغذیه آهن است. این اختلال فیزیولوژیکی ممکن است در سطح جذب، انتقال، متابولیسم یا مجموعه‌ای از آن‌ها اتفاق افتد که درنهایت سبب عدم امکان مشارکت آهن در سنتز کلروفیل شده و بدین ترتیب زردی برگ در گیاه به‌عنوان یک عارضه قابل مشاهده و ناشی از کمبود آهن ظاهر می‌شود (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰).

۱۷- اسیدی کردن آب آبیاری[1]

تزریق اسید سولفوریک، اسید فسفریک و یا اسید نیتریک به داخل آب آبیاری که pH و قلیاییت بالایی دارد، با کاستن از مقدار بی‌کربنات و کربنات، کیفیت آن را بهبود می‌بخشد تا به این ترتیب از افزایش pH محیط در طول زمان جلوگیری شود. برای تعیین دقیق مقدار اسید لازم برای اسیدی کردن آب تا حد رسیدن به pH مطلوب، باید pH و قلیاییت آب آبیاری را بدانیم. جدول ۵ مقدار اولیه اسید لازم را که برای تزریق در ۴۰۰۰ لیتر آب لازم است، مشخص کرده است تا pH تقریباً به ۵/۸ برسد.

جدول۲- مقدار اسید لازم برای خنثی کردن یک میلی‌اکی والان در لیتر بی‌کربنات در آب آبیاری (با در نظر گرفتن رسیدن به pH مساوی ۵/۸) (Bailey et al., 1996)

اسیدهای مورد استفاده	مقدار اسیدی که به ۴۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود تا قلیاییت یک me/l کاهش یابد	غلظت عناصری که توسط ۱۰۰ گرم اسید به هر ۱۰۰۰ لیتر آب اضافه می‌شود
اسید نیتریک (٪۶۷)	۴۳/۸ml	۰/۹mg/kg N
اسید فسفریک (٪۷۵)	۵۲/۷ ml	۱/۷ mg/kg P
اسید سولفوریک (٪۳۵)	۷۲/۵ ml	۰/۶۶ mg/kg S

اسید سولفوریک توصیه شده، یک الکترولیت باتری است که می‌توان آن را از اغلب فروشگاه‌های مواد آزمایشگاهی خریداری کرد. برای مثال اگر قلیاییت آب آبیاری چهار میلی‌اکی‌والان در لیتر باشد و pH مورد نظر ۵/۸ باشد، نیاز است ۱/۲ لیتر اسید سولفوریک ۳۵ درصد به هر ۴۵۴۶ لیتر آب آبیاری افزوده شود. توصیه می‌شود به جای اسید نیتریک و اسید فسفریک از اسید سولفوریک استفاده شود. زیرا دارای کاربرد نسبتاً آسان و مطمئن و هزینه کم بوده و در دسترس می‌باشد.

1- Water Irrigation Acidification

۱۸- نحوه کالیبره کردن اسید در آب آبیاری (نسبت اسید مورد نیاز در آب)

یکی از مشکلات اکثر باغداران، عدم اطلاع کافی از نحوه کالیبره کردن تزریق اسید داخل سیستم آبیاری است. برای این منظور بایستی دبی خط اصلی سیستم آبیاری تحت فشار(Q) برحسب مترمکعب در ساعت (m^3/h) و نسبت اختلاط اسید مورد نیاز (R) برحسب میلی‌لیتر در مترمکعب (ml/m3) را داشته باشیم تا بتوانیم دبی مورد نیاز جهت تزریق اسید (I) برحسب میلی‌لیتر در ساعت (ml/h) را مشخص و محاسبه نماییم. دبی مورد نیاز جهت تزریق اسید (I) برحسب میلی‌لیتر در ساعت (ml/h) از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

رابطه ۱ $I = R . Q$

مثال: در سیستم آبیاری تحت فشار یک باغ سیب، ۳۰ دقیقه زمان لازم است تا آب به دورترین نقطه سیستم برسد. دبی کل سیستم ۳۱ مترمکعب در ساعت و بر اساس توصیه آزمایشگاه شیمی آب، جهت اسیدی کردن آب آبیاری، غلظت اسید مورد نیاز درون سیستم ۶۰۰ میلی‌لیتر در مترمکعب است. میزان دبی تزریق اسید به سیستم را محاسبه کنید.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۱:

$I = R . Q$ $I= 31 * 600$ $I = 18,600$ ml/h $I=18.6$ lt/h

بنابراین دبی تزریق اسید می‌بایست برابر ۱۸/۶ لیتر در ساعت باشد و این عمل به مدت ۳۰ دقیقه ادامه داشته باشد. پس میزان کل اسید مورد نیاز ما ۹/۳ لیتر است. بنابراین می‌توان با استفاده از یک پمپ تزریق، مقدار ۱۸/۶ لیتر اسید در ساعت به داخل سیستم آبیاری تحت فشار تزریق نمود تا بی‌کربنات آب آبیاری به میزان توصیه شده کاهش یابد.

شکل ۶- سیستم خودکار تزریق اسید به داخل آب آبیاری

۱۹- استفاده از گوگرد به همراه مایه تلقیح تیوباسیلوس

با توجه به آثار بسیار مثبت گوگرد (سولفات) در تأمین نیاز غذایی گیاهان، کاهش موضعی pH محدوده ریشه، اصلاح خاک‌های قلیایی، کاهش بی‌کربنات آب آبیاری و افزایش حلاّلیت و قابل استفاده بودن عناصر غذایی پرمصرف (فسفر) و کم‌مصرف (ریزمغذی‌ها) به‌ویژه آهن، روی، ... و کنترل برخی از بیماری‌ها نظیر سفیدک، لازم است این کود در عمق خاک (با شخم زیر خاک شود) جای‌گذاری و رطوبت نیز به مقدار کافی باشد تا امکان تبدیل گوگرد به سولفات (فرم قابل‌استفاده گیاهان) به‌وجود آید. مقدار مصرف گوگرد آلی گرانوله حداقل ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که اگر گوگرد به همراه مواد آلی و باکتری‌های تیوباسیلوس با روش صحیحی جای‌گذاری شود و رطوبت نیز در حد مطلوب باشد، می‌تواند تا حد ۶۰ درصد عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش دهد. شکل قابل استفاده گوگرد توسط گیاهان، به صورت یون سولفات است. از این‌رو برای تبدیل گوگرد به سولفات باید شرایط اکسیداسیون در خاک مهیا باشد.

مطالعات پژوهشگران فراوان ازجمله شهابی و ملکوتی (۱۳۸۰) نشان داد که بی‌کربنات آب آبیاری باعث کاهش عملکرد می‌شود. گوگرد عنصری که به خاک اضافه شود، به‌وسیله باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد اکسیده شده و به سولفات تبدیل می‌شود. این فرآیند اسیدزاست و درنهایت تولید اسیدسولفوریک می‌کند و پروتون

اسیدسولفوریک باعث اسیدی شدن خاک می‌شود. میزان اثر گوگرد و سرعت تبدیل آن به اسید سولفوریک به مقدار رطوبت، جمعیت و قدرت اکسیدکنندگی میکروارگانیسم-های موجود در خاک و دما بستگی دارد. سرعت این واکنش کُند است. گوگرد عنصری حداقل دو سال زمان لازم دارد تا کاملاً به اسید سولفوریک تبدیل شود. در این واکنش، درنهایت حلاّلیت آهن، روی و منگنز افزایش می‌یابد و زردبرگی کاهش می‌یابد. افزودن گوگرد به خاک به منظور تأمین نیاز گیاه به این عنصر، یا اصلاح و بهبود وضعیت تغذیه گیاه (از طریق اکسیداسیون گوگرد و آزاد شدن عناصر غذایی مثل فسفر، آهن و روی) وقتی مؤثر خواهد بود که میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک قابل‌توجه باشد. از آنجا که اکسیداسیون شیمیایی گوگرد بسیار کُند بوده و قسمت اعظم گوگرد موجود در خاک توسط میکروارگانیسم‌ها اکسید می‌شود، از این‌رو هر عاملی که بتواند رشد و نموّ و فعالیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکنندهٔ گوگرد را تحت تأثیر قرار دهد، بر میزان اکسیداسیون گوگرد در خاک نیز اثر خواهد گذاشت. میزان اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد به اثرات متقابل سه عامل اصلی (جمعیت میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده، مشخصات ترکیب گوگردی و شرایط محیطی موجود در خاک بستگی دارد. مهم‌ترین عوامل مؤثر عبارت‌اند از: درجه حرارت، تهویه و رطوبت خاک، بافت خاک، pH خاک، مواد آلی، اتصال باکتری به سطح گوگرد، اندازه ذرات گوگرد، اثر نوع نمک، اثر آنزیم ردانز و آفت‌کش‌ها. از آنجا که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس مهم‌ترین اکسیدکنندگان گوگرد در خاک به‌شمار می‌روند، تلقیح خاک با این باکتری‌ها، باعث افزایش سرعت اکسیداسیون گوگرد می‌شود. نتایج تلقیح وقتی قابل‌توجه خواهد بود که به خاک‌های قلیا، گوگرد و باکتری به‌طور توأم اضافه شود. چرا که بعضی از خاک‌های سدیک (سدیمی) دارای جمعیت ناکافی از این باکتری‌ها هستند. تقریباً تمام خاک‌ها، دارای باکتری‌های اکسیدکنندهٔ گوگرد هستند، ولی تعداد این باکتری‌ها به علت فقدان ترکیبات گوگردی ناچیز است. افزودن شکل‌های احیاء گوگرد به خاک (چه از طریق اتمسفر یا در کودها) موجب افزایش تعداد اکسیدکننده‌ها و بالا رفتن توان اکسایش در خاک می‌شود، بنابراین اختلاف تیمارهای تلقیح شده با شاهد تلقیح نشده چندان چشم-

گیر نیست و این دلیلی است که در شرایط مزرعه تلقیح کم‌تر مؤثر واقع می‌شود (بختیاری و همکاران، ۱۳۸۰؛ کوچک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۰).

۲۰- میزان برداشت گوگرد در مقایسه با فسفر توسط گیاهان

میزان غلظت گوگرد در برگ گیاهان، اغلب بیش از دو برابر فسفر است و این امر اهمیت نسبی گوگرد را در مقایسه با فسفر به وضوح نشان می‌دهد. غلظت گوگرد نیز در خاک‌های زراعی باید بالاتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد. در راستای ترویج تولید و مصرف انواع کودهای محتوی گوگرد، ساخت و مصرف کودهای ذیل در مقیاس صنعتی شروع شده است تا نقش آن‌ها در افزایش عملکرد هکتاری و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی مشخص‌تر شود.

۲۰-۱-گوگرد آلی گرانوله

این کود یکی از تولیدات داخل کشور بوده و در راستای نیل به افزایش مواد آلی خاک‌ها، اصلاح pH خاک و نیل به کشاورزی پایدار، تولید می‌شود. این کود محتوی حدود ۴۵ درصد گوگرد، ۴۵ درصد مواد آلی و ۱۰ درصد بنتونیت است که ۹۰ درصد اندازه ذرات آن ۴-۲ میلی‌متر بوده و در کیسه‌های ۲۵ کیلوگرمی عرضه می‌شود.

با توجه به آثار بسیار مثبت گوگرد (سولفات) در تأمین نیاز غذایی گیاهان، کاهش موضعی pH محدوده ریشه، اصلاح خاک‌های قلیایی، کاهش بی‌کربنات آب آبیاری و افزایش حلاّلیت و قابل استفاده بودن عناصر غذایی پرمصرف (فسفر) و کم‌مصرف (ریزمغذی‌ها) به‌ویژه آهن، روی، ... و کنترل برخی از بیماری‌ها نظیر سفیدک، لازم است کود مذکور در عمق خاک (با شخم زیر خاک شود) جای‌گذاری و رطوبت نیز به مقدار کافی باشد تا امکان تبدیل گوگرد به سولفات (فرم قابل استفاده گیاهان) به‌وجود آید. مقدار مصرف گوگرد آلی گرانوله حداقل ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است.

۲۰-۲- ساری کود (گوگرد کشاورزی گرانوله)

این کود یکی از تولیدات کودی داخل است که در کیسه‌های ۵۰ کیلوگرمی عرضه می‌شود و حداقل محتوی ۸۵ درصد گوگرد است. در حالی که نیاز تعدادی از گیاهان به

گوگرد (غلظت گوگرد در داخل گیاه بیش از فسفر است) به مراتب بیشتر از فسفر است و علی‌رغم تولید سالیانه بیش از یک میلیون تن گوگرد در داخل کشور، متأسفانه تاکنون حتی در خاک‌های آهکی و قلیایی نیز از گوگرد به‌عنوان کود استفاده نشده است. با توجه به آثار مثبت گوگرد در کاهش pH موضعی خاک‌های آهکی، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان، افزایش حلالیت عناصر کم‌مصرف و پرمصرف به‌ویژه فسفر، آهن و روی، و کنترل برخی از عوامل بیماری‌زای قارچی نظیر سفیدک و هم‌چنین نقش آن در اصلاح خاک-های شور و قلیا و خاصیت اصلاح‌کنندگی آب‌ها، لازم است نسبت به تأمین کودهای گوگرددار ازجمله ساری‌کود (گوگرد کشاورزی) مورد نیاز مزارع اقدام شود.

مقدار مصرف ساری‌کود در مزارع با توجه به نقش بسیار مثبت آن، حداقل ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار است. برای این که این کود مؤثر واقع شود، ساری کود را باید همراه با مواد آلی مصرف کرده، هم‌چنین رطوبت خاک نیز کافی باشد. زمان مصرف این کود، قبل از کاشت محصولات زراعی بوده و برای تضمین اثربخشی آن، باید همراه با موادآلی، زیرِخاک شود. مصرف ساری‌کود در شرایط غرقابی و زراعت برنج و هم‌چنین در خاک-های گچی، توصیه نمی‌شود.

۲۰-۳- بیوفسفات طلایی محتوی روی

این کود یکی از تولیدات داخل کشور است که به شکل پودری و در کیسه‌های ۲۵ کیلوگرمی عرضه می‌شود. درصد فسفر کل در این کود ۲۰ درصد است که با کمک باکتری‌های تیوباسیلوس به شکل قابل‌استفاده گیاه درمی‌آید. هر کیسه حاوی ۱۵ کیلوگرم خاک فسفات غلیظ شده، ۵ کیلوگرم گوگرد، ۴ کیلوگرم کود آلی و یک کیلوگرم سولفات روی به همراه یک بسته مایه تلقیح تیوباسیلوس است. این کود برای باغ‌های میوه، آن‌هم در داخل چاله‌ها و یا کانال به همراه کودهای دیگر و نیز در محصولات زراعی قبل از کاشت، قابل استفاده است. این کود فاقد کادمیوم بوده و علاوه بر تأمین فسفر، به دلیل کاهش موضعی pH خاک، به تأمین غذایی محصولات به روی، آهن و ...، کمک می‌کند. علاوه بر این، با افزایش فعالیت‌های حیاتی و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، حاصلخیزی خاک را نیز افزایش می‌دهد. برای این‌که این کود مؤثر واقع شود باید به‌صورت چالکود یا کانال کود جای‌گذاری شده و رطوبت

نیز به مقدار کافی باشد تا امکان تبدیل گوگرد به سولفات با کمک باکتری‌های تیوباسیلوس فراهم شود. در زمان مصرف، ابتدا در سایه (نور غیرمستقیم) یک بسته مایه تلقیح تیوباسیلوس را با محتویات کیسه کود بیوفسفات طلایی ۲۵ کیلوگرمی مخلوط می‌کنند. آنگاه مقدار یک کیلوگرم (برای هر درخت) را در کانال یا چند چاله (به قطر ۳۵ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر) که در قسمت انتهایی سایه‌انداز درخت حفر شده است، می‌ریزند. در صورت موجود بودن برگ‌های کاملاً پوسیده یا کود حیوانی و یا کمپوست، می‌توان آن‌ها را نیز به مخلوط نهایی همراه با کودهای دیگر چاله اضافه کرد. برای هر درخت جوان (ده‌ساله) مصرف یک کیلوگرم بیوفسفات طلایی حداقل برای هر دو سال یک‌بار کافی خواهد بود. در شکل شماره ۷، تصویری از چالکود و یا کانال کود نشان داده شده است.

شکل ۷- روش چالکود

۲۱- علائم کمبود آهن در درختان میوه

۲۱-۱- علائم کمبود آهن در انگور

کمبود آهن در خاک‌هایی که آهک آن‌ها زیاد است مشاهده می‌شود. علائم کمبود با زردی (در اثر از بین رفتن کلروفیل) بافت بین رگبرگی، در برگ‌های کوچک شروع می‌شود. پهنک‌ها در حواشی خود، کم‌رنگی بسیار شدیدی نشان می‌دهند و زردی از حواشی به طرف نواحی بین رگبرگی نفوذ می‌کند. حواشی برگ‌هایی که شدیداً زرد شده‌اند، به‌تدریج خشک می‌شوند و بافت مرده به طرف بالا می‌پیچد (شکل۸) و

سرانجام، خشک شده و می‌ریزند. جوانه‌های جانبی به ساقه‌های نازک، کوتاه و دارای میان گره‌های صورتی رنگ تبدیل می‌شوند. این ساقه‌ها دارای برگ‌چه‌های کوچک، دندانی شکل، باریک، تقریباً به‌طور کامل رنگ سفید بوده و در طول رگبرگ مرکزی تا می‌شوند. پیچک‌ها نیز زرد می‌شوند، اما تقریباً اندازه طبیعی خود را حفظ می‌کنند. بر-گ‌های این سرشاخه‌ها ازنظر شکل با برگ‌های بدشکل و کوچک اختلاف دارند. پس از گل‌دهی، غالباً خوشه‌های ضعیف مشاهده می‌شود و در حالت شدید به خاطر عدم گرده‌افشانی، گل‌ها و میوه‌های جوان ریزش می‌کنند. کمبودِ آهن از نظر درمان، مشکل-ترین بیماری تغذیه‌ای گیاهان است. اصلاح خاک و نرم کردن و هوادهی برای درمان پایدار، عاملی ضروری است. استفاده از پایه‌ها و ارقام مقاوم به زردی اکثراً بسیار مفید است. در خاک‌های آهکی، ممکن است استفاده از مقادیر بالای گوگرد مفید باشد. کلات‌های آهن، اغلب بسیار مؤثرند، اما اکثراً محدود به زمان هستند. سم‌پاشی‌های مکرر شاخ و برگ در طول دوره رویشی با سولفات و سیترات آهن، یا کلات‌های آهن موجب سبز شدن دوباره لکه‌ها می‌شود (دولتی‌بانه و منتظری، ۱۳۹۳).

شکل ۸- علائم کمبود آهن در انگور

۲۱-۲- علائم کمبود آهن در سیب

بروز زردی در برگ‌های جوان سیب در انتهای سرشاخه‌های جوان، از علائم کمبود آهن می‌باشد. در حالت شدید کمبود، برگ‌های تازه و جوان، زردرنگ شده ولی رگبرگ-ها سبز باقی می‌مانند و شبکه رگبرگ‌های سبز در متن زرد برگ کاملاً مشخص است

(شکل۹). محلول‌پاشی درختان سیب با املاح معدنی (سولفات آهن) نیز می‌تواند بسته به کیفیت کود و شرایط محیطی و مدیریتی، به درجات گوناگونی در مداوای زردی برگ درختان سیب مؤثر باشد. در هرحال، هنگام محلول‌پاشی بایستی مراقب سوختگی برگ و میوه بود. استفاده از کودهای مرغوب و رعایت مسائل عمومی مربوط به محلول‌پاشی مهم است. بهتر است قبل از محلول‌پاشی تمام باغ، ابتدا چند درخت به صورت آزمایشی محلول‌پاشی شود و در صورتی که پس از گذشت دو روز، علائم سوختگی روی برگ و میوه دیده نشد، اقدام به محلول‌پاشی تمامی باغ شود. برای رفع کلروز آهن در باغات سیب بهتر است در ابتدا عامل به وجودآورنده کلروز مشخص و رفع گردد. آخرین راه رفع کلروز آهن در باغات، استفاده از کلات آهن می‌باشد. کلات‌های آهن با بنیان EDDHA بهترین نوع برای مصرف خاکی هستند. کلات‌های آهن در صورت مصرف در اوایل فصل رشد (خاک سرد و یا خیلی مرطوب)، کارآیی کمتری دارند و بهتر است در ابتدای مرحله رشد سریع سرشاخه‌ها به همراه آبیاری مصرف شوند. همواره بایستی به راهنمای مصرف این کودها (مندرج بر روی بسته بندی) توجه کرد و از کم‌ترین مقدار لازم استفاده کرد (سمر و همکاران، ۱۳۹۶).

شکل ۹- علائم کمبود آهن در سیب

۲۲-۳-کمبود آهن در درختان میوه هسته‌دار (هلو، آلو، شلیل، گوجه)

کلروز ابتدا در برگ‌های جوان دیده می‌شود. پهنک برگ، سبز کم‌رنگ و بعد زرد و در بعضی موارد سفید می‌شود. رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند. در کمبود شدید، لبه برگ‌ها حالت بافت مردگی نشان می‌دهند و قبل از بلوغ می‌افتند (Álvarez-Fernándezet al., 2003). شکل ۱۰ کمبود آهن را در درخت هلو نشان می‌دهد. در حقیقت کمبود آهن در درختان هلو همیشه نشانگر نبود این ماده مهم معدنی در خاک باغ نیست، بلکه در بیشتر مواقع به علت بالا بودن pH خاک منطقه، آهن از دسترس ریشه خارج شده و ریشه توانایی جذب آهن را نخواهد داشت. بدین منظور، استفاده از کلات آهن برای جذب درخت مناسب بوده و تأثیری در pH خاک ندارند. استفاده از کلات آهن برای مصارف خاکی باید در بهار و در محدوده اطراف ریشه صورت گیرد. در حالی‌که اسپری برگی یا محلول‌پاشی آهن از طریق برگ‌ها می‌تواند مؤثر باشد و اثرات سریعی ظاهر کند اما باید حدود ۱۰ تا ۲۰ روز بعد مجدداً تکرار شود (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴). در مواردی تزریق ترکیبات آهن به داخل تنه درخت آلو، برای رفع کلروز آهن مؤثر واقع شده است (Yoshikawa et al., 1982).

شکل ۱۰- علائم کمبود آهن در هلو

شکل ۱۱- کمبود آهن در آلو

شکل۱۲- علائم کمبود آهن در آلو

۲۳-۴-کمبود آهن در درختان میوه هسته‌دار (گیلاس، آلبالو)

۲۳-۴-۱- کمبود آهن در گیلاس

کمبود این عنصر از روی ظهور زردشدگی فضای بین رگبرگ‌های برگ‌های جوان قابل تشخیص است. در حالت‌های شدید کمبود آهن، پهنک برگ سبز کم‌رنگ شده و در بعضی موارد زرد و حتی سفیدرنگ می‌شود (Rouse et al., 2002) (شکل۱۳). لبه برگ‌ها ممکن است حالت بافت‌مردگی پیدا نمایند و قبل از بلوغ بیفتند. در شکل ۱۳، برگ‌های درخت گیلاس دچار درجات گوناگون کمبود آهن (ردیف دوم و سوم) در مقایسه با برگ‌های سالم (ردیف اول) دیده می‌شوند. علائم کمبود آهن در برگ آلبالو نیز در شکل ۱۴ نشان داده شده است. برای رفع کمبود آهن در این درختان می‌توان از کلات آهن

سکوسترین ۱۳۸ به میزان ۱۵۰ گرم برای هر درخت به صورت چالکود یا برگ‌پاشی سولفات آهن به غلظت ۵ در هزار استفاده نمود (ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۸۴).

شکل ۱۳- علائم کمبود آهن در گیلاس

شکل ۱۴- علائم کمبود آهن در برگ آلبالو

۲۳-۵- کمبود آهن در انار

مهم‌ترین عمل آهن، حضور در سیستم‌های آنزیمی گیاه است. وجود آهن برای سنتز کلروفیل ضروری است، زیرا کمبود آن باعث زردی یا کلروز در برگ‌ها می‌شود. اهمیت آنزیم‌های آهن‌دار به‌ویژه سیتوکروم‌ها، در عمل تنفس گیاه واضح است. آهن به‌صورت فرو[1] جذب گیاه می‌شود. با وجود این‌که مقدار این عنصر در خاک‌ها زیاد است،

1- Fe^{2+}

اما علائم کمبود آن به وفور گزارش شده است. در خاک‌های قلیایی و اسیدی به علت فقدان آهن محلول، این کمبود بروز می‌کند، مضاف بر آن، مقدار بیش از اندازه برخی از عناصر مانند فسفر، روی، مس، منگنز و نیکل در خاک می‌تواند به ایجاد این کمبود کمک کند (حیدری کهل و همکاران، ۱۳۹۳). حدود ۵۰۰ گرم کود سولفات یا اکسید فرو به‌طور سالیانه تأمین‌کننده نیاز هر درخت انار به عنصر آهن می‌باشد، هم‌چنین می‌توان از ۱۰۰ گرم کلات آهن با بنیان EDDHA[1] به صورت چالکود استفاده نمود (تدین،۱۳۹۴.، ملکوتی و طباطبایی، ۱۳۹۴). در شرایط بروز مکرر کمبود این عنصر توجه داشته باشید اضافه کردن این نمک‌ها به خاک چاره‌ساز نبوده و بهتر است از کلات‌آهن به‌صورت استفاده در چالکود یا کودآبیاری بهره بگیرید. در مورد جذب کود آهن کمی حساس باشید. کمبود این عنصر به‌سرعت آثار خود را نمایان می‌کند. برگ-های سوراخ و بدریخت و زردرنگ، نشانه‌های آشکار شدن کمبود این عنصر می‌باشد.

شکل ۱۵- علائم کمبود آهن در انار

۲۳-۶- کمبود آهن در پسته

در صورت کمبود، سبزینه به مقدار کافی در سلول‌های برگ تولید نمی‌شود و برگ-ها رنگ‌پریده به نظر می‌آیند. ابتدا فاصله بین رگبرگ‌ها زرد می‌شود و با شدت‌یافتن

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid

کمبود، تمام سطح برگ زرد می‌شود. علائم زردی ابتدا در برگ‌های جوان و قسمت‌های بالای گیاه ظاهر شده و با پیشرفت کمبود، تمام گیاه را فرا می‌گیرد (حسینی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶) (شکل۱۶).

شکل ۱۶- کمبود آهن در پسته

ترکیبات معدنی نظیر سولفات آهن، یا نمک نیترات آن، قابلیت حلالیت در آب را دارد و می‌توان آن‌ها را به‌صورت کودآبیاری استفاده کرد. اما به دلیل آهکی بودن خاک-ها، درصد بالای رس و بعضاً گچ، کارایی آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین در صورت امکان کوددهی زمستانه با مواد آلی، شاید استفاده از این ترکیبات همراه با مواد آلی مناسب‌تر باشد. استفاده از کلات EDDHA[1] کارایی خوبی داشته و در طول فصل قابل استفاده همراه با آبیاری را دارد. در صورت استفاده از نمک‌های سولفات و یا کلات‌های EDTA [2] می‌توان از اسیدی‌کردن آب آبیاری به منظور افزایش کارایی جذب این عناصر کمک جست (حسینی فرد و همکاران، ۱۳۹۶).

۲۳-۷- کمبود آهن در زیتون

کمبود آهن که به‌صورت کلروز آهن شناخته می‌شود، عدم تعادل تغذیه‌ای است که گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. درختان زیتون که از کمبود آهن رنج می‌برند، نشانه-

1- Ethylenediaminehydroxyphenylacetic acid

2- Ethylene diamine tetra acetic acid

هایی مانند ظهور برگ‌های زردرنگ، رشد ساقه اندک و کاهش عملکرد را نشان می‌دهند (Benitez et al., 2005., Alcántara et al., 2003).

شکل ۱۶- علائم مشخص کلروز آهن در برگ زیتون

در صورتی‌که کمبود آهن از طریق محلول‌پاشی نمک‌های معدنی آهن برطرف نشد، می‌توان به ازای هر درخت ۱۰۰ گرم آهن از منبع کلات آهن EDDHA در پای درختان در محدوده سایه‌انداز مصرف نمود. اصلاح کمبود آهن مشکل و هزینه‌بر است. بهترین راه‌حل برای باغ‌های جدید، انتخاب رقمی است که بتواند این وضعیت غیرعادی را تحمل کند. در باغ‌های احداث شده، جهت اصلاح، کاربرد کلات‌های آهن در خاک که در مقایسه با سایر ترکیبات، آهن را به مدت طولانی‌تری به حالت قابل‌جذب نگه می‌دارد، توصیه می‌شود (طاهری و همکاران، ۱۳۹۶).

۲۳-۸- کمبود آهن در مرکبات

در مرکبات، به تدریج که کمبود توسعه می‌یابد، برگ‌ها کرم رنگ شده و به سفیدی می‌گرایند. رگبرگ‌ها نیز رنگ سبز خود را از دست می‌دهند، در کمبود شدید برگ‌ها کوچک و چروکیده می‌شوند. میوه‌ها کوچک و بی‌رنگ می‌شوند. سرشاخه‌ها خشکیده و می‌میرند. ممکن است شاخه‌ای یا قسمتی از درخت و یا چند درخت در باغ آلوده شده و بقیه علائم کمبود را نشان ندهند (Obreza, 1993). برای رفع علائم کمبود، برگ‌پاشی

سولفات آهن با غلظت پنج در هزار یا استفاده از کود سکوسترین ۱۳۸ به صورت چالکود توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۹۶) و (Pestana, 2002).

شکل ۱۷- علائم کمبود آهن در مرکبات

۲۳-۹- کمبود آهن در گردو

درختان گردو نسبت به کمبود آهن مقاوم هستند. در گردو، کلروز آهن به شکل زرد شدن پهنک برگ ظاهر می‌شود درحالی که رگبرگ‌ها تا مدت‌ها سبز می‌مانند. علائم کلروز ۲ تا ۳ ماه پس از بیدار شدن گیاه، ابتدا روی برگ‌های جوان و سپس به‌تدریج روی برگ‌های پیرتر ظاهر می‌شود. پوست گردو خشبی می‌شود، اندازه میوه کوچک می‌ماند و تولید محصول کاهش می‌یابد. کلروز باعث ضعیف ماندن گیاه می‌شود و پس از ۴ تا ۵ سال آن را از بین می‌برد (طاهری، ۱۳۸۳). کلات یا سولفات آهن در درمان مؤثر است. کلات‌های آهن می‌بایست در اوایل اسفندماه به زمین داده شود. معمولاً ۳۰ تا ۶۰ گرم کلات آهن برای هر درخت کفایت می‌کند. مصرف یک کیلوگرم سولفات آهن همراه با بیوگوگرد طلایی نیز به صورت چالکود هر دو سال یک‌بار در رفع کلروز آهن نیز مؤثر است (طاهری، ۱۳۸۳).

شکل ۱۸- علائم کمبود آهن در گردو

۲۳-۱۰- گل‌محمدی

گل‌محمدی یکی از محصولات باغی است که ارزش‌افزوده زیادی دارد. تولید گلاب و اسانس از این گل و پتانسیل صادراتی آن موجب توسعه کشت این گیاه شده است. کمبود آهن از برگ‌های جوان شروع می‌شود. در این حالت رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند، در حالی‌که پهنک زرد می‌شود (Griep, 2015). برای رفع علائم کمبود آهن می‌توان از برگ‌پاشی سولفات‌آهن با غلظت پنج در هزار استفاده نمود. هم‌چنین از کود سکوسترین ۱۳۸ به میزان ۱۰۰ گرم برای هر بوته به صورت کود آبیاری یا مخلوط در خاک استفاده نمود. حذف بی‌کربنات موجود در آب و اسیدی‌کردن آب آبیاری نیز بسیار مؤثر است.

شکل ۱۹- علائم کمبود آهن در گل‌محمدی

۲۴- کمبود آهن در محصولات گلخانه‌ای

۲۴-۱- خیار گلخانه‌ای

کمبود آهن در محصولات گلخانه‌ای، باعث توسعه یکنواخت رنگ‌پریدگی و ایجاد سبز متمایل به زرد در جوان‌ترین برگ‌ها می‌شود، و سایر برگ‌ها سبز تیره باقی می‌مانند. در ابتدا رگبرگ‌ها سبز و ایجاد یک فرم شبکه مانند می‌نمایند، اگر کمبود تشدید شود رگبرگ-های فرعی کم‌رنگ شده و خصوصاً اگر برگ‌ها در معرض نور خورشید باشند سرانجام می-میرند. علائم شاخص کمبود آهن در گیاه خیار گلخانه‌ای به شرح ذیل است:

- ظهور اولیه رنگ سبز روشن در برگ‌های جوان همراه با ظهور شبکه گسترده سبز رنگ رگبرگ‌ها
- جوان‌ترین برگ‌ها دارای رنگ سبز روشن تا زرد (شکل سمت چپ و وسط) و در شرایط کمبود شدید
- رگبرگ‌های فرعی ناپدید و زرد روشن تا سفیدی برگ‌های جوان (شکل وسط) نسبت به برگ سالم (شکل سمت راست).

رفع کمبود آهن از طریق محلول‌پاشی ترکیبات معدنی آهن نظیر سولفات‌آهن ممکن است دوام مطلوبی نداشته باشد. برای همین منظور معمولاً توصیه می‌شود از کلات آهن EDDHA[1] که پایداری بیشتری دارد استفاده شود. مصرف زیاد کلات آهن موجب بروز کمبود منگنز در محصولات گلخانه‌ای می‌شود (ملاحسینی و بصیرت، ۱۳۹۴).

شکل۲۰- علائم کمبود آهن در خیار گلخانه‌ای

1- Ethylene diamine hydroxyphenyl acetic acid

۲۴-۲- گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای

اولین علائم کمبود در برگ‌های جوان دیده می‌شود (مطابق شکل) که عبارت از زردی در نواحی بین رگبرگ‌هاست. در کمبود شدید، تمام سطح برگ زرد روشن شده، به‌تدریج به رنگ تقریباً سفید در می‌آید و سپس کمی خشک و سوخته می‌شود (بصیرت و همکاران، ۱۳۹۵). رفع کمبود آهن از طریق محلول‌پاشی ترکیبات معدنی آهن نظیر سولفات آهن ممکن است دوام مطلوبی نداشته باشد برای همین منظور معمولاً توصیه می‌شود از کلات آهن EDDHA[1] که پایداری بیشتری دارد استفاده شود. مصرف زیاد کلات آهن موجب بروز کمبود منگنز در گلخانه‌ها می‌شود.

شکل ۲۱- علائم کمبود آهن در گوجه‌فرنگی

۲۴-۳-توت‌فرنگی

زرد شدن برگ‌های جوان اولین علامت کمبود است. با افزایش کمبود، رنگ زرد برگ‌ها به سفیدی می‌گراید. در حالت کمبود خفیف رگبرگ‌ها سبز باقی می‌مانند (سدری و قادری، ۱۳۸۴). رفع کمبود آهن از طریق محلول‌پاشی ترکیبات معدنی آهن نظیر سولفات آهن ممکن است دوام مطلوبی نداشته باشد برای همین منظور، معمولاً توصیه می‌شود از کلات آهن EDDHA[2] که پایداری بیشتری دارد استفاده شود. مصرف زیاد کلات آهن موجب بروز کمبود منگنز در گلخانه‌ها می‌شود (سدری و قادری، ۱۳۸۴).

1- Ethylene diamine hydroxyphenyl acetic acid

2- Ethylene diamine hydroxyphenyl acetic acid

شکل ۲۲- علائم کمبود آهن در توت‌فرنگی

۴-۲۴- فلفل گلخانه‌ای

رفع کمبود آهن از طریق محلول‌پاشی ترکیبات معدنی آهن نظیر سولفات آهن ممکن است دوام مطلوبی نداشته باشد برای همین منظور معمولاً توصیه می‌شود از کلات آهن EDDHA[1] که پایداری بیشتری دارد استفاده شود. مصرف زیاد کلات آهن موجب بروز کمبود منگنز در محصولات گلخانه‌ای می‌شود (سیلسپور، ۱۳۹۷).

شکل ۲۳- کمبود آهن در فلفل دلمه

1- Ethylene diamine hydroxyphenyl acetic acid

۲۵- منابع

۱. اسدی کنگرشاهی، ع.، بصیرت، م.، اخلاقی امیری، ن.، حقیقت‌نیا، ح.، شیخ اشکوری، ع.، صباح، آ.، شهابیان، م.، صالح، ج و ا. قاسمی. ۱۳۹۵. مشکلات تغذیه‌ای درختان مرکبات کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۲. بصیرت، م. غفاری نژاد، س. ع.، سیلسپور، م و ح . ملاحسینی. ۱۳۹۵. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گوجه فرنگی گلخانه‌ای. مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۳. تدین، م .س. ۱۳۹۴. دستورالعمل فنی تغذیه انار. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس. زرقان، ایران.

۴. حسینی‌فرد، س. ج و ح. علی پور. ۱۳۸۳. تشخیص و رفع کمبود عناصر غذایی در پسته. انتشارات مؤسسه تحقیقات پسته کشور. چاپ دوم. ۸۱ صفحه.

۵. حیدری‌کهل، ح.، سمر، م و م.م. اردلان، ۱۳۹۳. تزریق سولفات آهن در خاک، راهکاری ارزان برای درمان کمبود آهن درختان میوه. نشریه مدیریت اراضی/جلد ۲/ شماره ۲.

۶. خادم، ا.، گلچین، ا.، مشهدی جعفرلو، ا.، زارع، ا و ا، ناصری. ۱۳۹۴. تأثیر اسیدی‌شدن خاک بر قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و رشد ذرت. نشریه زراعت. شماره ۱۰۷. تهران، ایران.

۷. دولتی‌بانه، ح و ع. ف. منتظری. ۱۳۹۴. پاسخ فیزیولوژیکی چند رقم انگور ایرانی به کاربرد کلات آهن در خاک آهکی. نشریه علوم باغبانی. جلد ۲۹، شماره ۴. تهران، ایران.

۸. دهقانی، ف.، علایی یزدی، ف و ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۰. بررسی کیفیت آب‌های آبیاری در استان یزد از دیدگاه اثرات سوءتغذیه‌ای. نشریه فنی ۲۰۶. نشر آموزش کشاورزی. وزارت جهاد کشاورزی. کرج. ایران.

۹. سالاردینی، ع. ا. ۱۳۸۸. علی اکبر.۱۳۸۲. حاصلخیزی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰.سدری، م. ح و ن، قادری.۱۳۸۴. علائم کمبود عناصر غذایی در توت‌فرنگی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.

۱۱.سمر، س.م.، کشاورز، پ.، شهابی، ع.ا.، گندمکار، ا.، شایسته، ف.غ. و م.ر. امداد. ۱۳۹۶. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درخت سیب. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۱۲.سیلسپور، م.۱۳۹۷. مدیریت تغذیه فلفل شیرین در گلخانه و مزرعه با تأکید بر کاهش انباشت نیترات. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

۱۳.شهبازی، ک و ح. بشارتی، . ۱۳۹۲. بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. جلد ۱. شماره ۱. کرج. ایران
۱۴.ضیائیان، ع. ۱۳۸۲. استفاده از عناصر کم‌مصرف در کشاورزی. معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی. کرج. ایران. کرج. ایران
۱۵.طاهری، م.، بایبوردی، ا و م. ج ملکوتی.۱۳۸۳. ضرورت مصرف بهینه کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد درختان گوگرد. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
۱۶.طاهری، م.، بصیرت، م.، خوش زمان، ت.، مستشاری، م و م.ع. شاکری. ۱۳۹۶. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان زیتون. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
۱۷.علیزاده، ا.۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد. ایران.
۱۸.کلاهی، س.، کلاهی، ع. ا. و س. طهرانی‌قدیم. ۱۳۸۷. شیوع کم‌خونی و کم‌خونی میکروسیتیک در زنان ساکن منطقه شمال غرب تبریز. مجله تخصصی اپیدمیولوژی ایران. دوره ۴.
۱۹.گودرزی، ک. ۱۳۸۳. بررسی اثرات گوگرد و کمپوست بر افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی خاک و عملکرد گندم. روش‌های نوین تغذیه گندم (مجموعه مقالات). دفتر طرح خودکفایی گندم، وزارت جهاد کشاورزی. تهران. ایران.
۲۰.محمدزاده لاریجانی، ن.، خورسندی، م.، شمسی، م.، رنجبران، م و ن. نخجوانی .۱۳۹۵. پیش‌بینی انجام رفتارهای پیشگیری‌کننده در مورد کم‌خونی فقر آهن کودکان توسط مادران روستایی شهرستان بابل در سال ۱۳۹۳ : کاربرد مدل اعتقاد بهداشتی. مجله علمی پژوهان، دوره ۱۴، شماره ۴.
۲۱.محمودی، ق.، بهمن نیک‌پور، ب.، خزائی‌پول، م و ف. مجلسی. ۱۳۹۶. بررسی شیوع کم-خونی فقر آهن و عوامل مرتبط با آن در زنان باردار مازندرانی در سال ۱۳۹۳. مجله دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران. دوره ۱۱ شماره ۳.
۲۲.ملاحسینی، ح و م. بصیرت. ۱۳۹۴. راهنمای تغذیه گیاهی در خیار مزرعه‌ای و گلخانه‌ای به منظور کاهش باقیمانده نیترات در محصول و تأمین سلامت جامعه با تولید محصول سالم. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
۲۳.ملکوتی، م. ج و س. ج. طباطبایی.۱۳۸۴. تغذیه صحیح درختان میوه در خاک‌های آهکی. انتشارات سنا. تهران.ایران.

۲۴.ملکوتی، م. ج و م. م. تهرانی .۱۳۸۴. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران. ایران.

25. Abadía, J., Álvarez-Fernández, A., Morales, F., Sanz, M. and Abadía, A. 2002a. Correction of iron chlorosis by foliar sprays, Acta Hortic. 594, 115-121.
26. Abadía, J., Álvarez-Fernández, A., Rombolà, A. D., Sanz, M., Tagliavini, M. and Abadía, A. 2004. Technologies for the diagnosis and remediation of Fe deficiency, Soil Sci. Plant Nutr. 50, 965-971.Google Scholar.
27. Abadía, J., López-Millán, A. F., Rombolà, A. D. and Abadía, A. 2002b. Organic acids and Fe deficiency: a review, Plant Soil 241, 75-86.
28. Alcántara, E., Cordeiro, A. M. and Barranco, D. 2003. Selection of olive varieties for tolerance to iron chlorosis, J. Plant Physiol. 160, 1467-1472.
29. Álvarez-Fernández, A., García-Laviña, P., Fidalgo, C., Abadía, J. and Abadía, A. 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear (Pyrus communis L.) trees, Plant Soil 263,5-15.Google Scholar.
30. Álvarez-Fernández, A., García-Marco, S. and Lucena, J. J. 2005. Evaluation of synthetic iron(III)-chelates (EDDHA/Fe3+, EDDHMA/Fe3+ and the novel EDDHSA/Fe3+) to correct iron chlorosis, Eur. J. Agron. 22, 119-130.
31. Álvarez-Fernández, A., Grasa, R., Abadía, A., Sanz, M. and Abadía, J. 2003. Effects of Fe-deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (Prunus persica L. Batsch), J. Agric. Food Chem. 51, 5738-5744.
32. Apicella, P., Cascone, S and G. Lamberti. 2016. Iron Chelates: Production Processes and Reaction Evolution Analysis, Chemical Engineering Communications, 203:7, 861-869.
33. Bailey, D.A., T. Bilderback, and D. Bir. 1996. Water considerations for container production of plants. NC State University Hort. Info. Lflt. #557. (available at http:/ /www2.ncsu.edu/floriculture/)
34. Benítez, M. L., Pedrajas, V. M., del Campillo M. C. and Torrent, J. 2002. Iron chlorosis in olive in relation to soil properties, Nutr. Cycl. Agroecosyst. 62, 47-52.Google Scholar.
35. Colombo, C., Palumbo, G and S. Cesco. 2014. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. Volume 14, Issue 3, pp 538–548.
36. Cornell, RM and Schwertmann, U. 1996. The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses. Wiley- VCH.

37. Griep, P. 2015. Iron Deficiency Of Roses: Iron Deficiency Symptoms In Rose Bushes. American Rose Society Consulting Master Rosarian.
38. Hansen, P. 1980. Crop load and nutrient translocation p.201-212. In: Mineral Nutrition of Fruit Trees. D. Atkinson et. al. (eds). Buttersworth, London, UK.
39. Kalbasi, M. and Shariatmadari, H. 1993. Blood powder, a source of iron for plants, J. Plant Nutr. 16, 2213-2223.
40. Lucena, J. J. 2003. Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in Strategy I plants. J. Plant Nutr. 26, 1969-1984.
41. Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. second edition. 889pp. London: Academic Press.
42. Mengel, K. 1994. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils, Plant Soil 165, 275-283.
43. Obreza, T. A., Alva, A. K. and Calvert, D. V. 1993. Citrus fertilizer management on calcareous soils, Univ. Florida Coop. Ext. Serv. Circ. 1127.
44. Ollat, N., Laborde, B., Neveux, M., Diakou-Verdin, P. and Annik, R. C. 2003. Organic acid metabolism in roots of various grapevine (Vitis) rootstocks submitted to iron deficiency and bicarbonate nutrition, J. Plant Nutr. 26, 2165-2176.
45. Pestana, M., Correia, P. J., Miguel, M. G., Varennes, A., Abadía, J. and Faria, E. A. 2002. Foliar treatments as a strategy to control iron chlorosis in orange trees, Acta Hortic. 594, 223-228.
46. Rombolà, A. D., Brüggemann, W., Tagliavini, M., Marangoni, B. and Moog, P. R. 2000. Iron source affects Fe-reduction and re-greening of kiwifruit (Actinidia deliciosa) leaves. J. Plant Nutr. 23, 1751-1765.
47. Rouse, R. et al. 2002. Commercial Small Fruit Production Guide EB 242. Maryland Cooperative Extension Service.
48. Tagliavini, M., Abadía, J., Rombolà, A. D., Tsipouridis, C. and Marangoni, B. 2000. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees, J. Plant Nutr. 23, 2007-2022.
49. Varanini, Z. and Pinton, R. 2005. Plant-soil relationship: role of humic substances in iron nutrition, In L.L. Barton and J. Abadía (eds.), Iron Nutrition in Plants and Rizhospheric Microorganisms, Springer, pp. 153-168.
50. Yoshikawa, F. T., Reil, W. O. and Stromberg, L. K. 1982. Trunk injection corrects iron deficiency in plum trees, California Agriculture March-April, 13.

Islamic Republic of Iran

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil and Water Research Institute

Investigating the Causes of Iron Deficiency and Providing Practical Solutions to Fixing it Deficiency in Fruit Trees and Greenhouse Crops

Mohsen Seilsepour

2019