جمهوری اسلامی ایران

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

منیزیم و مدیریت مصرف آن در درختان مرکبات

نگارندگان

علی اسدی کنگرشاهی[1]، نگین اخلاقی امیری[2] و سیدعلی غفاری‌نژاد[3]

[1و2] اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران
[3] عضو هیات علمی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

دستنامه فنی: 668

1404

مشخصات اثر

عنوان: منیزیم و مدیریت مصرف آن در درختان مرکبات

نگارندگان: علی اسدی کنگرشاهی، نگین اخلاقی امیری و سیدعلی غفاری‌نژاد

ناشر: موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: انتشارات اسرار علم

کارشناس انتشارات: سمانه پورمنصور

ویراستار: آرش تافته

طراح جلد: سید هادی میرغیاثی

سال انتشار: 1404

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره 68740 در تاریخ 1404/11/11 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین‌دشت، بلوار امام خمینی (ره)، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کد پستی: 3177993545 **صندوق پستی:** 311-31785

نمابر : 02636210121 **تلفن:** 36201900- 026

وب‌سایت: http://www.swri.ir **پست الکترونیکی:** info.swri@areeo.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه 1

فصل دوم: منیزیم در خاک 7

2-1. منشاء منیزیم در خاک 7

2-2. شکل‌های منیزیم در خاک 8

2-3. تحرک و انتقال منیزیم در خاک 9

2-4. جذب منیزیم 10

2-5. راهنمایی تفسیر نتایج تجزیه خاک برای منیزیم 14

فصل سوم: منیزیم در درختان مرکبات 17

3-1. برخی از مهمترین وظایف مهم منیزیم 17

3-2. آثار کمبود منیزیم در درختان میوه 18

3-3. مهمترین علائم ظاهری و روند توسعه کمبود منیزیم 24

3-4. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه برگ برای منیزیم 26

فصل چهارم: مهم‌ترین عوامل مؤثر در جذب منیزیم 31

4-1. عواملی که بیشترین تأثیر در جذب منیزیم دارند 31

4-1-1. پتاسیم 31

4-1-2. کلسیم و آهک 31

4-1-3. نیتروژن 32

4-1-4. اسیدیته خاک (pH) 32

4-1-5. مواد آلی خاک 34

4-1-6. نسبت تاج به ریشه 34

4-1-7. تراکم خاک (وزن مخصوص ظاهری) 35

4-1-8. بافت خاک 35

4-1-9. نور، خشکی و تنش گرمایی 36

4-1-10. رطوبت خاک 37
4-1-11. تهویه خاک 38
4-1-12. درجه حرارت خاک 38

فصل پنجم39 راهکارهای رفع کمبود منیزیم و تأثیر آن بر کیفیت میوه 39
5-1. مهمترین راهکارهای رفع کمبود منیزیم 39
5-1-1. نیتروژن 39
5-1-2. پتاسیم 39
5-1-3. منیزیم (کودآبیاری و محلول‌پاشی) 40
5-1-4. آبیاری و زهکشی 40
5-2. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت میوه 41

فصل ششم: مدیریت کوددهی منیزیم برای درختان جوان و غیر بارده مرکبات 43
6-1. کوددهی منیزیم برای درختان جوان و غیربارده مرکبات 44
6-1-1. مصرف منیزیم باتوجه‌به نتایج تجزیه خاک 44
6-1-2. مصرف منیزیم بر اساس سن درختان برای باغ‌های بدون تجزیه خاک 45
6-2. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده 45
6-2-1. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده در مناطق شمالی کشور ... 45
6-2-2. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده در مناطق جنوبی کشور ... 47

فصل هفتم: مدیریت کوددهی منیزیم برای درختان بارده مرکبات 49
7-1. مقدار منیزیم توصیه شده برای باغ‌های بارده 49
7-1-1. تجزیه خاک و برگ ندارد 49
7-1-2. تجزیه خاک و برگ دارد 50
7-1-3. فقط تجزیه برگ دارد 50
7-1-4. فقط تجزیه خاک دارد 50
7-2. مدیریت زمانی کوددهی منیزیم (کودآبیاری) 53
7-2-1. مناطق شمالی 53
7-2-2. مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان) 53
7-2-3. مناطق جنوبی (هرمزگان) 53

فصل هشتم: منابع کودی منیزیم 55
مصرف خاکی، کودآبیاری و محلول‌پاشی و امکان اختلاط آنها در تانک کود 55

فصل نهم: روش‌های مصرف کودهای منیزیمی 59
9-1. استفاده از کودهای خشک 59
9-1-1. چال کود (مزایا و معایب) 59
9-1-2. کودآبیاری 61
9-1-2-1. برخی مزایای کودآبیاری 64
9-1-2-2. برخی معایب کودآبیاری 64
9-1-2-3. نکاتی که باغداران در هنگام کودآبیاری باید رعایت کنند 64
9-1-2-4. محاسبه حجم کود تزریقی به سیستم آبیاری 68
9-2. استفاده از کودهای سوسپانسیون 71
9-3. استفاده از کودهای محلول‌پاشی 71
9-4. توصیه‌های فنی در هنگام محلول‌پاشی 74

فصل دهم: توصیه‌های ترویجی 77
منابع 79

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 2-1. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های آهکی 15
جدول 2-2. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های بدون آهک و اسیدی 15
جدول 2-3. تنظیم برنامه کوددهی منیزیم درختان مرکبات بر اساس تجزیه خاک 15
جدول 3-1. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه برگ درختان پرتقال (ناول‌ها) که از شاخه‌های انتهایی میوه‌دار سیکل بهاره تهیه شده‌اند 28
جدول 3-2. راهنمای تفسیر نتایج آزمون برگ درختان پرتقال (ناول‌ها) که از شاخه‌های انتهایی بدون میوه سیکل بهاره تهیه شده‌اند 28
جدول 3-3. راهنمای تفسیر نتایج آزمون برگ درختان نارنگی انشو 28
جدول 3-4. راهنمایی حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در برگ برخی ارقام مرکبات 28
جدول 3-5. تنظیم برنامه کودی منیزیم بر اساس نتایج تجزیه برگ 30
جدول 5-1. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت عصاره میوه مرکبات 41
جدول 5-2. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت خارجی میوه مرکبات 41
جدول 6-1. مقدار منیزیم (MgO) توصیه شده و تعداد تقسیط‌ها برای درختان جوان (1 تا 3 سال) غیر بارده 45
جدول 7-1. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک و برگ با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار 50
جدول 7-2. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک و برگ با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار 51
جدول 7-3. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه برگ با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار 51
جدول 7-4. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه برگ با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار 52
جدول 7-5. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار 52

جدول 7-6. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار 52
جدول 7-7. محلول‌پاشی‌های ضروری منیزیم متناسب با فنولوژی درختان برای باغ‌های مرکبات در مناطق شمال و جنوب کشور 53
جدول 8-1. حلالیت منابع کودی منیزیم در آب 56
جدول 8-2. منابع کودی منیزیم برای محلولپاشی و کودآبیاری درختان مرکبات 56
جدول 8-3. منابع کودی منیزیم برای مصرف خاکی (چال کود) درختان مرکبات 56
جدول 8-4. کودهایی که اختلاط آنها در تانک کود موجب رسوب یا کاهش حلالیت آن‌ها در آب (برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی) می‌شود 57
جدول 8-5. سازگاری و امکان اختلاط کودهای منیزیمی با برخی کودها و ترکیبات شیمیایی معمول برای کود آبیاری و محلول‌پاشی 57

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 2-1. منطقه جذب، انتقال منیزیم با جریان تودهای منیزیم به سطح ریشه 13
شکل 2-2. منطقه جذب، انتقال منیزیم با جریان انتشار به سطح ریشه درختان در خاک‌های با بافت سنگین و غلظت پایین منیزیم در محلول خاک 13
شکل 3-1. تأثیر منیزیم در رشد اندام هوایی و ریشه مرکبات 22
شکل 3-2. تأثیر کمبود منیزیم در رشد اندام هوایی، رشد و حجم ریشه، انتقال مجدد و بروز علایم کمبود در برگ‌های پایینی مرکبات 23
شکل 3-3. محل و شدت بروز علایم کمبود منیزیم در برگ‌های بالایی، میانی و پایینی مرکبات .. 23
شکل 3-4. علائم کمبود منیزیم در درختان مرکبات 25
شکل 3-5. اثرات عمده کمبود منیزیم در درختان میوه 26
شکل 3-6. روند تغییرات غلظت منیزیم در برگ درختان مرکبات 29
شکل 3-7. روند تغییرات غلظت منیزیم در میوه مرکبات 29
شکل 3-8. تغییرات غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف درختان مرکبات 29
شکل 4-1. تاثیر pH خاک بر قابلیت استفاده پتاسیم، کلسیم و منیزیم 33
شکل 6-1. مدیریت مصرف منیزیم برای درختان جوان غیر بارده در طول فصل رشد در مناطق شمالی کشور 46
شکل 6-2. مدیریت مصرف منیزیم برای درختان جوان غیر بارده (1 تا 3 سال) در طول فصل رشد برای مناطق جنوبی و جنوب غربی کشور (جیرفت، بندرعباس، دزفول و قصرشیرین) 47
شکل 9-1. محلول‌پاشی عناصر غذایی با سم‌پاش‌های با جریان شدید هوا برای درختان مرکبات ... 73

فصل اول
مقدمه

منیزیم یک عنصر ضروری برای رشد و نمو گیاهان است. قابلیت استفاده منیزیم به عوامل مختلفی از جمله توزیع و ویژگی‌های شیمیایی مواد مادری و درجه هوازدگی آن، عوامل اقلیمی، مدیریت باغ (رقم، تراکم کشت، مدیریت مصرف مواد آلی، مدیریت کوددهی و...) بستگی دارد. به‌طورکلی اهمیت منیزیم در تولید محصول در دهه‌های گذشته چندان مورد توجه قرار نگرفته است در واقع، در مقایسه با سایر عناصر غذایی، توجه کمی به این عنصر معدنی شده است؛ بنابراین، اصطلاح "عنصر فراموش شده" در مورد آن معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از دلایل احتمالی این شکاف، این است که کمبود منیزیم چندان در کشاورزی به رسمیت شناخته نشده است و هیچ محرک مشخصی برای افزایش فعالیت‌های تحقیقاتی در این زمینه وجود نداشته است. در واقع، کمبود شدید منیزیم موجب زردشدن برگ‌ها، کاهش رشد و عملکرد می‌شود، درحالی‌که کمبود پنهان آن، اغلب قابل‌مشاهده نیست و به‌سختی قابل‌تشخیص است، اما بر عملکرد محصولات تأثیر منفی دارد (چاکمک و یازیچی، 2010).

کمبودهای پنهان و شدید منیزیم پدیده‌ای رایج در تولید محصولات کشاورزی است (رمهلد و کرکبی، 2007). یک علامت معمول در درختان دارای کمبود منیزیم، کلروز بین رگبرگی است. توسعه کلروز مستلزم تخریب کلروفیل است، زیرا منیزیم به‌عنوان اتم مرکزی در مولکول کلروفیل عمل می‌کند. ازآنجایی‌که منیزیم به‌شدت به این مولکول متصل است، به نظر می‌رسد که کلروز یک پاسخ دیرهنگام به کمبود منیزیم باشد. در گیاهانی با کوددهی مناسب منیزیم، تنها حدود 20 درصد از کل منیزیم به کلروفیل متصل است، درحالی‌که حدود 80 درصد باقیمانده در اشکالی با تحرک بیشتر وجود دارد (مارشنر، 2012). منیزیم در آوند آبکش متحرک است و به‌آسانی در داخل گیاه به بخش‌های درحال‌رشد (که

به‌صورت سینک مصرفی عمل می‌کنند) قابل‌انتقال است (وایت و برادلی، 2008). در نتیجه، به دلیل تحرک زیاد آن تحت شرایط کمبود منیزیم، علائم کمبود منیزیم معمولاً در برگ‌های مسن‌تر ظاهر می‌شود (برگمن، 1992). ازآنجایی‌که علایم ظاهری زردی در برگ، یک پاسخ دیرهنگام به کمبود منیزیم است؛ لذا در زمان مشاهده این علایم ظاهری، در واقع کاهش قابل‌توجهی در عملکرد ممکن است رخ دهد؛ بنابراین، علائم ظاهری (ظهور و مشاهده زردی)، روش مناسبی برای تشخیص کمبود منیزیم به‌عنوان مبنایی برای توصیه کودی آن نیست. شواهدی مختلف نشان می‌دهد منیزیم نقش خاصی در تشکیل ماده خشک و توزیع کربن در اندام‌های گیاهی دارد، زیرا در شرایط کمبود منیزیم، کربوهیدرات‌ها در برگ‌های منبع تجمع می‌یابند (دینگ و همکاران، 2006)؛ بنابراین، یکی از مهم‌ترین واکنش اولیه گیاهان به کمبود منیزیم، تجمع کربوهیدرات در برگ‌های منبع و کاهش رشد ریشه به دلیل محدودیت عرضه کربوهیدرات به ریشه است (چاکمک و همکاران، 1994). ازاین‌رو، اختلال در توزیع کربوهیدرات در اندام‌های مختلف ناشی از کمبود منیزیم، یکی از نتایج کمبود پنهان منیزیم است که به‌شدت بر عملکرد محصول تأثیر دارد.

به‌طورکلی اختلال در انتقال و توزیع متابولیت‌های فتوسنتزی (مانند کربوهیدرات‌ها و اسیدهای آمینه) تحت کمبود منیزیم، ناشی از اختلال در بارگذاری این متابولیت‌ها در آوند آبکش است. در نتیجه دستگاه ریشه به‌عنوان یک مخزن مهم و اصلی برای این متابولیت‌ها، از عرضه محدود کربوهیدرات با کمبود منیزیم خسارت خواهد دید که موجب کاهش رشد ریشه می‌شود و کاهش رشد ریشه باعث تشدید بیشتر احتمال کمبود سایر عناصر غذایی و افزایش حساسیت به تنش‌های محیطی (مانند تنش خشکی) به دلیل حجم کمتر خاک اشغال شده و در نتیجه دسترسی کمتر درختان به منابع خاکی می‌شود (چاکمک و کرکبی، 2008؛ گرانسی و فوهر، 2013). در سال‌های اخیر برخی گزارش‌ها در مورد تأثیر طولانی‌مدت کوددهی ترکیبی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و نفوذ ریشه در خاک‌نشان داده است که مصرف توأم پتاسیم و منیزیم باعث افزایش محتوای آب خاک و در کل افزایش دامنه نگهداری آب خاک تا نقطه پژمردگی دائم[1] می‌شود این اثر فیزیکی خاک عمدتاً به پتاسیم نسبت داده می‌شود؛ اما به‌موازات تغییرات فیزیکی و ذخیره‌سازی آب خاک

[1] - PWP

ناشی از پتاسیم، عمق ریشه‌زایی افزایش می‌یابد و باتوجه‌به نقش تعیین‌کننده منیزیم در تقسیم کربوهیدرات افزایش عمق ریشه‌زایی از طریق کوددهی توأم منیزیم و پتاسیم ممکن است و بخشی از آن به کوددهی منیزیم بستگی دارد (چاکمک و کرکبی 2008؛ دینگ و همکاران، 2006).

به‌طورکلی کمبود منیزیم ممکن است ناشی از کمبود مطلق و یا رقابت کاتیونی در خاک باشد. کمبود مطلق می‌تواند ناشی از محتوای کم منیزیم در سنگ‌های مادری، هدر روی یا شستشوی منیزیم از خاک و یا مدیریت نامناسب طولانی‌مدت کوددهی باشد که موجب تخلیه منیزیم از خاک شده است. اما رقابت کاتیونی نتیجه عدم تعادل عناصر غذایی در خاک است. به‌طوری‌که جذب منیزیم به‌شدت تحت‌تأثیر قابلیت استفاده کاتیون‌های دیگر مانند کلسیم، پتاسیم و آمونیوم قرار می‌گیرد. عدم تعادل عناصر غذایی در خاک می‌تواند خاک‌زاد یا ناشی مدیریت نامناسب کوددهی باشد و هر دو کمبود ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند و باید با هم در نظر گرفته شوند.

کمبود منیزیم در مرکبات یک مشکل عمده جهانی است. درختان مرکبات با منیزیم ناکافی ممکن است هیچ‌گونه علائمی در بهار نداشته باشند؛ اما علائم برگی با افزایش سن برگ‌ها و بالغ‌شدن میوه‌ها در تابستان و پاییز توسعه خواهند یافت. علائم کمبود منیزیم در برگ‌های بالغ پس از خروج منیزیم جهت رفع نیاز میوه‌ها، رخ می‌دهد. در طول تابستان با افزایش سریع اندازه میوه‌ها، علائم کمبود منیزیم در برگ‌های کناری میوه‌های درحال‌توسعه ظاهر می‌شود؛ بنابراین علائم کمبود منیزیم، نتیجه انتقال منیزیم از برگ‌ها به میوه‌های درحال‌توسعه است. اگر چه انتقال از برگ‌های مسن‌تر به برگ‌های جوان درحال‌توسعه همان شاخه‌ها، نیز ممکن است وجود داشته باشد. معمولاً علائم با توسعه لکه‌های زردرنگ غیرپیوسته یا بلوک‌های زرد نامنظم نزدیک پایه برگ در طول رگبرگ میانی برگ‌های بالغ که نزدیک یا کنار میوه هستند شروع می‌شود، سپس لکه‌ها به‌تدریج بزرگ‌تر شده و سرانجام به هم متصل می‌شوند و به شکل یک لکه بزرگ از بافت زردرنگ در طرفین رگبرگ میانی ظاهر می‌شوند. این ناحیه زردرنگ، بزرگ شده تا این که فقط نوک و ته برگ، سبز باقی می‌مانند. در کمبود شدید، ناحیه زردرنگ به‌تدریج بزرگ می‌شود تا این که کل سطح برگ، کاملاً زرد یا برنزه شود.

برگ‌هایی که بیشتر رنگ سبزشان را در اثر کمبود منیزیم از دست می‌دهند، معمولاً در شرایط نامناسب مانند تنش سرمایی، تنش آبی، محلول‌پاشی‌های سنگین (با غلظت زیاد)، ریزش می‌کنند و شاخه‌ها بدون برگ می‌شوند. این شاخه‌های بدون برگ، ضعیف شده و معمولاً در بهار سال بعد از بین می‌روند و نیاز است که هرس شوند. اما هیچ‌کدام از علائم اولیه شاخه‌ها و کاهش قابل‌توجه اندازه میوه‌ها، ناشی از اثر مستقیم کمبود منیزیم نمی‌باشد؛ بلکه یک اثر ثانویه ناشی از ریزش برگ‌ها است که ممکن است موجب مرگ بسیاری از سرشاخه‌ها شود. همچنین ریزش شدید برگ‌ها، اندازه میوه‌ها را کاهش می‌دهد و سبب کاهش عملکرد کلی باغ، در واحد سطح می‌شود. تحرک منیزیم در درختان میوه، متفاوت از تحرک آهن، روی، منگنز و مس است. علائم کمبود عناصر کم‌مصرف در شاخه‌های جدید، توسعه می‌یابند درصورتی‌که کمبود منیزیم فقط در برگ‌های بالغ که قبلاً ظاهری طبیعی داشتند و معمولاً در شاخه‌های بارده با محصول زیاد، ایجاد می‌شود. شاخه‌های با میوه بیشتر، علائم شدید کمبود منیزیم را نشان می‌دهند و ممکن است کاملاً بدون برگ شوند. درصورتی‌که شاخه‌های با محصول کم یا بدون میوه، معمولاً علائم کمبود منیزیم را نشان نمی‌دهند.

ارقام با میوه بذردار نسبت به ارقام با میوه بدون بذر، بیشتر تحت‌تأثیر کمبود منیزیم قرار می‌گیرند، همچنین تناوب باردهی در ارقام بذردار با کمبود منیزیم بسیار معمول است. کاهش رشد شاخه به علت ریزش شاخ‌وبرگ، موجب کاهش تولید شاخه‌های میوه‌ده برای سال بعد می‌شود. کمبود منیزیم، نه‌تنها موجب کاهش شدید عملکرد میوه می‌شود؛ بلکه کیفیت میوه را هم کاهش می‌دهد. میوه درختان دارای کمبود منیزیم دارای مواد جامد محلول، اسیدیته و ویتامین ث کمتر خواهد بود (زئو و همکاران، 2021). همچنین کمبود منیزیم در درختان مرکبات موجب افزایش حساسیت آنها به سرمازدگی می‌شود. کمبود منیزیم در خاک‌های با منیزیم قابل‌استفاده کم (به‌ویژه در خاک‌های اسیدی) ایجاد می‌شود. شستشوی منیزیم خاک و همچنین شستشوی منیزیم مصرف شده در خاک‌های با pH حدود 4/5 تا 5 و کمتر، بسیار شدید است. در چنین شرایطی، مصرف دولومیت (کربنات کلسیم منیزیم) برای افزایش pH خاک (بیشتر از شش) و افزایش قابلیت استفاده منیزیم می‌تواند مفید باشد.

همچنین شوری آب یا خاک، مصرف زیاد کودهای پتاسیمی و آمونیومی ممکن است موجب ایجاد یا تشدید کمبود منیزیم شوند. کمبود منیزیم در خاک‌های آهکی همچنین به علت کاهش منیزیم قابل‌استفاده خاک، یا به علت زیادی کلسیم و پتاسیم محلول و قابل تبادل در خاک است. تحت این شرایط، مقدار منیزیم مصرف شده در این خاک‌ها نسبت به خاک‌های با کلسیم و پتاسیم کمتر، باید بیشتر باشد یا از محلول‌پاشی‌های منیزیم کمک گرفت. اما همیشه محلول‌پاشی منیزیم، در رفع کمبود منیزیم نمی‌تواند مؤثر باشد. معمولاً وقتی که مقدار منیزیم مورد نیاز درختان، بیشتر از ظرفیت جذب آن توسط برگ‌ها باشد، محلول‌پاشی به‌تنهایی نمی‌تواند نیاز درختان را تأمین کند. محلول‌پاشی نیترات منیزیم، وقتی که حداقل دو سوم برگ‌های جهش‌های رشدی بهاره، کاملاً توسعه یافته‌اند (نه زمانی که کاملاً خشبی و چوبی شده‌اند) بیشترین راندمان جذب و تأثیر را دارد. معمولاً برگ‌هایی که دارای علائم کمبود شدید هستند با مصرف منیزیم، کاملاً به حالت اولیه بر نمی‌گردند؛ اما از بروز علائم کمبود در فصل بعد جلوگیری می‌شود.

به‌طورکلی منیزیم به‌صورت اکسید منیزیم (MgO) روی کیسه کودهای تجاری نشان داده می‌شود و مصرف آن برای افزایش عملکرد، اندازه میوه و کیفیت آب‌میوه اهمیت زیادی دارد. اگر باغداران کوددهی منیزیم را به طور منظم انجام دهند معمولاً کمبود منیزیم رخ نمی‌دهد، اما ممکن است کمبود آن در خاک‌های با pH بالا و همچنین در باغ‌های با مصرف زیاد کودهای پتاسیمی و نیتروژنی (مصرف زیاد کود پتاسیم و نیتروژن برای افزایش تولید میوه) ظاهر شود. کمبود منیزیم در اواخر فصل رشد، موجب افزایش حساسیت درختان مرکبات به سرمای زمستانه می‌شود. در مقابل، مصرف زیاد کود منیزیم نیز مقاومت به سرمای درختان مرکبات را افزایش نمی‌دهد. به‌طورکلی هدف این دستنامه خلاصه‌کردن دانش فعلی در مورد عوامل خاکی و گیاهی مؤثر بر تغذیه منیزیم، شناخت جذب منیزیم و نقش آن در فیزیولوژی گیاه (تنش) و ارتباط آن‌ها با روش‌های کنونی تفسیر و تحلیل نتایج تجزیه خاک و گیاه و همچنین برجسته‌کردن حوزه‌های تحقیقاتی آینده باتوجه‌به ترکیب عملیات زراعی با فیزیولوژی گیاهی است؛ بنابراین تلاش شده است که منیزیم در خاک، جذب و انتقال، تحرک در برگ و میوه، مدیریت بهینه کف باغ (به‌ویژه مهم‌ترین عواملی که در جذب و انتقال منیزیم نقش دارند)، مدیریت مصرف منیزیم به‌ویژه محلول‌پاشی کودهای

منیزیمی متناسب با فنولوژی رشد میوه و همچنین ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی ناشی از کمبود منیزیم و راهکارهای رفع آنها مورد بحث قرار گیرد و در پایان توصیه‌های لازم به باغداران ارائه شود.

فصل دوم
منیزیم در خاک

2-1. منشاء منیزیم در خاک

منیزیم هشتمین عنصر معدنی از نظر فراوانی در زمین است (مگیور و کوان، 2002). منیزیم در خاک ناشی از هوادیدگی مواد سنگ مادری حاوی انواع سیلیکات‌ها است. محتوای منیزیم در انواع مختلف سیلیکات به طور قابل توجهی متفاوت است (مسکوویت < بیوتیت < هورنبلند < اوژیت < الیوین). دلیل تغییر در محتوای منیزیم این است که در سیلیکات‌ها یون آلومینیم (Al^{3+}) جایگزین یون منیزیم (Mg^{2+}) می‌شود و این جایگزینی باعث ایجاد بار دائمی مازاد در این سیلیکات می‌شود که برای خواص فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین‌کننده است. علاوه بر سیلیکات‌ها، کربنات‌های مانند منیزیت ($MgCO_3$)، دولومیت ($CaCO_3, MgCO_3$) و همچنین کلسیت ($CaCO_3$) در غلظت‌های حدود 1 تا 3 درصد نیز منابع قابل‌توجهی از منیزیم هستند (مگیور و کاون، 2002). به دلیل تنوع زیاد در محتوای منیزیم در ماده اولیه، مقدار کل منیزیم در خاک‌ها بین 0/05 تا 0/5 درصد متغیر است. تفاوت در محتویات سیلیکات خاک‌ها همچنین نشان‌دهنده مقادیر بیشتر منیزیم در خاک‌های رسی و سیلتی در مقایسه با خاک‌های شنی است. در موارد شدید، در خاک‌هایی که حاوی سیلیکات‌های تخلیه شده از منیزیم (عمدتاً کلریت‌ها) هستند، تثبیت منیزیم می‌تواند رخ دهد. به طور کلی منیزیم موجود در لایه‌های میانی سیلیکات‌ها قابل جایگزینی و متحرک نیست و تنها از طریق فرآیندهای هوازدگی می‌تواند به اشکال قابل تبادل و متحرک تبدیل شود که یک فرآیند طولانی مدت و آهسته است (باربر، 1995). به هر حال، منیزیم قابل تبادل، دومین عنصر از نظر فراوانی در سایت‌های تبادلی می‌باشد که معمولا 4 تا 20 درصد از سایت‌های تبادلی را اشغال می‌کند. اما بر خلاف کلسیم، غلظت منیزیم در محلول خاک زیاد نمی‌باشد و به آسانی از محلول خاک شسته می‌شود، به‌ویژه زمانی که کاتیون‌های دیگر به خاک افزوده شوند. همچنین بین منیزیم و دیگر کاتیون‌ها رقابت وجود دارد به طوری که

مصرف زیاد پتاسیم و آمونیوم می‌تواند کمبود منیزیم را تشدید کند که ناشی از جایگزینی یون‌های پتاسیم، آمونیوم و هیدروژن با منیزیم است.

2-2. شکل‌های منیزیم در خاک

منیزیم در ساختمان کانی‌ها، منیزیم قابل تبادل، منیزیم در محلول خاک و منیزیم در جزو آلی خاک مهمترین شکل‌های منیزیم در خاک هستند.کانی‌های دارای منیزیم در خاک به طور عمده شامل دولومیت ($CaCO_3$, $MgCO_3$) با 13 درصد منیزیم، بروسایت ($Mg(OH)_2$) با 41 درصد منیزیم، منیزیت ($MgCO_3$) با 29 درصد منیزیم و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) با 20 درصد منیزیم هستند. به طور معمول کلسیم و منیزیم قابل تبادل بیشتر از 80 درصد کاتیون‌های قابل تبادل در خاک‌های با pH بیشتر از 5/5 را تشکیل می‌دهند و هیدروژن، آلومینیم، پتاسیم و سدیم، سایر سایت‌های تبادلی را اشغال می‌کنند. منیزیم قابل تبادل در همه خاک‌ها کمتر از کلسیم قابل تبادل است (به غیر از خاک‌های مشتق شده از سرپنتین). منیزیم تبادلی به طور میانگین 10 تا 20 درصد سایت‌های تبادلی را اشغال می‌کند و دامنه منیزیم قابل تبادل (استخراج شده با استات آمونیوم مولار با pH_7) از 120 تا 350 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. منیزیم محلول، در تعادل با منیزیم قابل تبادل می‌باشد. غلظت منیزیم در محلول خاک در مناطق مرطوب از 15 تا 50 میلی‌گرم در لیتر و برای خاک‌های مناطق خشک از 50 تا 200 میلی‌گرم در لیتر است. منیزیم با قدرت کمتری نسبت به کلسیم، در سایت‌های تبادلی نگهداری می‌شود؛ بنابراین نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک، کمتر از نسبت آنها در سایت‌های تبادلی است. تثبیت منیزیم[1] معمولا در خاک‌هایی که دارای بار الکتریکی وابسته به pH یا بار متغیر هستند می‌تواند رخ دهد. در این خاک‌ها، منیزیمی که در pH کمتر از 6 قابل تبادل است با افزایش pH به بیشتر از 6/5، غیرقابل تبادل می‌شود که احتمال می‌رود به علت جذب اختصاصی[2] در سایت‌های تبادل کاتیونی (لایه اشترن غیرقابل تبادل) باشد.

[1] - magnesium fixation
[2] - specific adsorption

2-3. تحرک و انتقال منیزیم در خاک

در خاک‌های زراعی معمولی، بخش قابل‌توجهی از منیزیم کل خاک به شکل قابل تبادل است. این بخش قابل تبادل با اتصال برگشت‌پذیر منیزیم به بار دائمی و/یا متغیر در خاک مشخص می‌شود. در حالی که بار مازاد دائمی در خاک نتیجه جایگزینی آلومینیم است، بار متغیر توسط ترکیبات آلی - معدنی خاک ایجاد می‌شود که به شدت به pH خاک بستگی دارد. هر دو بار دائمی و متغیر خاک ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) را تشکیل می‌دهند. این دو ظرفیت تبادل کاتیونی مختلف از هم متمایز می‌شوند: ظرفیت تبادل کاتیونی بالقوه (CEC_{pot}) در pH خاک در حدود 7/5-7 تعیین می‌شود و ظرفیت تبادل کاتیونی موثر (CEC_{eff}) که تحت pH واقعی خاک اندازه‌گیری می‌شود بر وابستگی بالای ظرفیت تبادل کاتیونی به pH تأکید دارد. در واقع، ظرفیت تبادل کاتیونی را می‌توان به‌عنوان ظرفیت یک خاک (بالقوه یا بالفعل) برای اتصال برگشت‌پذیر یا کاتیون‌های بافر در نظر گرفت. برخلاف سایر کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و آمونیوم؛ منیزیم در خاک نسبتاً متحرک است. خواص یا "رفتار" منیزیم در خاک را می توان به خواص شیمیایی منحصر به فرد آن نسبت داد. در حالی که شعاع یونی منیزیم کوچک‌تر از کلسیم، پتاسیم یا سدیم است، شعاع هیدراته آن به طور قابل ملاحظه ای بزرگ‌تر است (شال، 2002؛ گاردنر، 2003؛ مگوایر و کوان، 2002). یکی از پیآمدهای آن، این است که منیزیم با قدرت کمتری به بارهای خاک (CEC) متصل است که منجر به غلظت بالاتر منیزیم در محلول خاک در مقایسه با سایر کاتیون‌ها می‌شود که در تحرک منیزیم در خاک و مدیریت آن تأثیر دارد.

به‌طورکلی یکی از مهم‌ترین عواقب تحرک بالای منیزیم در خاک، غلظت بالای منیزیم در محلول خاک است که سهم بالای جریان توده‌ای را در تغذیه گیاه توضیح می‌دهد. میزان منیزیم قابل‌استفاده گیاه در محلول خاک‌های مختلف حدود 3 تا 200 میلی‌گرم در لیتر (125 میکرومولار تا 8/5 میلی‌مولار) است (باربر و همکاران، 1995). سهم جریان توده‌ای در تغذیه منیزیم محصولات را می‌توان از غلظت منیزیم در محلول خاک و مقدار آب تعرق شده توسط محصول محاسبه کرد. بااین‌حال، اگرچه سهم جریان توده‌ای در تغذیه منیزیم (در مقایسه با پتاسیم) در شرایط بهینه رطوبت خاک و غلظت منیزیم در محلول خاک در اراضی کشاورزی به دلیل غلظت بالای منیزیم در محلول خاک می‌تواند برای تأمین نیاز بیشتر

محصولات کافی باشد؛ اما به نیاز محصول و سیستم ریشه آن نیز بستگی دارد (مارشنر، 2012). بااین‌حال، تحت شرایط محیطی نامطلوب مانند خشکسالی، انتقال منیزیم به ریشه می‌تواند ناکافی باشد؛ زیرا این شرایط نامساعد محیطی می‌تواند در انتقال منیزیم به ریشه اختلال ایجاد کند (کارلی و وایت، 2009؛ باربر، 1995).

یکی دیگر از عواقب مهم تحرک بالای منیزیم در خاک، این است که مقدار قابل‌توجهی منیزیم می‌تواند در معرض شستشو قرار گیرد (گرز بز، 2011). شستشوی فصلی منیزیم از انواع خاک معمولی نشان دادبخش عمده‌ای از آن در ماه‌های پاییز و زمستان به دلیل بالانس بالای مثبت آب در این فصول شسته می‌شود. مستقل از نوع خاک، شستشوی منیزیم می‌تواند تا 25 کیلوگرم منیزیم در هکتار در سال برسد. گزارش دیگر نیز نشان داد که شستشوی منیزیم در خاک‌های جنگلی حدود 9/5 کیلوگرم در هکتار در سال و در زمین‌های زراعی حدود 20 کیلوگرم در هکتار در سال است (گرانسی و فوهر، 2013). در پژوهش دیگری مقدار شستشوی منیزیم از خاکی با حاصلخیزی نسبتاً ضعیف را حدود 45 تا 70 کیلوگرم در هکتار باتوجه‌به نوع محصول و مرحله رشد، کوددهی نیتروژن، مقدار و شدت بارش و در نتیجه حجم آب زهکشی گزارش کرد (مسیچ و همکاران 2007). این دامنه زیاد در شستشوی منیزیم را ناشی از عوامل مختلف مؤثر بر میزان آبشویی منیزیم از جمله مقدار آب زهکشی، اسیدیته خاک (وجود یون‌های H^+)، غلظت کلسیم (آهک‌دهی یا آهک خاک)، غلظت بی‌کربنات (HCO_3^-) و ظرفیت تبادل کاتیونی (که تحت‌تأثیر محتوای خاک رس و ماده آلی است) گزارش کرده‌اند. باتوجه‌به عملیات معمول کوددهی که عمدتاً شامل نیتروژن، پتاسیم و فسفر است و اغلب از کوددهی منیزیم در باغ‌ها غفلت می‌شود، این تلفات زیاد منیزیم همراه با جذب و خروج قابل‌توجه منیزیم توسط برداشت محصول در باغ‌های بارده، احتمال کمبود منیزیم در خاک و درختان مرکبات در اغلب مناطق تحت کشت درختان میوه را ایجاد می‌کند (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ رمهلد و کرکبی، 2007).

4-2. جذب منیزیم

در غلظت‌های زیاد منیزیم در محلول خاک، جذب منیزیم به ریشه‌ها به شکل غیرفعال است، اما با کاهش غلظت منیزیم، جذب غیرفعال، کاهش و در مقابل جذب وابسته به انرژی

افزایش می‌یابد. اگر غلظت کلسیم به علاوه منیزیم در محلول، کمتر از 5 میلی‌مول در لیتر باشد، جذب منیزیم به شکل فعال خواهد بود. در این شرایط، تعرق[1] تاثیر چندانی در جذب نخواهد داشت و همچنین تأثیر غلظت کلسیم در محلول خاک نیز در جذب منیزیم بسیار کم است. اما اگر غلظت کلسیم به علاوه منیزیم در محلول، 20 میلی‌مول یا بیشتر باشد جذب به طور عمده غیر وابسته به انرژی است؛ بنابراین نسبت جذب کلسیم به منیزیم، متناسب با نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک است و در این غلظت، جذب کلسیم و منیزیم بیشتر به شکل غیر فعال است.

در خاک‌های مناطق خشک، به طور معمول غلظت نمک‌های محلول، زیاد است، بنابراین جذب کلسیم و منیزیم، عمدتاً به شکل غیرفعال است که به علت غلظت زیاد آنها در محلول خاک می‌باشد و نسبت جذب کلسیم به منیزیم تقریباً مشابه با نسبت آن‌ها در محلول خاک است. اما در مناطق مرطوب (با بارندگی زیاد)، جذب منیزیم به شکل فعال است و به میزان تنفس ریشه و تأمین انرژی بستگی دارد. همچنین با افزایش پتاسیم در خاک، جذب کلسیم و منیزیم به‌شدت کاهش می‌یابد؛ اما جذب منیزیم، بیشتر از کلسیم تحت‌تأثیر پتاسیم قرار می‌گیرد. در مقابل، مصرف منیزیم تأثیر چندانی در جذب پتاسیم ندارد. همچنین برخی پژوهش‌ها نشان داده است که پتاسیم بیشتر در انتقال منیزیم به اندام هوایی گیاهان (تا جذب منیزیم توسط ریشه‌ها) تأثیر دارند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393؛ گرانسی و فوهر، 2013).

مصرف کودهای آمونیومی، جذب منیزیم را کاهش می‌دهد (به‌ویژه در مناطقی که نیترات‌سازی متوقف باشد و نیتروژن به شکل آمونیوم جذب شود). آمونیوم، جذب منیزیم را بیشتر از پتاسیم کاهش می‌دهد. اما به‌طورکلی، مصرف منیزیم در خاک می‌تواند اثر کاهشی جذب پتاسیم و آمونیوم توسط گیاه را کاهش دهد. کاهش pH محلول خاک به کمتر از 5، موجب کاهش شدید در جذب منیزیم خواهد شد. با افزایش درجه‌حرارت محیط و محلول خاک، جذب منیزیم توسط ریشه افزایش می‌یابد. جذب منیزیم، بیشتر از رشد گیاهان تحت‌تأثیر درجه‌حرارت قرار می‌گیرد. منیزیم محلول و قابل تبادل، کل منیزیم قابل‌جذب توسط ریشه هستند. مقدار منیزیم در محلول خاک معمولاً حدود 1 تا 10 درصد منیزیم قابل

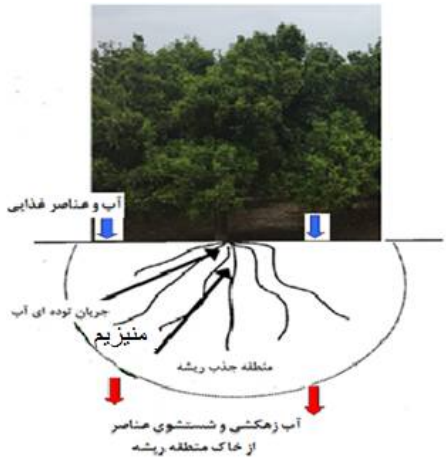
[1] - transpiration

تبادل است. در خاک‌های با بافت یا ظرفیت تبادل کاتیونی متفاوت، درصد اشباع منیزیم می‌تواند یک شاخص مناسب برای ارزیابی قابلیت استفاده منیزیم باشد. به‌طورکلی با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها، منیزیم با نیروی بیشتری در سطوح تبادلی جذب می‌شود؛ بنابراین رهاسازی آن از سطوح تبادلی و همچنین انتقال آن از محلول خاک به سطح ریشه کاهش می‌یابد.

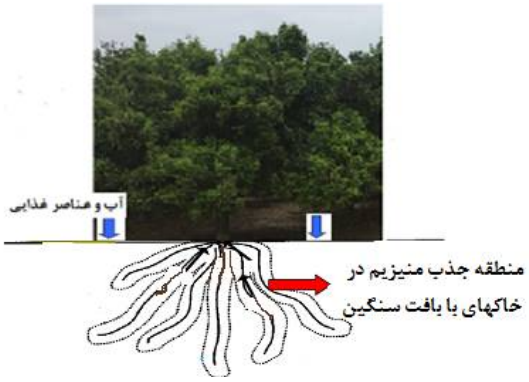
نسبت کلسیم به منیزیم (Ca/Mg) در بافت گیاهان، معمولاً حدود یک‌سوم نسبت آن در سایت‌های تبادلی است، اما نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک حدود یک‌دوم نسبت آن در سایت‌های تبادلی می‌باشد. به طور معمول، غلظت متوسط منیزیم در محلول خاک حدود یک میلی‌مول در لیتر است، بنابراین جریان توده‌ای می‌تواند منیزیم را به مقدار مورد نیاز به سطح ریشه انتقال دهد. جذب منیزیم توسط گیاه، معمولاً بخش کوچکی از منیزیم قابل تبادل در خاک است؛ بنابراین تخلیه منیزیم از خاک، بیشتر در منطقه ریشه درختان میوه رخ می‌دهد؛ زیرا درختان، سال‌های متوالی منیزیم را از لایه خاصی از خاک جذب می‌کنند. نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل می‌تواند در خاک‌های مختلف از 2 تا 7، تغییر کند.

منیزیم موجود در خاک و هر کود منیزیمی (سولفات منیزیم، نیترات منیزیم و....) که به خاک منطقه ریشه درختان داده شود برای جذب، ابتدا باید حل شده و وارد محلول خاک شوند و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل شوند. حرکت آب به سطح ریشه تحت‌تأثیر اختلاف‌پتانسیل آبی خاک اطراف ریشه و پتانسیل آبی سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف‌پتانسیل آبی، وجود ریشه‌ها و برگ‌های فعال و مؤثر ضروری است. تبخیر و تعرق از برگ‌ها موجب ایجاد کشش و حرکت جریان آب در آوندهای چوبی می‌شود که در نهایت به سلول‌های سطح ریشه می‌رسد و موجب کاهش پتانسیل آب در سطح ریشه شده و آب از خاک اطراف ریشه (با پتانسیل آبی بیشتر) به سطح ریشه (با پتانسیل آبی کمتر) منتقل می‌شود. همراه با حرکت و انتقال آب به سطح ریشه، عناصر غذایی محلول در آن (به‌ویژه عناصر نیتروژن، منیزیم، کلسیم، سولفور، پتاسیم و بور) نیز به سطح ریشه منتقل می‌شوند (شکل2). به‌طورکلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فروردین‌ماه شروع شده و در اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه کامل می‌شود؛ بنابراین در مرکبات شمال شروع

جذب عناصر غذایی از اواسط فروردین‌ماه با حداقل راندمان شروع می‌شود و سپس به ترتیب افزایش می‌یابد و در اوایل تا اواسط تابستان (باتوجه‌به نوع رقم) به حداکثر می‌رسد. در بیشتر مناطق جنوب کشور، رشد مجدد سرشاخه‌ها از اوایل تا اواخر اسفندماه شروع و در اواخر فروردین‌ماه کامل می‌شوند؛ بنابراین جذب و انتقال عناصر به سطح ریشه با راندمان حداقلی از اسفندماه شروع و در فروردین و اردیبهشت به حداکثر می‌رسند (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).



شکل 2-1. منطقه جذب، انتقال منیزیم با جریان توده‌ای منیزیم به سطح ریشه



شکل 2-2. منطقه جذب، انتقال منیزیم با جریان انتشار به سطح ریشه درختان در خاک‌های با بافت سنگین و غلظت پایین منیزیم در محلول خاک

2-5. راهنمایی تفسیر نتایج تجزیه خاک برای منیزیم

تفسیر نتایج تجزیه خاک، مقدار نسبی اعداد تجزیه خاک را تشریح می‌کند. برای تفسیر از کلاس‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استفاده می‌شود. کلاس خیلی کم، نشان می‌دهد که خاک، مقدار کمی از منیزیم مورد نیاز محصول را می‌تواند تأمین کند، بنابراین بیشتر منیزیم مورد نیاز درختان با مصرف کودهای شیمیایی دارای منیزیم باید جبران شود. کلاس کم و متوسط نشان می‌دهد که مقدار نسبتا بیشتری از منیزیم می‌تواند از طریق خاک تأمین شود، بنابراین نیاز به کوددهی منیزیم کاهش می‌یابد. وقتی که نتایج تجزیه خاک، زیاد یا خیلی زیاد است همه منیزیم مورد نیاز محصول می‌توانند توسط خاک تأمین شوند و نیازی به مصرف کودهای شیمیایی محتوی منیزیم نمی‌باشد. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه خاک برای منیزیم در خاک‌های آهکی و غیرآهکی در جدول‌های 2-1 تا 2-3 آورده شده است. در برخی موارد، تجزیه خاک می‌تواند مناسب‌ترین روش برای رفع کمبود یک عنصر (که توسط تجزیه برگ مشخص شده است) را ارائه نماید. برای مثال، کمبود منیزیم ممکن است ناشی از pH پایین خاک یا زیادی بیش از حد کلسیم در خاک باشد. اگر pH خاک خیلی پایین باشد، مصرف دولومیت توصیه می‌شود. اما اگر کلسیم خاک خیلی زیاد باشد و pH خاک نیز در دامنه مورد نظر باشد، مصرف سولفات منیزیم ترجیح داده می‌شود. اگر کلسیم خاک خیلی زیاد و pH خاک نیز نسبتا زیاد باشد محلول‌پاشی نیترات منیزیم توصیه می‌شود. به طور کلی، در محصولات چند ساله مانند مرکبات، ممکن است رابطه ضعیفی بین تجزیه خاک و غلظت عناصر غذایی برگ وجود داشته باشد و در برخی موارد، درختان میوه ممکن است دارای مقدار کافی از یک عنصر غذایی در برگ باشند، حتی اگر نتایج تجزیه خاک پایین باشد. از سوی دیگر، نتایج تجزیه خاک با مقادیر بالا نیز ممکن است فراهمی کافی از عناصر غذایی برای درختان را تضمین نکند. جذب عناصر غذایی توسط درختان با مشکلاتی مانند تنش خشکی، تنش مانداب، صدمه ریشه و آب و هوای سرد می‌تواند کاهش یافته یا متوقف شود. تجزیه خاک همراه با تجزیه برگ می‌تواند به تشخیص مشکل کمک کند (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1380 و 1398؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

جدول 2-1. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های آهکی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)

عنصر غذایی (روش استخراج)	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	میلی‌گرم در کیلوگرم				
منیزیم (استات آمونیوم)	< 400	400 - 600	600 - 700	700 - 800	> 800
منیزیم (مونوکلسیم فسفات)	< 100	100 - 150	150 - 200	200 - 400	> 400

جدول 2-2. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های بدون آهک و اسیدی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)

عنصر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	میلی‌گرم در کیلوگرم				
منیزیم (استات آمونیوم)	<60	60-120	120-200	200-300	>300

جدول 2-3. تنظیم برنامه کوددهی منیزیم درختان مرکبات بر اساس تجزیه خاک (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1398)

عنصر یا ویژگی خاک	اگر کمتر از مقدار کفایت در خاک باشد.	اگر بیشتر از مقدار کفایت در خاک باشد.
منیزیم	▪ pH خاک کنترل شود و در صورت نیاز با مصرف دولومیت اصلاح شود. ▪ غلظت منیزیم در برگ کنترل شود.	▪ هیچ اقدامی لازم نیست.

فصل سوم
منیزیم در درختان مرکبات

مقدار منیزیم در درختان، کمتر از کلسیم و پتاسیم است. منیزیم به طور فعال توسط ریشه‌های درختان جذب می‌شود. منیزیم به‌عنوان فعال‌کننده بسیاری از واکنش‌های آنزیمی عمل می‌کند. همچنین ترکیب عمده کلروفیل است. به‌هرحال بیشتر از 70 درصد از منیزیم گیاه، همراه با آنیون‌های قابل انتشار است بنابراین منیزیم در گیاه خیلی متحرک بوده و به آسانی در بخش‌های مختلف گیاه جابجا می‌شود. از این‌رو، علائم کمبود منیزیم، ابتدا در برگ‌های مسن مشاهده می‌شود.

3-1. برخی از مهمترین وظایف مهم منیزیم

- در ساختار مولکول کلروفیل و در فتوسنتز نقش دارد و به‌عنوان فعال‌کننده چندین آنزیم عمل می‌کند. منیزیم همچنین در آنزیم‌های مؤثر در انتقال فسفات نقش دارد (مارشنر، 2012).
- در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، سنتز اسیدهای نوکلوئیک و حرکت کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به بخش‌های دیگر نقش دارند. همچنین منیزیم جذب و انتقال فسفر را نیز تحریک می‌کند. مصرف زیاد پتاسیم جذب منیزیم را کاهش می‌دهد. ارقامی که میوه بذردار دارند (نسبت به ارقام بدون بذر) بیشتر تحت‌تأثیر کمبود منیزیم قرار می‌گیرند (مارشنر، 2012).
- ساختار کلروفیل و تنظیم pH سلول: در برگ‌های سبز، حدود 25 درصد منیزیم (نسبت به منیزیم کل برگ) در ساختمان کلروفیل وجود دارد. منیزیم نیز مانند پتاسیم، در

تنظیم pH کلروپلاست و سیتوپلاسم (6/5 الی 7/5) نقش اساسی دارد (رامهلد و کربای، 2007).

- ساختن پروتئین: به‌طورکلی، منیزیم برای تجمع و اتصال واحدهای فرعی ریبوزوم‌ها ضروری است و این اتصال واحدهای ریبوزوم برای ساختن پروتئین لازم می‌باشد. با کمبود منیزیم و افزایش پتاسیم، این واحدها از هم جدا شده و پروتئین‌سازی متوقف می‌شود. همچنین منیزیم برای فعالیت آنزیم آر.ان.ای - پلی‌مراز و ساخت آر.ان.ای نیاز است (زئو و همکاران، 2021).
- فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها و جابه‌جایی انرژی: فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند فسفاتازها، ATPase و کربوکسیلازها با منیزیم افزایش می‌یابد که به ترتیب در جابه‌جایی فسفات و کربوکسیل نقش مهمی دارند (سریواستاوا، 2013).
- فسفوریلاسیون و ساختن ATP: برای پیوند ADP با Pi به منیزیم نیاز است (مارشنر، 2012).
- تنظیم فعالیت آنزیم ریبولوزبیس‌فسفات‌کربوکسیلاز: با مصرف منیزیم، فعالیت این آنزیم و تثبیت گاز کربنیک (فتوسنتز) افزایش می‌یابد (تانگ و همکاران، 2012).
- تنظیم فعالیت آنزیم فروکتوز- 1 و 6 - دی‌فسفاتاز: با مصرف منیزیم، فعالیت این آنزیم افزایش می‌یابد. این آنزیم در تنظیم ساخت نشاسته و خروج قندهای سه کربنی (تریوزفسفات‌ها) از کلروپلاست نقش دارد (مارشنر، 2012).

2-3. آثارکمبود منیزیم در درختان میوه

- زردشدن برگ‌های بالغ و برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته در درختان دارای کمبود منیزیم.
- کاهش نیتروژن پروتئینی و افزایش نیتروژن غیرپروتئینی در برگ‌های دارای کمبود منیزیم.
- کاهش میزان فتوسنتز و تنفس (به‌ازای واحد سطح برگ و به‌ازای واحد کلروفیل). کمبود منیزیم موجب کاهش فعالیت آنزیم ریبولوز-5،1-بیس فسفات کربوکسیلاز/ اکسیژناز (روبیسکو) می‌شود این آنزیم در تثبیت دی اکسید کربن موثر است لذا کمبود منیزیم موجب کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود (اندرسون 2008؛ هرمانز و وربروگن 2005). همچنین کمبود منیزیم باعث ایجاد اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود

(یانگ و همکاران، 2012؛ فرهات و همکاران، 2015)؛ بنابراین تحت شرایط کمبود منیزیم، ساختار و فعالیت‌های فتوشیمیایی جزئی فتوسیستم I و II (PSI و PSII) تحت تأثیر قرار می‌گیرد که موجب کاهش نسبت Fv/Fm (حداکثر بازده کوانتومی PSII) و سایر پارامترهای فلورسانس در درختان مرکبات می‌شود (یانگ و همکاران، 2012). کاهش فعالیت PSII به دلیل از دست دادن آنتن PSII یا تغییر در استوکیومتری فتوسیستم به نفع فتوسیستم I (PSI) است که منجر به افزایش نسبت کلروفیل a به کلروفیل b می‌شود. از این رو، در شرایط کمبود منیزیم معمولاً نسبت کلروفیل a به کلروفیل b افزایش می‌یابد.

- افزایش تجمع نشاسته در برگ‌های درختان دارای کمبود منیزیم که موجب افزایش ماده خشک در این برگ‌ها می‌شود. افزایش تجمع نشاسته در برگ‌ها نشان می‌دهد که تجزیه نشاسته در کلروپلاست سلول‌های برگ، جابه‌جایی قندها در سلول‌ها و ورود ساکارز به آوندهای آبکشی، بیشتر از فتوسنتز در درختان دارای کمبود منیزیم آسیب خواهد دید. به‌طورکلی محصولات نهایی اصلی فتوسنتز برگ نشاسته و ساکارز هستند. کمبود منیزیم بر جزءبندی کربوهیدرات‌ها تأثیر دارد (دینگ و زائو، 2011؛ هرمانز و همکاران، 2005). یکی از مهم‌ترین و مخرب‌ترین اثرات کمبود منیزیم، تجمع قند در برگ‌های منبع است که بر فعالیت فتوسنتزی برگ، مورفولوژی برگ و فعالیت‌های رشدی و زایشی درختان در فصل بعدی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، تجمع کربوهیدرات‌ها در برگ‌های منبع و کاهش رشد ریشه، پاسخ اولیه به کمبود منیزیم هستند؛ زیرا در تشکیل زیست‌توده و تقسیم کربوهیدرات‌ها نقش دارند. در واقع، انباشت کربوهیدرات همراه با کاهش نسبت ریشه به اندام هوایی در انواع درختان میوه به‌ویژه مرکبات تحت عرضه ناکافی منیزیم گزارش شده است (فیشر و همکاران 1998؛ منگوتای و همکاران 2013، اسدی کنگرشاهی، 1398). به همین دلیل علائم ظاهری کلروز، ابزاری مناسب برای تشخیص زودهنگام کمبود منیزیم نیست (دینگ و همکاران، 2006 و چکماک و همکاران، 1994) بلکه به‌عنوان یک علامت قابل‌مشاهده دیرهنگام است (گرانسی و فوهر، 2013). لذا در شرایط کمبود منیزیم، مقدار قابل‌توجهی از قندهای محلول (گلوکز، فروکتوز و ساکارز) و نشاسته در برگ درختان تجمع می‌یابد و این تجمع ساکارز و کاهش انتقال آن، محدودیت اصلی رشد به‌ویژه برای ریشه‌ها است. این تجمع و افزایش کربوهیدرات‌ها ناشی از حساسیت و کاهش بارگیری

ساکارز به آوند آبکش تحت محدودیت منیزیم است و اختلال در صادرات آن‌ها از برگ به ریشه همراه بوده و منجر به عدم تعادل بین تجمع ساکارز و استفاده از آن می‌شود. البته نقش منیزیم در صادرات مواد فتوسنتزی می‌تواند ناشی از آسیب ساختاری و بی‌ثباتی در بافت آبکش، اختلال در فعالیت اندام‌های مخزن، یا اختلال در بارگذاری آبکش بوده، اما اختلال در بارگذاری آوند آبکش ممکن است مربوط به کاهش فتوسنتز در برگ‌های دچار کمبود منیزیم باشد. بااین‌حال، نتایج پژوهشی نشان داده است که سرعت فتوسنتز در مراحل بعدی کمبود این عنصر غذایی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (کوان، 2002؛ گرانسی و فوهر، 2013)؛ بنابراین، به نظر می‌رسد گرسنگی منیزیم اثر(های) عملکردی و/یا ساختاری مستقیمی بر فرآیند بارگیری ساکارز به آوند آبکش دارد که تأیید می‌کند که تغییر فتوسنتز یک شاخص حساس کمبود منیزیم نیست. اهمیت منیزیم در بارگذاری ساکارز به آوند آبکش مربوط به بر همکنش آن با نوکلئوتیدیل تری فسفات (Mg^{2+}-ATP) است که انرژی لازم برای H^+-ATPases واقع در غشای پلاسمایی سلول‌های لوله غربال را تأمین می‌کند؛ بنابراین، تحت غلظت‌های محدود منیزیم، مهار بارگذاری ساکارز به آوند آبکش در اندام‌های مصرفی با اختلال در فعالیت H^+/ATPase در سلول‌های همراه آبکش توضیح داده می‌شود (زائو و همکاران، 2000). در واقع، اتصال Mg توسط ATP مختل می‌شود که باعث کاهش سطح کمپلکس‌های Mg-ATP موردنیاز ATPase های متصل به غشای پلاسمایی می‌شود. این مسئله منجر به مهار صادرات و انتقال فتوسنتات‌ها از طریق آوند آبکش می‌شود (هانستین و همکاران، 2011؛ وایت، 2012).

- کاهش شدید جابه‌جایی مواد آلی ساخته شده در دستگاه فتوسنتزی از برگ‌ها (منبع) به اندام‌های مخزن (مانند میوه‌ها و ریشه‌ها) در درختان دارای کمبود منیزیم. یافته‌های پژوهشی به‌وضوح نشان می‌دهد که کمبود منیزیم موجب کلروز بین رگبرگی، بزرگ‌شدن و چوب‌پنبه‌ای شدن رگبرگ‌ها و تغییرات فتوسنتز و پارامترهای مربوطه به آن، بیشتر در برگ‌های میانی و پایینی، می‌شود. این علائم به‌ندرت در برگ‌های بالایی دیده می‌شود که ناشی از افزایش انتقال مجدد منیزیم از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان در شرایط کمبود و گرسنگی منیزیم است. کمبود شدید منیزیم ممکن است کل انتقال الکترون فتوسنتزی را مختل کند از جمله آسیب ساختاری به تیلاکوئیدها، جداسازی

واحدهای PSII، غیرفعال‌شدن کمپلکس‌های تکاملی اکسیژنی[1] (OEC) و مراکز واکنشی فتوسنتز[2] (RCs)، افزایش احیای QA[3] و مخزن پلاستوکینون در سمت گیرنده PSII، و اکسیداسیون گیرنده‌های نهایی الکترون (PSI)؛ بنابراین، راندمان انتقال و جذب انرژی، انتقال الکترون‌ها به واکنش‌های تاریکی و سرعت جذب دی‌اکسیدکربن در برگ‌های میانی و پایینی دارای کمبود منیزیم کاهش می‌یابد (شکل‌های 3-1 تا 3-3).

- کاهش نسبت ریشه به تاج، رشد ریشه در درختان دارای کمبود منیزیم بسیار بیشتر از رشد اندام هوایی خسارت می‌بیند.
- کاهش وزن تک میوه، وزن واحد میوه‌ها در درختان دارای کمبود منیزیم کاهش می‌یابد که به علت اختلال در سازوکار تقسیم مواد آلی در کلروپلاست درختان دارای کمبود منیزیم است.
- خسارت نوری و تنش اکسیداتیو: ظهور کلروز و نکروز از علائم آسیب در فراساختار کلروپلاست است. به‌طوری‌که کلروپلاست‌ها به دلیل تجمع دانه‌های نشاسته بزرگ و اختلال در ساختار تیلاکوئیدها، گرد و بزرگ‌تر می‌شوند (فرهات و همکاران، 2014)؛ بنابراین، بین تجمع کربوهیدرات‌ها، کمبود منیزیم و ظاهر کلروز برگ ارتباط وجود دارد. کمبود منیزیم موجب اختلال در تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شود و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن[4] را القا می‌کند و این‌گونه‌های رادیکال اکسیژن می‌توانند به اجزای سلولی مانند لیپیدهای غشاء، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک آسیب جدی وارد کنند و در نتیجه متابولیسم را مختل کنند. اما تحت شرایط فراهمی مناسب منیزیم، شاخص کلی پراکسیداسیون لیپیدها کاهش می‌یابد و فعالیت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه القای فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز[5] برای ازبین‌بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن (که موجب خسارت‌های اکسیداتیو می‌شوند) افزایش می‌یابد. تحت شرایط کمبود منیزیم، سلول‌ها سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی خود را با افزایش فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز در ابتدا تقویت می‌کنند، زیرا سوپر اکسید دیسموتاز، اولین آنزیمی است که در محافظت از سلول‌ها در برابر حمله پراکسیداتیو گونه‌های رادیکال

[1] - Oxygen evolving complex
[2] - Reaction centers
[3] - Quinon A
[4] - reactive oxygen species (ROS)
[5] - Superoxide dismutase (SOD)

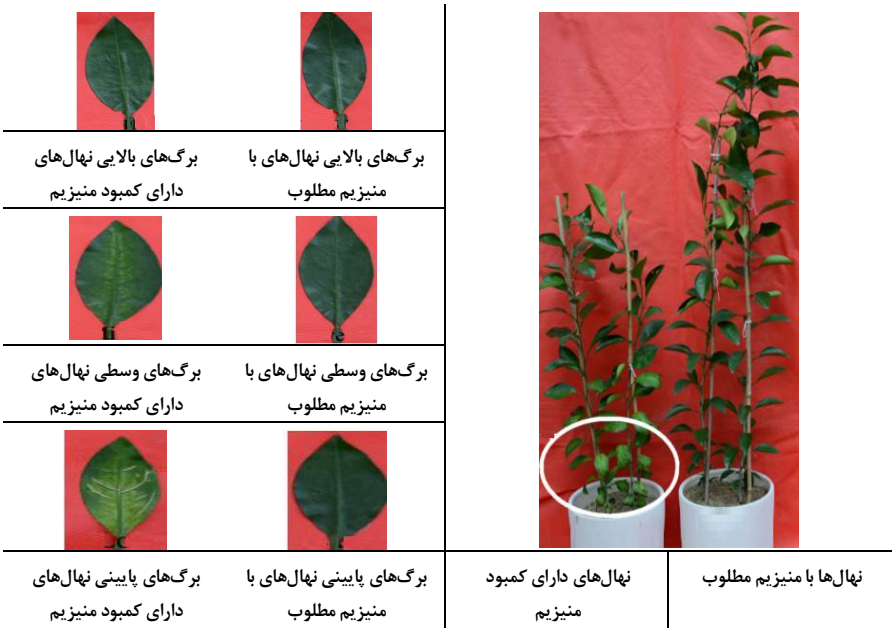
اکسیژن نقش دارد. فعالیت آنزیم‌های دیگر، مانند کاتالاز[1] و پراکسیداز[2] نیز ممکن است در چنین شرایطی افزایش یابد. افزایش فعالیت پراکسیداز با تأثیر بالای آن در تجزیه H_2O_2 تولید شده توسط سوپراکسید دیسموتاز توضیح داده می‌شود، اما در کمبود شدید منیزیم کاهش فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز حساسیت درختان مرکبات به پراکسیداسیون لیپیدی را افزایش می‌دهد و در سیستم آنتی‌اکسیدانی درختان اختلال شدید ایجاد می‌کند؛ لذا سیستم‌های مهارکننده نمی‌توانند محافظت کافی از غشاها در برابر اکسیداسیون نوری ایجاد کند و تنش اکسیداتیو رخ می‌دهد.

کمبود منیزیم منیزیم مطلوب

شکل 3-1. تأثیر منیزیم در رشد اندام هوایی و ریشه مرکبات

[1] - Catalase (CAT)
[2] - peroxidase (POD)

شکل 3-2. تأثیر کمبود منیزیم در رشد اندام هوایی، رشد و حجم ریشه، انتقال مجدد و بروز علایم کمبود در برگ‌های پایینی مرکبات



شکل 3-3. محل و شدت بروز علایم کمبود منیزیم در برگ‌های بالایی، میانی و پایینی مرکبات

3-3. مهمترین علائم ظاهری و روند توسعه کمبود منیزیم

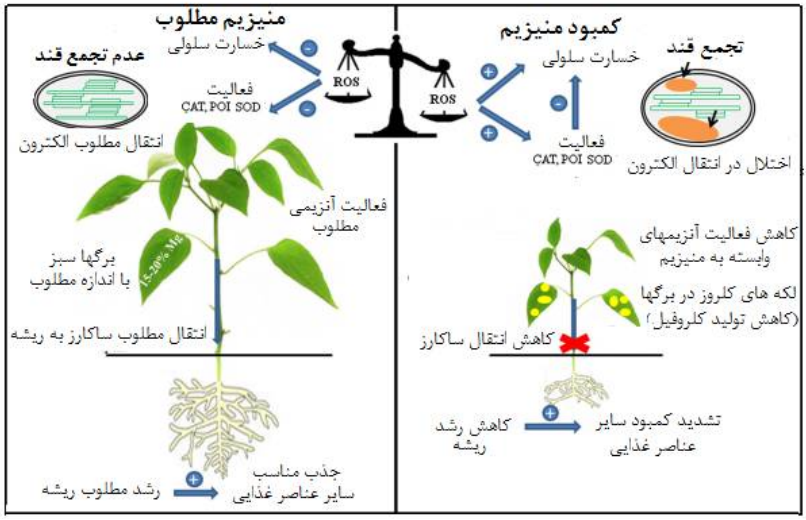
- علائم ابتدا در برگ‌های بالغ ظاهر می‌شود.
- بلوک‌های زرد نامنظم نزدیک پایه برگ در طول رگبرگ میانی برگ‌های بالغ که نزدیک به میوه هستند ظاهر می‌شود این بلوک‌ها سپس بزرگ‌تر می‌شوند و سرانجام به هم می‌پیوندند و تشکیل یک ناحیه یا لکه زردرنگ در طرفین رگبرگ میانی می‌دهند ناحیه زردرنگ بزرگ می‌شود و سرانجام فقط نوک و پایه برگ به شکل سبز باقی می‌ماند و به شکل V معکوس روی رگبرگ میانی ظاهر می‌شود (شکل 3-4).
- در درون تاج درختان، بازوهای که میوه زیاد دارند علائم شدید منیزیم توسعه می‌یابند و سرانجام برگ‌های آنها ریزش کرده و بدون برگ می‌شوند که همراه با میوه‌های کوچک‌تر و عملکرد کمتری هستند.
- به‌طورکلی کمبود منیزیم با زردشدن برگ به شکل کلروز بین رگبرگی در برگ‌های مسن همراه است. ظهور این علائم با دخالت زیاد منیزیم در سنتز کلروفیل، رنگ‌دانه‌های اصلی مسئول برداشت نور در گیاهان توضیح داده می‌شود. ازاین‌رو، کمبود منیزیم منجر به مهار فتوسنتز، تجمع کربوهیدرات در برگ‌های منبع، کاهش رشد ریشه و همچنین تغییراتی در فراساختار کلروپلاست می‌شود. به‌طورکلی جنبه‌های اصلی کمبود منیزیم شامل برهم‌خوردن تعادل کربوهیدرات بین اندام‌های منبع و مخزن، ممکن است پیری برگ را به دلیل تغییر کلاتاز منیزیم[1]، به‌عنوان یک آنزیم مهم که مسئول واردکردن منیزیم به پروتوپورفیرین IX، به‌عنوان اولین مرحله بیوسنتز کلروفیل است، تسریع کند. تجمع پروتوپورفیرین IX به دلیل تغییر کلاتاز منیزیم ممکن است گسترش کلروز را افزایش دهد (چکماک و کربای، 2008)، این مسئله باعث کاهش بیش از حد انتقال الکترون فتوسنتزی و تولید بیش از حد ROS می‌شود، بنابراین کمبود منیزیم در مرحله اول بر برگ‌های پیر تأثیر می‌گذارند و سپس به سمت اندام جوان‌تر پیش می‌روند و بعداً به لکه‌های نکروز تبدیل می‌شود (فرهات و همکاران، 2014). همچنین ظهور علائم کمبود منیزیم ارتباط زیادی با شدت نور دارد. ازاین‌رو، شدت نوربالا به دلیل افزایش تولید آسیب‌رسان ROS در کلروپلاست‌ها، باعث افزایش ایجاد کلروز بین رگبرگ‌ها می‌شود.

[1] - Magnesium chelatase

درختان با منیزیم کافی در معرض شدت نوربالا یا درختان دارای کمبود خفیف منیزیم در معرض شدت نور کم باعث ایجاد کلروز برگ نمی‌شوند. در مقابل، درختان با کمبود منیزیم در معرض شدت نوربالا به‌سرعت علایم کلروز برگ را نشان می‌دهند. تشدید کلروز در اثر نور زیاد، به دلیل دخالت مستقیم تخریب اکسیداتیو نوری کلروفیل و لیپیدهای غشایی است و کمبود منیزیم ممکن است شامل یک آسیب سلولی برنامه‌ریزی شده مرتبط با آسیب اکسیداتیو در کلروپلاست باشد. اثر مشابهی با تنش گرمایی نیز تأثیر مشابهی در شرایط کمبود منیزیم دارد (شکل 3-5).

برگ‌هایی که بیشتر رنگ سبزشان را در اثر کمبود منیزیم از دست می‌دهند، معمولاً در شرایط نامناسب مانند تنش سرمایی، تنش آبی، محلول‌پاشی‌های سنگین (با غلظت زیاد)، ریزش می‌کنند و شاخه‌ها بدون برگ می‌شوند. همچنین ریزش شدید برگ‌ها، اندازه میوه‌ها را کاهش می‌دهد و سبب کاهش عملکرد کلی باغ، در واحد سطح می‌شود. کمبود منیزیم، همچنین منجر به کاهش سیستم ریشه‌های فعال می‌شود که ممکن است جذب دیگر عناصر را کاهش دهد و کمبودشان را تشدید نماید و کمبود روی و مس تحت این شرایط بسیار معمول است. میزان مناسب منیزیم قابل‌استفاده در خاک 750- 500 میلی‌گرم در کیلوگرم و یا تقریباً 10 درصد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می‌باشد.

شکل 3-4. علائم کمبود منیزیم در درختان مرکبات



شکل 3-5. اثرات عمده کمبود منیزیم در درختان میوه

3-4. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه برگ برای منیزیم

یکی از دلایل تجزیه برگ، تعیین وضع تغذیه‌ای باغ یا درختان است که از این داده‌ها می‌توان برای تعیین میزان و نوع کود مصرفی استفاده کرد. باغدارانی که در زمینه تفسیر نتایج تجزیه برگ مهارت کافی ندارند داده‌ها را با کمک مشاورهای فنی که در زمینه‌ی تغذیه‌ی مرکبات مهارت دارند، تفسیر می‌نمایند. هدف اولیه تجزیه برگ، بهینه کردن مصرف سالانه کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر است. همچنین در بلند مدت، هدف از تجزیه برگ، به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی است، به نحوی که پتانسیل تولید و کیفیت میوه ثابت بماند (سریواستاوا، 2013؛ اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1398). برای رسیدن به این هدف، ضروری است که مدیریت و مقدار مصرف کودهای شیمیایی سالانه ثبت گردد و در زمان تفسیر نتایج تجزیه برگ و همچنین در تصمیم‌گیری‌های مدیریت تغذیه آینده باغ از آن استفاده شود. آزمایشگاه، غلظت کل هر عنصر را در نمونه برگ، تعیین می‌کند. نظر به این‌که غلظت کل تعیین می‌شود بنابراین اختلافی بین نتایج تجزیه برگ آزمایشگاه‌های گوناگون نباید وجود داشته باشد. برای تفسیر نتایج آزمایشگاهی، باغداران باید

نتایج آزمایش برگ باغ‌های مورد نظر را با نتایج تجزیه برگ استاندارد مقایسه کنند. این استانداردها بر اساس مشاهدات میدانی بلند مدت در کشورهای گوناگون با ارقام و پایه‌های گوناگون مرکبات در شرایط مدیریتی گوناگون تهیه شده است و برای ارزیابی تغذیه درختان مرکبات در کل جهان استفاده می‌شوند. هدف مدیریت تغذیه، حفظ غلظت عناصر غذایی برگ در دامنه مطلوب است. اگر در تفسیر نتایج، غلظت یک عنصر خاص در دامنه مطلوب قرار ندارد، برای افزایش غلظت آن عنصر، روش‌های‌گوناگونی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

راهنمای حدود مطلوب غلظت منیزیم در برگ ارقام مختلف مرکبات در جدول 3-1 تا 3-4 آورده شده است. همچنین در جدول 3-5، مدیریت برنامه کودی بر اساس نتایج تجزیه برگ نشان داده شده است. اگر غلظت منیزیم در برگ کمتر از حد مطلوب باشد باتوجه‌به نوع خاک ممکن است دلایل متفاوتی داشته باشد در خاک‌های آهکی مهمترین دلیل می‌تواند توقف رشد ریشه، سنگینی بافت خاک، پوسیدگی ریشه، ماندابی شدن منطقه ریشه و ... باشد اما در خاک‌های اسیدی، مقدار منیزیم قابل تبادل خاک باید کنترل شود اما به طور کلی عوامل اقلیمی، خاکی و فیزیولوژی ممکن است در کمبود منیزیم موثر باشند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397). نتایج پژوهشی نگارندگان نشان داده است که غلظت منیزیم در برگ‌ها، با افزایش سن برگ درختان افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که غلظت منیزیم در برگ‌ها در اواسط خرداد ماه، کمتر از مرداد ماه است (شکل3-6). اما غلظت منیزیم در میوه‌ها، با افزایش رشد میوه ابتدا افزایش و سپس با بلوغ میوه کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که غلظت منیزیم در میوه‌ها در اواسط تیر ماه، بیشتر از اواسط مهر ماه است (شکل3-7). همچنین با افزایش سن و قطر سرشاخه‌ها و خشبی شدن آن‌ها، غلظت منیزیم در آن کاهش می‌یابد به‌طوری‌که غلظت منیزیم در سرشاخه‌های کمتر از یک سانتی‌متر، حدود 0/14 درصد بر اساس وزن خشک است و در سرشاخه‌های بزرگ‌تر به حدود 0/08 درصد می‌رسد. درمقابل، نتایج غلظت منیزیم در ریشه‌ها نشان داد که غلظت منیزیم در ریشه‌های فیبری بیشتر از غلظت منیزیم در سرشاخه‌ها است غلظت منیزیم در ریشه‌های فیبری کمتر از یک سانتی‌متر حدود 0/33 درصد و در ریشه‌های فیبری بزرگ‌تر حدود 0/097 درصد است (شکل 3-8).

جدول 3-1. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه برگ درختان پرتقال (ناول‌ها) که از شاخه‌های انتهایی میوه‌دار سیکل بهاره تهیه شده‌اند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

عنصر	غلظت عناصر غذایی (درصد)				
	کمبود	کم	مناسب	زیاد	خیلی زیاد
منیزیم	< 0/17	0/17-0/30	0/30-0/50	> 0/5	-

جدول 3-2. راهنمای تفسیر نتایج آزمون برگ درختان پرتقال (ناول‌ها) که از شاخه‌های انتهایی بدون میوه سیکل بهاره تهیه شده‌اند (اسدی کنگرشاهی، 1398).

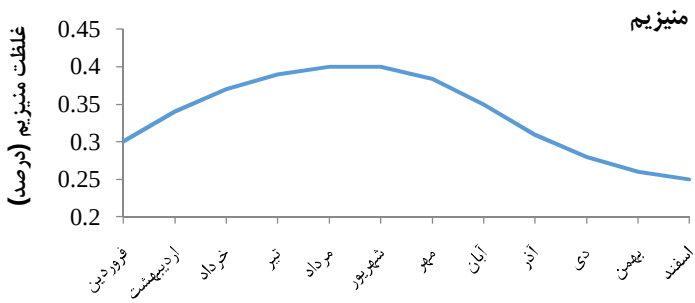
عنصر	غلظت عناصر غذایی (درصد)				
	کمبود	کم	مناسب	زیاد	خیلی زیاد
منیزیم	< 0/20	0/20-0/29	0/30-0/40	0/40-0/60	> 0/6

جدول 3-3. راهنمای تفسیر نتایج آزمون برگ درختان نارنگی انشو (اسدی کنگرشاهی، 1398).

عنصر	غلظت عناصر غذایی (درصد)				
	کمبود	کم	مناسب	زیاد	خیلی زیاد
منیزیم	< 0/15	0/16-0/29	0/30-0/60	0/60-1/10	> 1/12

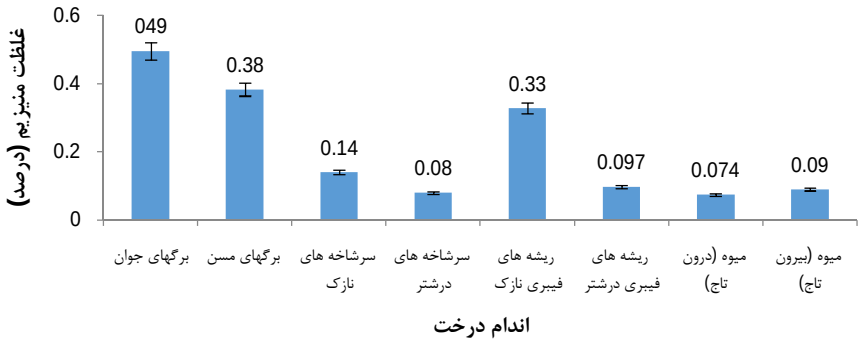
جدول 3-4. راهنمایی حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در برگ برخی ارقام مرکبات (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

عنصر غذایی	رقم					
	کلمانتین‌ها	سانگین‌ها	والنسیا	ناول‌ها	گریپ‌فروت	لیموها
منیزیم (درصد)	0/30 – 0/40	0/25 – 0/35	0/23 – 0/60	0/3 – 0/55	0/3 – 0/55	0/28 – 0/51



شکل 3-6. روند تغییرات غلظت منیزیم در برگ درختان مرکبات

شکل 3-7. روند تغییرات غلظت منیزیم در میوه مرکبات



شکل 3-8. تغییرات غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف درختان مرکبات

جدول 3-5. تنظیم برنامه کودی منیزیم بر اساس نتایج تجزیه برگ

عنصر غذایی	اگر غلظت منیزیم در برگ کمتر از مقدار مطلوب باشد.	اگر غلظت منیزیم در برگ بیشتر از مقدار مطلوب باشد.
منیزیم	▪ وضعیت منیزیم قابل تبادل خاک بررسی شود. ▪ pH خاک کنترل شود. ▪ باتوجه‌به pH خاک، می‌توان از دولومیت به روش مصرف خاکی و کودهای محلول منیزیم مانند سولفات منیزیم، نیترات منیزیم یا کلات‌های آلی منیزیم به روش مصرف خاکی، کودآبیاری یا محلول‌پاشی در خاک‌های اسیدی مصرف شوند. در خاک‌های آهکی، کودهای منیزیم محلول مانند سولفات منیزیم، نیترات منیزیم یا کلات‌های آلی منیزیم به روش خاکی، کودآبیاری یا محلول‌پاشی مصرف شوند.	▪ هیچ اقدامی لازم نیست.

فصل چهارم

مهم‌ترین عوامل مؤثر در جذب منیزیم

4-1. عواملی که بیشترین تأثیر در جذب منیزیم دارند:

4-1-1. پتاسیم: یکی از مهمترین عوامل مقدار زیاد پتاسیم قابل استفاده خاک است. غلظت بالای پتاسیم خاک، چه به دلیل کوددهی بیش از حد یا به دلیل کانی شناسی طبیعی خاک باشد در جذب منیزیم، اختلال ایجاد می‌کند به طور کلی نسبت پتاسیم به منیزیم[1]قابل تبادل در خاک به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌ها برای تشخیص وضعیت منیزیم خاک و نیاز درختان مرکبات به کوددهی منیزیم است به طوری که نسبت پتاسیم به منیزیم بیشتر از 1: 0/4 تا 1: 0/5 نشان دهنده کمبود منیزیم است. گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد اگر نسبت پتاسیم به منیزیم بیشتر از 1: 0/4 باشد در بیشتر موارد علائم کمبود منیزیم در درختان مرکبات ظاهر می‌شود. تغییر نسبت پتاسیم به منیزیم در خاک با مصرف کود منیزیمی بسیار مشکل است و نیاز به مصرف مقدار زیادی منیزیم دارد. برای مثال، برای کاهش نسبت پتاسیم به منیزیم به کمتر 1: 0/5 در لایه سطحی در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین به ترتیب حدود 150 و 600 کیلوگرم منیزیم در هکتار نیاز است. مصرف چنین غلظت بالایی از منیزیم در خاک ممکن است در جذب کاتیون‌های دیگر مانند کلسیم تداخل ایجاد کند. از طرفی دیگر مصرف زیاد کودهای پتاسیمی نیز ممکن است موجب افزایش نسبت پتاسیم به منیزیم و تشدید کمبود منیزیم شود.

4-1-2. کلسیم و آهک: مقدار زیاد کلسیم در خاک نیز ممکن است مستقیماً در جذب منیزیم اختلال ایجاد کند. نسبت کلسیم به منیزیم قابل استفاده در خاک نیز یکی از شاخص‌های تشخیص وضعیت منیزیم خاک و نیاز درختان مرکبات به کوددهی منیزیم

[1] - K:Mg

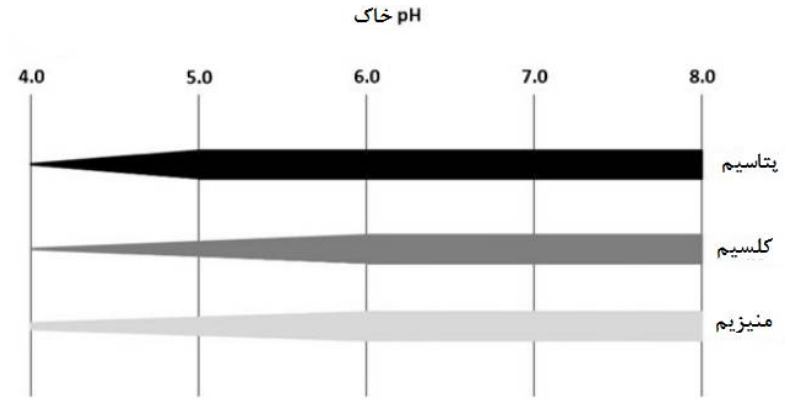
است به طوری که نسبت کلسیم به منیزیم[1] بیشتر از 1: 7 تا 1: 8 نشان‌دهنده احتمال کمبود منیزیم است.

4-1-3. نیتروژن: یون آمونیوم (NH_4^+) همچنین می‌توانند کمبود منیزیم را القا کنند اگرچه بعید است که این مشکل باشد زیرا نیتریفیکاسیون به سرعت انجام می‌شود، تبدیل آمونیوم به نیترات در اغلب خاک‌ها در طی دو هفته انجام می‌شود. نیتریفیکاسیون، تحت تأثیر درجه حرارت، رطوبت، pH و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) خاک است. شرایط مطلوب برای نیتریفیکاسیون در خاک، درجه حرارت 27 تا 32 درجه سانتی‌گراد، رطوبت خاک در حدود ظرفیت مزرعه‌ای و pH خاک حدود 6 تا 7 می‌باشد. نیتریفیکاسیون، وقتی که نسبت کربن به نیتروژن خاک زیاد باشد (مانند زمانی که کاه و کلش یا خرده چوب مصرف شود) برای مدتی متوقف می‌شود.

4-1-4. اسیدیته خاک (pH): کمبود منیزیم در خاک‌های اسیدی به دلیل اشباع بالای ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک با یون‌های هیدروژن (H^+) و در نتیجه شستشوی و اختلال در جذب منیزیم یک چالش است. در واقع، بیشتر مطالعات گزارش کرده‌اند که pH پایین خاک، نرخ شستشوی منیزیم را از پروفیل خاک تشدید می‌کند (گرانسی و فوهر، 2013). به طور تقریبی حدود 30 درصد از کل زمین‌های جهان اسیدی است (با pH <5.5 در لایه سطحی خاک) که حدود 4 میلیارد هکتار است. باتوجه‌به گسترش زمین‌های قابل کشت، هاگ (1983) حتی تخمین زده است که حدود 70 درصد از زمین های قابل کشت، بالقوه اسیدی هستند. اسیدیته خاک نه تنها یک مشکل دائمی خاک است، بلکه با عمل کوددهی کشاورزی نیز بیشتر می‌شود. در واقع گوو و همکاران (2010) توانست با مقایسه pH خاک و عملیات کوددهی خاک‌های مختلف چین در سال‌های 1980 تا2000، تأثیر قابل توجهی از کوددهی بیش از حد نیتروژن و کاتیون‌های بازی را بر اسیدی شدن خاک اندازه‌گیری کند. به طور کلی علاوه بر کمیت ترکیب کاتیون‌های خاک، اسیدیته خاک نیز بر جذب منیزیم توسط گیاهان تأثیر می‌گذارد زیرا pH پایین در جذب کاتیون‌های اصلی (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) اختلال ایجاد می‌کند. تأثیر pH خاک بر قابلیت استفاده سه کاتیون اصلی به صورت نمایی در شکل 4-1 برای محدوده pH واقعی برای زمین‌های زراعی

[1] - Ca:Mg > 7 up to 8

نشان داده شده است. کاهش فراهمی دو کاتیون اصلی کلسیم و منیزیم در pH اسیدی (کمتر از 6) نتیجه ناتوانی فزاینده درختان در ایجاد و حفظ pH مطلوب و در نتیجه گرادیان الکتروشیمیایی در سراسر غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه است (شوبرت و همکاران 1990). علاوه بر عدم دسترسی و جذب کاتیون‌های بازی مانند کلسیم و پتاسیم خاک، اسیدی شدن خاک منجر به چندین اثر نامطلوب دیگر نیز می‌شود. در pH <4-4.5، رشد ریشه مستقیماً توسط سمیت یون هیدروژن متوقف می‌شود (رانجل و همکاران، 2005). بااین‌حال، خاک‌های اسیدی خطر سمیت عناصر، به‌ویژه منگنز و آلومینیم را نیز دارند. منگنز یک ریزمغذی ضروری است اما آلومینیم برای گیاهان ضروری نیست؛ بنابراین مدیریت این عناصر به‌ویژه منگنز در خاک‌های اسیدی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (کلاگ و هورست، 2010؛ می و همکاران، 2001).



شکل 4-1. تاثیر pH خاک بر قابلیت استفاده پتاسیم، کلسیم و منیزیم

در مورد منگنز، تنوع قابل‌توجهی در ارقام بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای (بین گونه‌های گیاهی و بین ارقام در یک‌گونه گیاهی) در تحمل به سمیت منگنز در خاک وجود دارد (فوی و همکاران 1978). بااین‌حال، بیشتر گزارش‌ها نشان داده‌اند که مصرف منیزیم، سمیت منگنز را کاهش می‌دهد و این کاهش سمیت نه‌تنها ناشی از کاهش جذب منگنز (تضاد کاتیونی) بلکه به علت افزایش تحمل بافت گیاه می‌باشد (گرانسی و فوهر، 2013)؛ بنابراین اثر سمی منگنز در خاک‌های اسیدی را می‌توان با مصرف منیزیم کاهش داد. به‌طورکلی

قابلیت استفاده و جذب منیزیم می‌تواند به‌شدت تحت شرایط اسیدی خاک قرار گیرد (کلتجن، 1993). تأثیر pH خاک در جذب منیزیم ناشی از تأثیر آلومینیم، هیدروژن، کلسیم و پتاسیم در جذب منیزیم توسط ریشه و همچنین تعادل بین منیزیم تبادلی و محلول خاک است. مقدار آلومینیم قابل تبادل، بیشتر در خاک‌های با اسیدیته کمتر از 5/2 قابل‌توجه است که جایگزین منیزیم تبادلی شده و آن را به محلول خاک انتقال می‌دهد. جایگزینی هیدروژن قابل تبادل با کلسیم نیز موجب افزایش غلظت منیزیم محلول خاک می شود. البته باید توجه داشت که استفاده گسترده از علف‌کش‌ها برای حفظ نوار عاری از علف‌های هرز در امتداد ردیفی که ریشه‌های مرکبات در آن متمرکز شده‌اند، می‌تواند منجر به کاهش قابل‌توجه اسیدیته خاک شود (هاینس و گوه، 1980).

4-1-5. مواد آلی خاک: افزایش مواد آلی خاک می‌تواند نرخ جذب منیزیم مرکبات را با بهبود ساختار خاک تغییر دهد که منجر به بهبود محتوای رطوبت، رشد ریشه و دسترسی و جذب مواد مغذی می‌شود. منیزیم می‌تواند کمپلکس‌های ضعیفی با مواد آلی خاک تشکیل دهد و جذب منیزیم را بهبود بخشد (فیگر، 1997). افزایش مواد آلی خاک همچنین باعث افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک و تغییر نسبت فعالیت کاتیون‌هایی مانند منیزیم، کلسیم و پتاسیم در محلول خاک شود. باتوجه‌به اتصال منیزیم قابل تبادل به خاک رس قوی‌تر از مواد آلی خاک است، بنابراین افزایش مواد آلی خاک می‌تواند موجب افزایش منیزیم در محلول خاک شود.

4-1-6. نسبت تاج به ریشه: امکان کاهش کمبود منیزیم درختان با کاهش نسبت شاخه به ریشه و افزایش رشد سیستم ریشه وجود دارد (زو و همکاران، 2021). در مرکبات، نسبت تاج به ریشه به طور قابل توجهی با تنوع پایه و پیوندک، شرایط خاک، سن گیاه و شیوه‌های مدیریتی متفاوت است. نسبت تاج به ریشه را می‌توان با هرس، آبیاری، فاصله کاشت و کود دستکاری کرد. یکی از راهکارهای مهم رفع کمبود منیزیم در مرکبات، هرس شدید همراه با کوددهی منیزیم است اگرچه هرس شدید احتمالاً باعث کاهش عملکرد می‌شود، اما یک تیمار هرس کمتر انتخابی می‌تواند با بهبود نفوذ نور به داخل تاج‌پوشش، عملکرد را افزایش دهد. ریشه درختان را می‌توان با عملیاتی مانند مالچ پاشی، به حداقل رساندن مصرف کودهای نیتروژنی، بهبود ساختار خاک (اجتناب از اقداماتی که منجر به

فشرده سازی خاک شود)، فاصله کاشت بیشتر (فاصله بیشتر بین و روی هر ردیف) و افزایش مصرف مواد آلی گسترش داد. االبته کاشت گیاهان پوششی مناسب در کف باغ نیز می‌تواند بر چرخه مواد غذایی، فعالیت میکروبی و میکوریزی، مواد آلی خاک، ساختار خاک، و توزیع ریشه درخت تأثیر داشته باشد.

4-1-7. تراکم خاک (وزن مخصوص ظاهری): نتایج پژوهشی نگارندگان در باغ‌های شمال کشور نشان داده است که در بیشتر این باغ‌ها، با افزایش وزن مخصوص ظاهری در خاک تحتانی، عملکرد در واحد سطح کاهش می‌یابد. رشد ریشه‌های ریز معمولاً در لایه‌های با 50 درصد یا بیشتر سنگریزه یا لایه‌های با فشردگی زیاد، محدود می‌شود. جرم مخصوص ظاهری، یک پارامتر قابل اندازه‌گیری است که کمترین ضریب تغییرات را در مقایسه با دیگر خصوصیات فیزیکی خاک دارد. معمولاً عمقی از خاک، که در آن لایه یا لایه‌های با جرم مخصوص ظاهری بیشتر از حد بحرانی وجود داشته باشد، پتانسیل باروری خاک را تعیین می‌کند. حد بهینه و بحرانی جرم مخصوص ظاهری برای خاک‌های رسوبی، به ترتیب حدود 1/2-1/3 و 1/60- 1/5 گرم بر سانتی‌متر مکعب است. برای رسیدن به عملکرد بالا در خاک‌های با بافت ریز و متوسط، جرم مخصوص ظاهری 1/1-1/3 گرم بر سانتی‌متر مکعب با 40-50 درصد ذرات جامد درشت و با عمق حداقل 70-80 سانتی‌متر، نیاز است. خاک‌های با عمق حداقل 2 متر، بافت یکنواخت و زهکشی خوب در لایه‌های تحتانی، عمق آب زیرزمینی پایین‌تر از 150 سانتی‌متر در تمام طول سال، مناسب‌ترین خاک‌ها برای کشت مرکبات هستند. بیشترین ریشه‌های مرکبات در عمق 80 – 70 سانتی‌متری تجمع می‌یابند. پژوهش‌های انجام شده در خاک‌های عمیق سنگریزه‌دار نشان داده است که در خاک‌های با بیشتر از 15 درصد سنگریزه، عملکرد مرکبات کمتر از 50 درصد خاک‌های بدون سنگریزه با عمق یکسان می‌باشد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1396).

4-1-8. بافت خاک: بافت خاک در واقع، مقدار نسبی ذرات شن، سیلت و رس را در خاک‌های معدنی نشان می‌دهد. درختان مرکباتی که در بافت‌های بسیار سبک (شنی، شن لومی) کشت می‌شوند یا دارای مقدار زیادی شن در منطقه ریشه هستند، به علت ظرفیت نگهداری آب پایین، به مدیریت آبیاری فشرده‌تری نیاز دارند. حجم زیاد آب مصرفی در هر آبیاری (در یک زمان) می‌تواند موجب آب‌شویی شدید عناصر غذایی از جمله منیزیم شود.

در مقابل، خاک‌های بافت ریز (رسی، رس شنی و رس سیلتی) نیز اغلب مشکل ساختمانی و زهکشی دارند که موجب کاهش توسعه ریشه، تشدید کمبود منیزیم، تشدید خشکیدگی سرشاخه‌ها و زوال مرکبات می‌شوند. به طور کلی کلاس‌های متوسط و نسبتاً درشت (لوم شنی، لوم، لوم سیلتی و سیلتی) مناسب‌ترین کلاس‌های بافت خاک برای کاشت درختان مرکبات هستند. بافت‌های لوم رسی‌سیلتی، لوم رسی، لوم رسی‌شنی نسبتاً سنگین هستند و مدیریت مناسب کاشت و داشت از جمله انتخاب پایه مناسب، ایجاد بستر مناسب در زمان احداث باغ و همچنین مدیریت کوددهی در طی فصل رشد متناسب با فنولوژی درختان در این خاک‌ها در افزایش عملکرد و کیفیت میوه آن‌ها بسیار موثر است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1396).

4-1-9. نور، خشکی و تنش گرمایی: به‌طورکلی تنش نور زیاد، که اغلب با خشکی و تنش گرمایی همراه است، یک چالش عمده در تولید محصول است (میتلر، 2006). باتوجه‌به پیش‌بینی‌ها، فراوانی رخداد شرایط آب و هوایی حاد (به دلیل فرآیندهای دخیل در تغییرات آب و هوایی) به تدریج افزایش خواهد یافت (ایسترلینگ و همکاران، 2000). نقش منیزیم در سوخت و ساز گیاه به‌ویژه در شرایط تنش به خوبی شناخته شده است (چاکماک و کربای، 2008). منیزیم در تشکیل و جابه‌جایی کربوهیدرات‌ها نقش دارد. بااین‌حال، در شرایط کمبود منیزیم، به شدت در این فرآیندهای متابولیسم اولیه اختلال ایجاد خواهد شد. نتایج گزارش‌های پژوهشی نشان داده است که که در شرایط نور زیاد، نیاز درختان به منیزیم افزایش می‌یابد. به طورکلی تحت شرایط منیزیم کمتر از حد مطلوب و نور زیاد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و در نتیجه شدت خسارت افزایش می‌یابد. فعالیت بسیار بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در برگ‌های دارای کمبود منیزیم در مقایسه با برگ‌های با منیزیم کافی نشان داده است که تنش کمبود منیزیم، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد که ناشی از اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی و کاهش مصرف مواد فتوسنتزی است (چاکماک و مارشنر 1992). از این‌رو، تقاضای بیشتر منیزیم در شرایط نامطلوب محیطی، صرفاً به دلیل نقش اساسی منیزیم در متابولیسم اولیه است که در شرایط کمبود منیزیم نمی‌تواند به طور مطلوب برآورده شود. در نتیجه، در درختانی که به خوبی منیزیم برای آن‌ها تأمین شده،

تفاوت چندانی در حساسیت به تنش‌های نوری مشاهده نمی‌شود و در شرایط فراهمی بهینه منیزیم، مصرف بیشتر منیزیم توصیه نمی‌شود. همانطور که در ابتدا ذکر شد، به طور کلی نور زیاد، خشکی و تنش گرمایی معمولاً همزمان رخ می‌دهند لذا در این شرایط به دلیل کاهش انتقال و فراهمی منیزیم توسط جریان توده‌ای، امکان کمبود منیزیم به طور موقت افزایش می‌یابد. لذا در دوره‌های زمانی که این امکان کاهش فراهمی منیزیم (مانند خشکسالی) با نرخ رشد بالای محصول و در نتیجه تقاضای زیاد منیزیم همزمان باشد، احتمال این که، منیزیم خاک نتواند تقاضای واقعی محصول برای منیزیم را برآورده کند به مقدار زیادی افزایش می‌یابد. این امر به‌ویژه در باغ‌های بارده با عملکرد زیاد که نیاز به عناصر غذایی بیشتری دارند صادق است. در این حالت، محلول‌پاشی برگی و یا مصرف خاکی منابع مختلف منیزیم (با سهولت فراهمی) می‌تواند از نظر اقتصادی بسیار مفید باشد (رمهلد و کرکبی 2007). برای به حداکثر رساندن جذب منیزیم و در عین حال به حداقل رساندن هدرروی منیزیم از خاک، باید از منابع منیزیم استفاده کرد که آزادسازی منیزیم آنها تدریجی و مطابق با نیازهای گیاه باشد (هاردتر و همکاران،2004). منابع منیزیمی که برای برآورده کردن نیازهای واقعی و محصولات با نیاز بالا توصیه می‌شود، باید علاوه بر حلالیت مناسب در آب، یون همراه آن نیز باید مد نظر قرار گیرد، همچنین برای محلول‌پاشی برگی، ضریب شوری خاص آن برای جلوگیری از ایجاد علائم خسارت و سوختگی نیز باید در نظر گرفت. به طور کلی محلول‌پاشی منیزیم به‌ویژه همراه با نیتروژن (اوره) در طول مراحل تولید زایشی بسیار موثر است، زیرا انتقال مواد جذب شده به میوه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه رقابت آنها با ریشه‌ها به‌عنوان دومین مخزن قوی برای متابولیت‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد (اسدی کنگرشاهی، 1398؛ رومهلد و کرکبی،2007). بااین‌حال، از نظر پایداری عملکرد، حفظ رشد ریشه از نظر تأمین پایدار آب و عناصر غذایی تحت تنش خشکی بسیار مفید است.

4-1-10. رطوبت خاک: مقدار رطوبت خاک بر انتشار منیزیم به ریشه تأثیر دارد به طوری که با افزایش مقدار آب در خاک، انتشار منیزیم نیز افزایش می‌یابد. این افزایش انتشار، به طور عمده ناشی از افزایش در سطح مقطع انتشار و کاهش در کج و معوجی مسیر

انتشار است؛ بنابراین با افزایش رطوبت خاک، ضریب انتشار موثر (D_e) منیزیم در خاک افزایش می‌یابد و به طور کلی، فراهمی منیزیم به سطح ریشه افزایش می‌یابد.

4-1-11. تهویه خاک: در جذب منیزیم تأثیر دارد و زمانی که تهویه خاک به کمتر از 10 درصد برسد جذب منیزیم کاهش می‌یابد. میزان اکسیژن در فضای منافذ خاک به ندرت به کمتر از 10 درصد می‌رسد مگر این که خاک مانداب یا غرقاب شود.

4-1-12. درجه حرارت خاک: درجه حرارت خاک بر جذب منیزیم توسط ریشه و همچنین بر مقدار انتشار آن در خاک تأثیر دارد. درجه حرارت، بر ضریب انتشار موثر (D_e) منیزیم، قدرت بافری (b) و غلظت منیزیم در محلول خاک، موثر است. ضریب انتشار، قدرت بافری و غلظت منیزیم در محلول خاک، بیشترین تأثیر را در انتقال منیزیم به سطح ریشه دارند؛ بنابراین درجه حرارت، تأثیر زیادی در فراهمی منیزیم در خاک برای درختان دارد. درجه حرارت علاوه بر پارامترهای خاکی، بر پارامترهای گیاهی نیز تأثیر دارد اما افزایش جذب منیزیم با افزایش درجه حرارت، بیشتر ناشی از پارامترهای خاکی (تا پارامترهای گیاهی) است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

فصل پنجم

راهکارهای رفع کمبود منیزیم و تأثیر آن بر کیفیت میوه

1-5. مهمترین راهکارهای رفع کمبود منیزیم

1-1-5. نیتروژن: باغداران معمولاً با مصرف زیاد نیتروژن سعی در تحریک رشد رویشی و افزایش عملکرد دارند. مصرف زیاد نیتروژن، احتمال کمبود منیزیم را افزایش می‌دهد. شکل نیتروژن مصرفی بیشتر از مقدار کل نیتروژن بر جذب منیزیم تأثیر دارد کوددهی خاکی با آمونیوم بر مقدار منیزیم میوه‌ها تأثیر دارد. از آنجایی که بین آمونیوم و منیزیم برهمکنش منفی برای جذب توسط ریشه‌ها وجود دارد بنابراین مصرف زیاد کودهای آمونیمی در منطقه ریشه جذب منیزیم را کاهش می‌دهد.

2-1-5. پتاسیم: غلظت بالای پتاسیم خاک، چه به دلیل کوددهی بیش از حد یا به دلیل کانی شناسی طبیعی خاک باشد در جذب منیزیم، اختلال ایجاد می‌کند. کوددهی زیاد پتاسیم نیز ممکن است ناهنجاری‌های کمبود منیزیم را افزایش دهند. معمولا غلظت پتاسیم، منیزیم و کلسیم در ریشه و برگ‌های مسن بالا است، اما از آنجا که پتاسیم به آسانی در داخل گیاهان جابجا و توزیع مجدد می‌شود بنابراین میوه‌ها و اندام‌های مریستمی مشکلی از نظر فراهمی پتاسیم ندارند. اما غلظت منیزیم و کلسیم در بافت‌هایی مانند میوه‌ها و برگ‌های جوان که از آوند آبکش تغذیه می‌کنند اغلب پایین است. به علاوه در شروع توسعه سلولی میوه‌ها، به علت توسعه زیاد آوندهای آبکشی در دم میوه، اغلب اختلال در عمل آوندهای چوبی شروع می‌شود و ممکن است منجر به کاهش جذب کلسیم و تا حدودی منیزیم به میوه‌ها شود در حالی که عملکرد دستگاه آوند آبکشی نسبت به آوند چوبی تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند که مناسب فراهمی و انتقال پتاسیم به میوه‌ها است و

موجب افزایش غلظت پتاسیم در میوه‌ها می‌شود. نسبت بالای پتاسیم به کلسیم[1]، منیزیم به کلسیم[2] یا پتاسیم و منیزیم به کلسیم[3] در میوه‌ها برای پیش‌بینی ناهنجاری‌های کمبود کلسیم استفاده می‌شود. پتاسیم و منیزیم با کلسیم برای محل‌های پیوند در سطح غشا پلاسمایی رقابت می‌کنند اما این عناصر نمی‌توانند نقش کلسیم در ساختمان و پایداری غشا را داشته باشند، در نتیجه کلسیم کمتری برای پیوند به غشای پلاسمایی وجود خواهد داشت و کمبود کلسیم در غشاها، موجب افزایش نشت‌پذیری آنها شده و منجر به نشت مواد متابولیکی و سرانجام پلاسمولیز، شکست غشاها و مرگ سلول‌ها خواهد شد (کارلی و وایت، 2009؛ یای و همکاران، 2019 و 2020).

3-1-5. منیزیم (کودآبیاری و محلول‌پاشی): مصرف کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم در طول فصل رشد (کودآبیاری)، برای درختان بارده مرکبات مناسب است. اما مصرف کود سولفات پتاسیم منیزیم به علت حلالیت کم، فقط به شکل کود پایه در شروع فصل رشد (در اسفند ماه) در منطقه ریشه درختان توصیه می‌شود. همچنین پیشنهاد می‌شود مصرف سولفات منیزیم و نیترات منیزیم به شکل سرک یا کودآبیاری، پس از تشکیل میوه در بهار شروع شود و تا بلوغ میوه ادامه یابد. از مصرف یک‌باره کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم به شکل کود پایه در اوایل فصل رشد (اسفند ماه در باغ‌های مرکبات شمال کشور) خودداری شود. زیرا مصرف خاکی کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم در اسفندماه و در اوایل بهار از راندمان جذب بسیار پایینی برخوردار است. محلول‌پاشی نیترات منیزیم یا سولفات منیزیم پس از فاز دوم رشد میوه (پس از ریزش تابستانه تا پایان بلوغ فیزیولوژیکی میوه) با غلظت 5 الی 6 در هزار با رعایت استانداردهای محلول‌پاشی، موجب افزایش اندازه میوه و بهبود کیفیت میوه‌ها خواهد شد.

4-1-5. آبیاری و زهکشی: مصرف بهینه آب آبیاری در طول فصل رشد و اجتناب از تنش خشکی، تنش خشکی جذب منیزیم را به شدت کاهش می‌دهد. زهکشی مناسب در کف باغ و خروج آب‌های اضافی در منطقه ریشه، بیشترین تأثیر را در سلامت باغ و میوه دارد.

[1] - K^+/Ca^{2+}
[2] - Mg^{2+}/Ca^{2+}
[3] - $K^+ + Mg^{2+}/Ca^{2+}$

2-5. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت میوه

- افزایش قند (TSS)
- افزایش نسبت قند به اسید (TSS/acid)
- افزایش اندازه میوه و وزن میوه
- کاهش ضخامت پوست میوه

جدول 5-1. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت عصاره میوه مرکبات (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393)

کیفیت عصاره					
میزان عصاره	قند (TSS)	اسیدیته (acid)	شاخص بریکس (TSS/acid)	رنگ عصاره (قرمز)	رنگ عصاره (زرد)
*	+	*	+	؟	؟

علائم: + (افزایش)؛ - (کاهش)؛ * (عدم تأثیر) و؟ (نامشخص و در حال حاضر اطلاعاتی وجود ندارد).

جدول 5-2. تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت خارجی میوه مرکبات

کیفیت خارجی میوه				لکه‌های پوستی	
اندازه میوه	وزن میوه	میوه‌های سبز	ضخامت پوست	سایبدگی باد	لکه‌های قهوه‌ای متمایل به قرمز	چین‌خوردگی
+	+	*	-	؟	؟	؟

علائم: + (افزایش)؛ - (کاهش)؛ * (عدم تأثیر) و ؟ (نامشخص و در حال حاضر اطلاعاتی وجود ندارد).

فصل ششم

مدیریت کوددهی منیزیم برای درختان جوان و غیر بارده مرکبات

منیزیم به شکل یون (Mg^{2+}) جذب می‌شود. منیزیم قابل‌استخراج با استات آمونیوم خنثی یکی از شاخص‌های قابلیت استفاده منیزیم است. ویژگی‌های خاک مانند pH، شوری، سدیمی بودن، مینرالوژی، رطوبت و آهک خاک بر قابلیت استفاده منیزیم تأثیر دارند.

برای توصیه صحیح کودی (تعیین نوع، زمان، مقدار و نحوه مصرف کودها)، در باغ‌های جوان درختان میوه (سال‌های اول تا سوم پس از احداث باغ) نتایج تجزیه خاک و در باغ‌های جوان با سن بیشتر از سه سال علاوه بر نتایج تجزیه خاک، نتایج تجزیه برگ نیز موردنیاز است. درختان جوان مرکبات به مدیریت مناسب آبیاری، تغذیه، علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و محافظت از سرما برای افزایش سریع رشد رویشی نیاز دارند. مصرف بهینه آب و نیتروژن، مهم‌ترین عواملی هستند که در رشد درختان جوان تأثیر گذارند. مصرف کودهای منیزیمی برای درختان جوان (1 تا 3 سال) بر اساس سن درختان، نتایج تجزیه خاک و تفسیر آن است (جدول6-1). کودهای منیزیمی مناسب برای درختان مرکبات شامل سولفات منیزیم، نیترات منیزیم، هیومات‌های منیزیم، سولفات پتاسیم منیزیم و غیره است. سولفات پتاسیم منیزیم اغلب در اوایل فصل رشد و به روش خاکی توصیه می‌شوند؛ اما کودهای سولفات منیزیم، هیومات‌های منیزیم و نیترات منیزیم به روش کودآبیاری در طول فصل رشد در تقسیط‌های مختلف، در مناطق شمالی کشور به‌ویژه از اوایل مردادماه تا اواسط آبان‌ماه و در مناطق جنوبی کشور (دزفول، حاجی‌آباد، ناز دشت، جیرفت، کهنوج و داراب) و مناطق غربی کشور (قصرشیرین) در دو مرحله، مرحله اول از اوایل اردیبهشت‌ماه تا اواخر خردادماه و مرحله دوم از اوایل مهرماه تا اواخر آبان‌ماه یا اوایل آذرماه توصیه می‌شوند.

1-6. کوددهی منیزیم برای درختان جوان و غیربارده مرکبات

▪ اگر نتایج تجزیه خاک‌نشان دهد که مقدار منیزیم قابل‌استفاده خاک در دامنه متوسط یا کمتر است، مصرف کودهای منیزیم (مانند سولفات منیزیم، سولفات پتاسیم منیزیم و....) برای درختان جوان غیر بارده، حداکثر معادل با 20 درصد نیتروژن مصرفی توصیه می‌شود. اگر آزمون خاک در سال‌های بعدی نشان داد که مقدار منیزیم قابل‌استفاده خاک در حد کفایت باشد، مصرف کودهای منیزیمی باید کاهش یابد (اسدی کنگرشاهی، 1398).

1-1-6. مصرف منیزیم باتوجه‌به نتایج تجزیه خاک

✓ اگر نتایج تجزیه خاک، میزان منیزیم را زیاد یا خیلی زیاد (بیشتر از 700 میلی‌گرم در کیلوگرم) نشان دهد به مصرف کود منیزیم نیازی نیست.

✓ اگر نتایج تجزیه خاک، مقدار منیزیم قابل‌استفاده را در دامنه مطلوب (بین 600 تا 700 میلی‌گرم در کیلوگرم) نشان داد مصرف خاکی کود منیزیم توصیه نمی‌شود.

✓ اگر نتایج تجزیه خاک، مقدار منیزیم قابل‌استفاده را در دامنه کم (بین 400 تا 600 میلی‌گرم در کیلوگرم) قرار داد کود منیزیم مصرفی به شکل MgO (مجموع مصرف خاکی و محلول‌پاشی) معادل 20 درصد مقدار نیتروژن، توصیه می‌شود.

✓ اگر نتایج تجزیه خاک، منیزیم قابل‌استفاده خاک را در دامنه خیلی کم (کمتر از 400 میلی‌گرم در کیلوگرم) قرار داد کود منیزیم به شکل MgO (مجموع مصرف خاکی و محلول‌پاشی) معادل با 30 درصد مقدار نیتروژن مصرفی، توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397).

✓ اگر نتایج تجزیه خاک، نیاز به مصرف کود منیزیم را برای سال جاری تأیید کرد، تأکید می‌شود برای مصرف منیزیم در سال بعد، مجدداً مقدار منیزیم قابل‌استفاده خاک اندازه‌گیری و نتایج آن مجدداً تفسیر و ارزیابی شود که آیا مصرف کود منیزیم به همان شکل ادامه داده شود، کاهش یابد یا حذف شود. اما در سال سوم رشد، برنامه تجزیه برگ نیز انجام شود و بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ نسبت به مصرف کودهای منیزیمی اقدام شود.

6-1-2. مصرف منیزیم بر اساس سن درختان برای باغ‌های بدون تجزیه خاک:

مقدار منیزیم (MgO) مصرفی و تعداد تقسیط‌ها برای درختان جوان غیر بارده (1 تا 3 سال) مطابق جدول 6-1 توصیه می‌شود.

جدول 6-1. مقدار منیزیم (MgO) توصیه شده و تعداد تقسیط‌ها برای درختان جوان (1 تا 3 سال) غیر بارده (اسدی کنگرشاهی و همکاران، 1397)

سن درختان (سال)	منیزیم (MgO) مصرفی* (گرم به‌ازای هر درخت در سال)	تعداد تقسیط توصیه شده در سال	
		کودآبیاری	پخش سطحی
1	20 - 30	6-8	3-4
2	30- 40	6-8	3-4
3	40- 60	6-8	3-4

*.مقدار فوق برای درختان نارنگی و پرتقال است و برای درختان جوان لایم، لمون، لیموشیرین و گریپ‌فروت که رشد رویشی بیشتری دارند مقدار مصرف می‌تواند حداقل 20 درصد بیشتر توصیه می‌شود (ضریب تبدیل منیزیم: (MgO× 0.60=Mg).

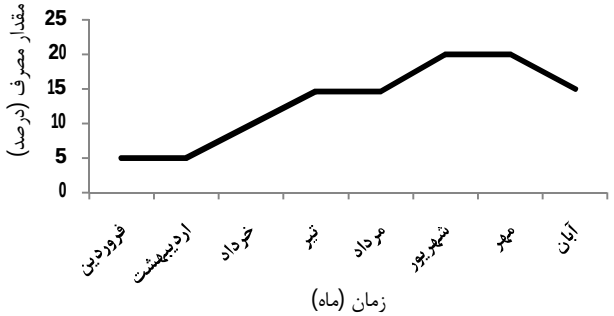
6-2. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده

6-2-1. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده در مناطق شمالی کشور

به‌طورکلی مقدار منیزیم که توسط برداشت میوه (w/w) از باغ خارج می‌شود کمتر از نیتروژن، پتاسیم، فسفر و کلسیم است. خروج منیزیم از خاک توسط میوه مرکبات تقریباً معادل گوگرد است. اما غلظت و جذب آن توسط اندام‌های رویشی درختان مرکبات کمتر از نیتروژن، پتاسیم و کلسیم و بیشتر از فسفر و گوگرد است؛ بنابراین کوددهی منیزیم متناسب با نیاز درختان و فنولوژی رشد، یک عامل بسیار مهم در پایداری باغ‌های مرکبات و تولید میوه در صنعت باغبانی است. در بیشتر خاک‌ها، چرخه منیزیم در طول سال‌های متوالی، بیشتر منیزیم قابل‌استفاده خاک را به لایه سطحی خاک انتقال می‌دهد و منیزیم قابل‌جذب لایه‌های زیرین به مقدار زیادی کاهش می‌یابد؛ بنابراین در بیشتر مناطق، حتی اگر بیشتر از نصف ریشه درختان در لایه زیرین باشد کمتر از 20 درصد منیزیم از آن ناحیه تأمین می‌شود (گرانسی و فوهر، 2013؛ زو و همکاران، 2021).

باتوجه‌به این که راندمان مصرف کودها در درختان جوان، به‌ویژه در اوایل فصل رشد بسیار

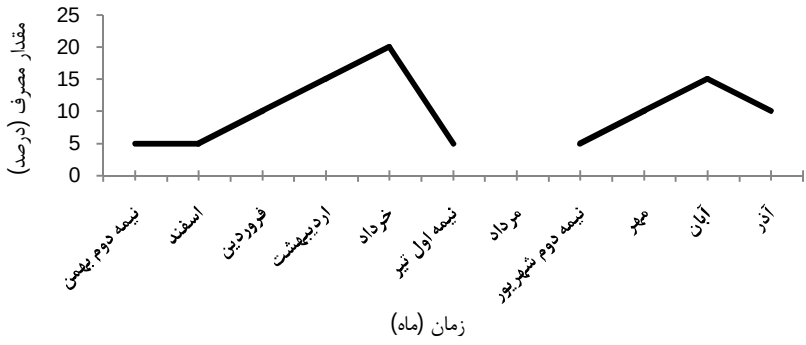
پایین است (به‌ویژه در مناطق شمالی کشور)، از طرف دیگر رشد فلش‌های بهاره (جهش‌های رشدی در بهار)، بیشتر تحت‌تأثیر مواد غذایی ذخیره درختان است و این ذخیره، بیشتر به مدیریت کوددهی اواخر فصل رشد در سال گذشته بستگی دارد؛ بنابراین کوددهی در اوایل فصل رشد در سال جاری، تأثیر چندانی در افزایش مقدار ذخیره و رشد سرشاخه‌های بهاره ندارد؛ لذا توصیه می‌شود که باغداران، کوددهی اوایل فصل را با حداکثر 5 الی 10 درصد نیاز سالانه درختان شروع نمایند و به تدریج، مقدار مصرف (درصدی از نیاز سالانه) را افزایش داده و در اواسط تابستان به حداکثر مقدار مصرف ارتقا دهند. سپس مقدار مصرف کود، به تدریج کاهش داده شود و در اواخر فصل رشد برای بهبود تحمل درختان جوان نسبت به تنش‌های سرمایی، مصرف کودها را به حداقل مقدار کاهش دهند یا کوددهی را متوقف کنند. به طور کلی، این روند مصرف باید به گونه‌ای مدیریت شود که بافت‌های سرشاخه‌های رشدی سوم (فلش‌های پاییزی)، فرصت زمانی کافی برای کامل شدن داشته باشند. براساس کارهای پژوهشی و میدانی نگارندگان به علت نقش کودهای منیزیمی در تحمل به تنش سرمای زمستانه و انتقال کربوهیدرات‌ها به بافت‌های ذخیره درختان جوان، توصیه می‌شود کوددهی منیزیم همانند پتاسیم با 5 درصد نیاز سالانه در اوایل فصل (فروردین ماه) شروع شود و در شهریور و مهر به حداکثر مقدار (20 درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در آبان ماه با مصرف 15 درصد مصرف سالانه، کوددهی متوقف شود (شکل6-1).



شکل 6-1. مدیریت مصرف منیزیم برای درختان جوان غیر بارده در طول فصل رشد در مناطق شمالی کشور (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1397)

2-2-6. مدیریت زمانی مصرف منیزیم برای درختان جوان غیربارده در مناطق جنوبی کشور

باتوجه‌به گرمای شدید تابستان در مناطق جنوب کشور مانند حاجی‌آباد و نازدشت بندرعباس، جیرفت، دزفول و .....، توصیه می‌شود تغذیه درختان مرکبات در دو مرحله (فاز) انجام شود. کوددهی مرحله اول، از اواخر بهمن‌ماه شروع شود و تا اواخر خرداد یا اوایل تیرماه ادامه یابد، سپس به دلیل گرمای شدید هوا، کوددهی متوقف گردد. کوددهی مرحله دوم، از نیمه دوم شهریورماه، آغاز و تا اواخر آذرماه ادامه داده شود. بر اساس کارهای میدانی نگارندگان در بندرعباس (ابراهیم‌آباد و نازدشت) و دزفول و به علت نقش کودهای منیزیمی در تحمل به تنش‌های گرمایی و سرمایی و همچنین انتقال کربوهیدرات‌ها به بافت‌های ذخیره، کوددهی منیزیم همانند پتاسیم با 5 درصد نیاز سالانه در نیمه دوم بهمن‌ماه شروع شود و در اردیبهشت و خردادماه به حداکثر مقدار (به ترتیب 15 و 20 درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در نیمه اول تیرماه، با مصرف 5 درصد نیاز سالانه، مصرف کودهای منیزیمی متوقف شود. سپس در نیمه دوم شهریورماه با مصرف 5 درصد مصرف سالانه، کوددهی منیزیم دوباره آغاز شود و در آبان‌ماه به حداکثر مقدار مصرف (15 درصد نیاز سالانه)، افزایش یابد و در آذرماه نیز کوددهی متوقف شود (شکل6-2).



شکل 2-6. مدیریت مصرف منیزیم برای درختان جوان غیر بارده (1 تا 3 سال) در طول فصل رشد برای مناطق جنوبی و جنوب غربی کشور (جیرفت، بندرعباس، دزفول و قصرشیرین)

فصل هفتم

مدیریت کوددهی منیزیم برای درختان بارده مرکبات

برای درختان بارده اگر نتایج تجزیه خاک‌نشان دهد که مقدار منیزیم خاک، کمتر از دامنه کفایت (متوسط یا کم) است پیشنهاد می‌شود کود منیزیم به مقدار حداکثر 20 درصد نیتروژن توصیه شده، مصرف شود. اما اگر نتایج تجزیه خاک نشان دهد که مقدار منیزیم خاک بیش از حد بحرانی و در دامنه زیاد یا خیلی زیاد قرار دارد ولی غلظت منیزیم در برگ کمتر از حد کفایت باشد، توصیه می‌شود مصرف خاکی منیزیم متوقف شود یا به حداقل برسد و کودهای منیزیمی (مانند نیترات منیزیم، سولفات منیزیم و ....) به روش محلول‌پاشی، به‌ویژه در فاز دوم رشد میوه مصرف شوند.

7-1. مقدار منیزیم توصیه شده برای باغ‌های بارده

7-1-1. تجزیه خاک و برگ ندارد

- عملکرد باغ کمتر از 20 تن در هکتار است
  - ✓ حدود 30 تا 35 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار در طول سال مصرف شود
- عملکرد باغ بیشتر از 20 تن در هکتار است
  - ✓ حدود 30 تا 35 کیلوگرم منیزیم (MgO) به‌عنوان پایه در نظر گرفته شود علاوه بر آن، به ازای هر تن افزایش عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار، حدود یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به آن افزوده شود.

7-1-2. تجزیه خاک و برگ دارد

- عملکرد باغ 20 تن در هکتار و کمتر است (جدول 7-1)
- عملکرد باغ بیشتر از 20 تن در هکتار است (جدول 7-2)

7-1-3. فقط تجزیه برگ دارد

- عملکرد باغ کمتر از 20 تن در هکتار است (جدول7-3)
- عملکرد باغ بیشتر از 20 تن در هکتار است (جدول7-4)

7-1-4. فقط تجزیه خاک دارد

- عملکرد باغ کمتر از 20 تن در هکتار است (جدول7-5)
- عملکرد باغ بیشتر از 20 تن در هکتار است (جدول7-6)

جدول 7-1. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک و برگ با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار

دامنه تجزیه برگ (غلظت منیزیم)	دامنه تجزیه خاک (منیزیم قابل‌استفاده)	مقدار منیزیم (MgO) توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	کمبود	35 کیلوگرم منیزیم در هکتار
	کم	25 کیلوگرم منیزیم در هکتار
	بهینه	15 کیلوگرم منیزیم در هکتار
کم	کمبود	40 کیلوگرم منیزیم در هکتار
	کم	30 کیلوگرم منیزیم)در هکتار
	بهینه	20 کیلوگرم منیزیم در هکتار
کمبود	کمبود	50 کیلوگرم منیزیم در هکتار
	کم	35 کیلوگرم منیزیم در هکتار
	بهینه	25 کیلوگرم منیزیم در هکتار

جدول 7-2. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک و برگ با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار

دامنه تجزیه برگ (غلظت منیزیم)	دامنه تجزیه خاک (منیزیم قابل‌استفاده)	مقدار منیزیم (MgO) توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	کمبود	35 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	کم	25 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	بهینه	15 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کم	کمبود	40 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	کم	30 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	بهینه	20 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کمبود	کمبود	50 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	کم	35 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
	بهینه	25 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار

جدول 7-3. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه برگ با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار

دامنه تجزیه برگ (غلظت منیزیم)	مقدار منیزیم (MgO) توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	15 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار
کم	25 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار
کمبود	35 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار

جدول 7-4. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه برگ با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار

دامنه تجزیه برگ (غلظت منیزیم)	مقدار منیزیم توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	15 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کم	25 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کمبود	35 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار

جدول 7-5. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک با عملکرد 20 تن و کمتر در هکتار

دامنه تجزیه خاک (منیزیم قابل‌استفاده)	مقدار منیزیم توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	15 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار
کم	30 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار
کمبود	40 کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار

جدول 7-6. منیزیم (MgO) توصیه شده برای باغ‌های بارده دارای نتایج تجزیه خاک با عملکرد بیشتر از 20 تن در هکتار

دامنه تجزیه خاک (منیزیم قابل‌استفاده)	مقدار منیزیم توصیه شده (کیلوگرم در هکتار)
کفایت	15 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کم	30 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار
کمبود	40 کیلوگرم + یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به ازای هر تن افزایش عملکرد در هکتار

جدول 7-7. محلول‌پاشی‌های ضروری منیزیم متناسب با فنولوژی درختان برای باغ‌های مرکبات در مناطق شمال و جنوب کشور (اسدی کنگرشاهی، 1397)

مراحل فنولوژی	مدیریت تغذیه (محلول‌پاشی)
شروع رشد سرشاخه‌ها (فلش‌های بهاره)	
گل‌دهی	
از تشکیل میوه تا شروع ریزش فیزیولوژیک (ریزش تابستانه)	
از شروع توسعه تا بلوغ فیزیولوژی میوه	محلول‌پاشی نیترات منیزیم (با غلظت 4 تا 6 در هزار) با اوره (با غلظت 2 تا 3 در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) از اوایل تا اواخر فاز دوم رشد میوه
شروع رنگیری تا برداشت	
پس از برداشت	

7-2. مدیریت زمانی کوددهی منیزیم (کودآبیاری)

7-2-1. مناطق شمالی: در این مناطق، از مقدار منیزیمی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد در طول سال زراعی برای درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود حدود 10 درصد خرداد، 30 درصد تیر، 30 درصد مرداد و 30 درصد شهریور (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند) می‌شود.

7-2-2. مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان): در این مناطق، از مقدار منیزیمی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد در طول سال زراعی برای درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود حدود 10درصد اردیبهشت، 20 درصد خرداد، 20 درصد مرداد، 25 درصد شهریور و 25 درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند) توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی، 1398).

7-2-3. مناطق جنوبی(هرمزگان): در این مناطق، از مقدار منیزیمی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد در طول سال زراعی برای درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود حدود 10 درصد فروردین، 20 درصد اردیبهشت، 20 درصد خرداد و 5 درصد نیمه

اول تیر، 5 درصد نیمه دوم مرداد، 20 درصد شهریور و 20 درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند) توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی، 1398).

فصل هشتم

منابع کودی منیزیم

مصرف خاکی، کودآبیاری و محلول‌پاشی و امکان اختلاط آنها در تانک کود

کودآبیاری، مصرف کودهای محلول با آب آبیاری است که به طور معمول توسط سیستم‌های تحت‌فشار مانند آبیاری قطره‌ای انجام می‌شود. کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم از معمول‌ترین کودهای منیزیمی محلول در آب هستند که می‌توانند توسط سیستم آبیاری برای درختان مرکبات مصرف شوند. کودهای تزریق شده به سیستم آبیاری باید کاملاً محلول باشند و هیچ‌گونه رسوبی ایجاد نکنند. معمولاً برای کودآبیاری از منابع کودی با حلالیت بالا استفاده می‌شود. برخی منابع کودی منیزیم مناسب برای محلول‌پاشی، کودآبیاری و مصرف خاکی (چال کود یا مصرف نواری) با فرمول شیمیایی و حلالیت آن‌ها در آب (کیلوگرم در مترمکعب) در جدول‌های 8-1 تا 8-3 آورده شده است. به‌طورکلی کارشناسان و باغداران توجه داشته باشند که در هنگام مصرف کودهای محلول منیزیمی توسط سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار (آبیاری قطره‌ای) در تانک کود و یا در مخازن سمپاش برای محلول‌پاشی از اختلاط این کودها با کودهایی که ناسازگار یا موجب کاهش حلالیت می‌شوند اجتناب کنند زیراکه امکان رسوب و گرفته‌شدن قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهد و همچنین در محلول‌پاشی موجب کاهش راندمان جذب و در مواردی امکان خسارت به میوه را تشدید می‌کنند؛ بنابراین توصیه می‌شود در هنگام اختلاط کودهای منیزیمی با سایر کودها در تانک کود برای کودآبیاری یا در تانک محلول‌پاشی دقت شود که از کودهایی استفاده شود که امکان اختلاط داشته باشند و به‌اصطلاح، با هم سازگاری داشته باشند. در جدول‌های 8-4 و 8-5، منابع کودی که امکان اختلاط دارند و همچنین اختلاط‌هایی که موجب کاهش حلالیت و یا رسوب می‌شوند نشان‌داده‌شده است.

باغداران می‌توانند از این جدول‌ها به‌عنوان جدول راهنما برای اختلاط کودهای منیزیمی با سایر کودهای شیمیایی برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی استفاده کنند (اسدی کنگرشاهی، 1398).

جدول 8-1. حلالیت منابع کودی منیزیم در آب (اسدی کنگرشاهی، 1398)

کود	فرمول شیمیایی	حلالیت در آب (کیلوگرم در مترمکعب)
سولفات منیزیم	$MgSO_4.7H_2O$	1100
نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	700

جدول 8-2. منابع کودی منیزیم برای محلول‌پاشی و کودآبیاری درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، 1398)

کود	منیزیم (MgO)	منیزیم خالص (Mg)	گوگرد (S)	نیتروژن (N)
	درصد			
سولفات منیزیم	16	9/6	12/6	-
نیترات منیزیم	15/7	9/4	-	10/5

جدول 8-3. منابع کودی منیزیم برای مصرف خاکی (چال کود) درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، 1398)

کود	فرمول شیمیایی	پتاسیم (K2O)	منیزیم (MgO)	گوگرد (S)
			درصد	
سولفات پتاسیم منیزیم	$K_2Mg(SO_4)_2,2H_2O$	22	18	22

جدول 8-4. کودهایی که اختلاط آنها در تانک کود موجب رسوب یا کاهش حلالیت آن‌ها در آب (برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی) می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

اختلاط کودها	رسوب (ناسازگار) یا کاهش حلالیت در آب
سولفات منیزیم با سولفات آمونیوم	کاهش حلالیت
سولفات منیزیم با سولفات پتاسیم	کاهش حلالیت
سولفات منیزیم با سولفات آهن	کاهش حلالیت
سولفات منیزیم با سولفات منگنز	کاهش حلالیت
سولفات منیزیم با سولفات روی	کاهش حلالیت
سولفات منیزیم با سولفات مس	کاهش حلالیت
نیترات منیزیم با نیترات آمونیوم	کاهش حلالیت
نیترات منیزیم با نیترات پتاسیم	کاهش حلالیت

جدول 8-5. سازگاری و امکان اختلاط کودهای منیزیمی با برخی کودها و ترکیبات شیمیایی معمول برای کود آبیاری و محلول‌پاشی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، 1393).

کود	اوره	نیترات آمونیوم	سولفات آمونیوم	نیترات کلسیم	کلرید کلسیم	سولو پتاس	سولفات آهن	سولفات منگنز	سولفات پتاسیم
نیترات منیزیم	√	R	√	R	√	R	√	√	R
کود	سولفات روی	سولفات مس	کلات‌های آهن	کلات‌های منگنز	کلات‌های روی	کلات‌های مس	اسید فسفریک	اسیدسو لفوریک	اسید نیتریک
نیترات منیزیم	√	√	√	√	√	√	√	√	R

√- سازگار (قابل‌اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیرقابل‌اختلاط)

کود	اوره	نیترات آمونیوم	سولفات آمونیوم	نیترات پتاسیم	کلرید پتاسیم	نیترات کلسیم	سولفات آهن	سولفات منگنز	فسفات پتاسیم
سولفات منیزیم	√	√	R	R	R	X	R	R	R
کود	سولفات روی	سولفات مس	کلات‌های آهن	کلات‌های منگنز	کلات‌های روی	کلات‌های مس	اسید فسفریک	اسیدسو لفوریک	اسید نیتریک
سولفات منیزیم	R	R	√	√	√	√	√	R	√

√- سازگار (قابل‌اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیرقابل‌اختلاط)

فصل نهم

روش‌های مصرف کودهای منیزیمی

9-1. استفاده از کودهای خشک

انتخاب روش مصرف کودهای منیزیمی، برای باغدارانی که می‌خواهند راندمان مصرف منیزیم را افزایش دهند و تلفات را کاهش دهند بسیار بااهمیت است. مصرف‌کننده‌های کودهای خشک، باید کودها را در منطقه ریشه قرار دهند و از مصرف آن‌ها در وسط ردیف‌ها پرهیز کنند. برای بهبود امکان پخش و یکنواختی مصرف کودهای منیزیم، توصیه می‌شود حاشیهٔ درختان به‌طور مناسب هرس شود.

9-1-1. چال کود (مزایا و معایب)

روش چال کود، نوع خاصی از جای‌گذاری موضعی کودهای شیمیایی و حیوانی است که بیشتر برای خاک‌های سبک‌وسنگین با آهک بالا توصیه می‌شود. در این روش باتوجه‌به سن درختان، 3 تا 6 چاله در یک‌سوم بیرونی شعاع سایه‌انداز درختان حفر شده و سپس چاله‌ها با مخلوطی از کودهای حیوانی پوسیده و کودهای شیمیایی توصیه شده، پر می‌شوند. عرض چاله‌های حفر شده حدود 50 سانتی‌متر، طول آن‌ها حداقل 60 سانتی‌متر و عمق آنها حدود 50-30 سانتی‌متر (باتوجه‌به عمق پراکنش ریشه درختان) است. نکته مهمی که در اجرای روش چال کود باید به آن توجه شود جلوگیری از ورود خاک به داخل چاله‌ها است. زیرا این مسئله باعث کاهش کارایی روش چال کود می‌شود. چال کودها در سیستم آبیاری قطره‌ای در زیر قطره‌چکان‌ها و در سیستم آبیاری سطحی، در مسیر حرکت آب، حفر می‌گردند و هرسال می‌توان کودهای شیمیایی مورد نیاز را به سطح چاله‌ها افزود و نشست سطح چال کودها را با مواد آلی، جایگزین کرد. اما پس از گذشت چند سال، به دلیل افزایش قطر تاج و

سایه‌انداز درختان، چال کودهای جدید باید حفر شود که در درازمدت می‌تواند باعث اصلاح موضعی خاک منطقه ریشه شود.

مصرف سولفات پتاسیم منیزیم برای باغ‌های بدون سیستم آبیاری تحت‌فشار و بدون تانک کود به‌صورت چال کود در اوایل فصل رشد توصیه می‌شود. در مقابل، از مصرف کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم به شکل چال کود برای درختان میوه اجتناب شود. به‌طورکلی به علت بارندگی‌های زیاد در اواخر اسفندماه و اوایل بهار و از طرف دیگر به علت فعالیت پایین ریشه‌ها در اوایل فصل رشد، راندمان مصرف کودهای منیزیمی و جذب آن‌ها توسط ریشه، در این زمان در حداقل است؛ بنابراین مصرف کودهای منیزیمی با حلالیت بالا مانند سولفات منیزیم و نیترات منیزیم در اواخر زمستان و اوایل بهار، اغلب موجب هدررفت سرمایه باغداران و کاهش درآمد و سود اقتصاد باغدار می‌شود. مصرف این کودهای با حلالیت زیاد و همچنین مصرف آن‌ها به مقدار زیاد و به شکل توده‌ای و انباشته در داخل چال کود، شستشوی آنها را از تشدید می‌کند. همچنین مصرف کودهای محلول مانند اوره، سولفات آمونیوم، سولفات منیزیم یا نیترات منیزیم و... در منطقه ریشه (کود پایه) به‌صورت چال کود همراه با کودهای حیوانی و آلی دیگر با شوری زیاد، می‌تواند موجب افزایش شوری منطقه ریشه درختان شود و اگر این افزایش شوری منطقه ریشه، با افزایش دمای محیط و افزایش فعالیت درختان همراه باشد موجب تشدید ریزش برگ، خشکیدگی سرشاخه‌ها و علائم زوال درختان متناسب با شدت تنش شوری خواهد شد. در بیشتر باغ‌های با آهک زیاد و بافت خاک سنگین، خاک‌های با وزن مخصوص ظاهری بالا (که موجب تهویه نامناسب منطقه ریشه، کاهش رشد ریشه و هم‌زمان کاهش جذب منیزیم می‌شود) ناهنجاری کمبود منیزیم برای اکثر ارقام مرکبات شایع است؛ لذا برای رفع این مشکل، مصرف برخی کودهای منیزیمی با حلالیت کم یا نامحلول (سولفات پتاسیم منیزیم) در اوایل فصل رشد برای درختان مرکبات به شکل چال کود توصیه می‌شود. ابتدا حدود شش چاله در اطراف درختان بارده (در آبچک درختان) حفر و سپس کودهای توصیه شده (که بر اساس آزمون برگ و عملکرد سالانه تعیین می‌شوند) با کود حیوانی کاملاً پوسیده، مخلوط و در داخل چاله‌ها قرار داده شوند. چاله‌ها، تا سطح خاک با مخلوط کود حیوانی و کودهای شیمیایی مورد نظر پر شده و از ریختن خاک در چاله‌ها و یا روی چال کودها خودداری شود. همچنین توصیه

می‌شود سال بعد، در صورت اقدام به حفر چال کودهای جدید، محل چاله‌های اطراف درخت، تغییر داده شود به‌طوری‌که بعد از چند سال، نواری از چال کود همراه با کود حیوانی غنی شده با کودهای شیمیایی، در اطراف درخت ایجاد گردد که می‌تواند در بهبود وضعیت تغذیه‌ای و افزایش عملکرد و کیفیت مرکبات منطقه مؤثر باشد. البته اگر امکان کودآبیاری برای درختان فراهم باشد از مصرف کودهای منیزیمی به شکل چال کود اجتناب شود و کودهای سولفات یا نیترات منیزیم در تقسیط‌های متوالی متناسب با فنولوژی و فیزیولوژی رشد میوه درختان به شکل کودآبیاری مصرف شوند.

9-1-2. کودآبیاری

کودآبیاری، استفاده از کودهای محلول با آب آبیاری است. بیشتر باغدارانی که سیستم آبیاری تحت‌فشار (قطره‌ای و...) دارند می‌توانند از این سیستم برای کوددهی استفاده کنند. به‌طورکلی، کودآبیاری، تزریق کودها را متناسب با فنولوژی رشد درختان و همچنین نیاز میوه‌ها امکان‌پذیر می‌کند. در هنگام کودآبیاری، مدت‌زمان آبیاری باید تاحدامکان، کوتاه باشد و فاصله زمانی آن با آبیاری بعدی نیز نسبت به حالت معمول کوتاه‌تر شود. اگر کاهش مدت‌زمان آبیاری در هنگام کودآبیاری، امکان‌پذیر نباشد تزریق، باید نزدیک انتهای زمان آبیاری صورت گیرد. تزریق‌های زودتر، می‌توانند بیشتر کودها را به پایین‌تر از منطقه ریشه یا پروفیل خاک انتقال دهند. پس از تزریق نیز، برای خروج باقی‌مانده محلول کودها از لوله‌ها، باید سیستم، به‌اندازه کافی شستشو داده شود. با کودآبیاری به علت کارایی بیشتر مصرف کود توسط سیستم آبیاری، می‌توان مقدار کودهای مصرفی را نسبت به روش چال کود، نواری پخش سطحی کاهش داد. در اوایل فصل سال و مواقعی که میزان بارندگی زیاد و خاک اشباع از آب است مصرف کودها به شکل کودآبیاری تقریباً غیرمؤثر است؛ زیرا بخش زیادی از منیزیم همراه با آب آبیاری از منطقه ریشه خارج می‌شوند. همچنین به علت غلظت پایین اکسیژن منطقه ریشه، راندمان جذب توسط ریشه‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد. مصرف کودها با آب آبیاری، غلظت کل نمک‌های محلول (TDS) آب آبیاری را افزایش می‌دهد و اگر کودآبیاری با آبی با غلظت زیاد نمک‌های محلول انجام شود ممکن است موجب صدمه به درختان شود. به‌طورکلی مصرف آب‌های با غلظت نمک‌های محلول بیشتر از 1000

میلی‌گرم در لیتر، اگر مدیریت آبیاری مناسب انجام نشود ممکن است موجب صدمه به برگ‌های درختان در فصل گرم سال شوند.

کودآبیاری، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین روش مصرف کودهای شیمیایی محلول در آب است. مصرف کودهای دارای آمونیاک (NH_3) آزاد (مانند اوره، سولفات آمونیوم و نیترات آمونیوم)، هم‌زمان با مصرف کودهای منیزیمی در سیستم آبیاری تحت‌فشار ممکن است موجب رسوب مگنیزیت[1] ($MgCO_3$) در لوله‌های سیستم آبیاری شده و ممکن است در مواردی موجب مسدودشدن آنها و گرفتگی قطره‌چکان‌ها شود که می‌توان با افزودن اسید، آن را رفع کرد. واکنش‌های رسوب کلسیت و مگنیزیت با هم مشابه است. واکنش‌های آن به ترتیب در ادامه آورده شده است:

$$H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3$$
$$HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H^+$$
$$Mg^{2+} or\ Ca^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow MgCO_3 or\ CaCO_3 \downarrow$$
$$Mg^{2+} or\ Ca^{2+} + 2HCO_3^- \leftrightarrow MgCO_3 or\ CaCO_3 \downarrow + H_2CO_3 \qquad \text{معادله 1}$$
$$H_2CO_3 \leftrightarrow H_2O + CO_2$$

رسوب کلسیت یا مگنیزیت، با افزایش غلظت یون کلسیم (Ca^{2+}) یا غلظت یون منیزیم (Mg^{2+}) و با کاهش فشار جزئی دی‌اکسیدکربن افزایش می‌یابد. با مصرف اسیدها (مانند اسید فسفریک) در آب‌های آبیاری قلیایی و آب‌های با سختی زیاد، اسید تقریباً به طور کامل یونیزه می‌شود و یون هیدروژن با بی‌کربنات (HCO_3^-) و کربنات (CO_3^{2-}) واکنش داده و اسیدکربنیک (H_2CO_3) تشکیل خواهد شد؛ بنابراین کاهش غلظت بی‌کربنات و کربنات و افزایش تشکیل اسیدکربنیک موجب کاهش شدید رسوب کلسیت خواهد شد. مقدار اسید مصرفی مورد نیاز برای جلوگیری از رسوب کلسیت به کیفیت آب آبیاری، فشار جزئی دی‌اکسیدکربن و درجه‌حرارت بستگی دارد.

[1] - Magnesite

اگر کودهای نیتروژنی که دارای آمونیاک آزاد هستند در آب‌های آبیاری با pH قلیایی و با سختی زیاد مصرف شوند، pH آب افزایش‌یافته و رسوب کلسیت را نیز به طور مؤثری افزایش خواهد داد.

$$NH_4OH \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$$ معادله 2

$$OH^- + HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^- + H_2O$$ معادله 3

$$Mg^{2+} or\ Ca^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow MgCO_3 or\ CaCO_3$$

$$Mg^{2+} or\ Ca^{2+} + HCO_3^- + NH_4OH \leftrightarrow MgCO_3 or\ CaCO_3 \downarrow + H_2O + NH_4^+$$ معادله 4

معادله‌های 1 و 4 نشان می‌دهند که یک مول بی‌کربنات برای رسوب یک مول کلسیم یا منیزیم از آب‌های آبیاری دارای یون آمونیوم، مورد نیاز است. در مقابل، دو مول بی‌کربنات در آب‌های غیر آمونیاکی برای رسوب یک مول کلسیم یا منیزیم نیاز است؛ بنابراین امکان رسوب کربنات کلسیم یا کربنات منیزیم در آب‌های آمونیاکی شده، بسیار بیشتر است. یون‌های هیدروکسیل تولید شده توسط واکنش هیدرولیز هیدروکسید آمونیوم در آب‌های آمونیاکی، می‌توانند با مصرف اسید خنثی شوند (معادله 2). این کاهش در غلظت یون هیدروکسیل (OH^-)، موجب کاهش تبدیل بی‌کربنات به کربنات می‌شود (معادله 3) بنابراین، رسوب کلسیت یا منیزیت کاهش می‌یابد. مقدار اسید مورد نیاز برای جلوگیری از رسوب کلسیت یا منیزیت در آب‌های آمونیاکی شده تقریباً معادل با مقدار اسید مورد نیاز برای خنثی کردن آمونیاک به علاوه مقدار مورد نیاز برای جلوگیری از رسوب در آب‌های غیرآمونیاکی است. اگر مقدار اسید مصرفی بیش از مقدار مورد نیاز برای جلوگیری از رسوب باشد، کربنات‌ها حل خواهند شد (معادله 5). با حل شدن کلسیت یا منیزیت موجود در آب آبیاری و کاهش شدید pH آن، خطر فرسودگی سیستم آبیاری تشدید می‌شود.

$$2H^+ + MgCO_3 or\ CaCO_3 \leftrightarrow Mg^{2+} or\ Ca^{2+} + H_2CO_3$$ معادله 5

9-1-2-1. برخی مزایای کودآبیاری

- کود در منطقه خیس شده قرار می‌گیرد مکانی که بیشترین ریشه‌های فعال وجود دارد.
- کود با فراوانی بیشتر در مقادیر کم‌تر مصرف می‌شود به‌طوری که متناسب با نیاز درختان می‌تواند در دسترس قرار گیرد.
- افزایش فراوانی مصرف کود (تقسیط بیشتر)، راندمان مصرف کودها را افزایش می‌دهد و مقدار شستشو را کاهش می‌دهد.
- در مقایسه با روش مصرف معمولی، کودآبیاری موجب رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه بیشتر با مصرف کود کمتر می‌شود.
- هزینه مصرف کود در روش کودآبیاری بسیار کمتر از مصرف خاکی و محلول‌پاشی برگی است؛ زیرا کوددهی، همراه با برنامه آبیاری باغ انجام می‌شود.

9-1-2-2. برخی معایب کودآبیاری

- یکنواختی مصرف کود و پوشش آن، به طراحی مناسب، نصب و نگهداری سیستم آبیاری بستگی دارد.
- تجهیزات و وسایل اضافی (دستگاه تزریق، تانک کود، جلوگیری از سیستم برگشتی) باید به سیستم آبیاری اضافه شود.
- کودهای محلول، گران‌تر از کودهای گرانوله بر اساس وزن معادل عنصر غذایی هستند.
- کودهای تزریق شده در سیستم آبیاری ممکن است موجب گرفتگی قطره‌چکان‌ها (دریپرها) شوند.
- در کودآبیاری، امکان تغییر طرح کوددهی بر اساس سن و اندازه درخت وجود ندارد.

9-1-2-3. نکاتی که باغداران در هنگام کودآبیاری باید رعایت کنند

برای کودآبیاری مؤثر درختان مرکبات، باغداران باید سیستم آبیاری را برای حفظ یکنواختی مصرف کود و آب به‌طور مرتب کنترل و تعمیر نمایند. علاوه بر این، باغداران باید موارد زیر را تعیین کنند:

- مناسب‌ترین فرمولاسیون کود برای تزریق به سیستم.
- مناسب‌ترین آنالیز کودی متناسب با سن درختان و همچنین متناسب با فنولوژی رشد درختان و رشد میوه در سال‌های مختلف.
- مقدار کود مصرفی در طول یک دور آبیاری.
- زمان و فراوانی مصرف کودآبیاری در طول یک فصل رشد.

مدیریت مناسب مصرف عناصر غذایی در سیستم آبیاری به‌طور معنی‌داری، راندمان مصرف کودها را با حفظ یا بهبود عملکرد و کیفیت میوه افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، کودآبیاری با مدیریت ضعیف ممکن است موجب کاهش عملکرد شود. به‌خاطر داشته باشید اگر کودآبیاری در یک خاک خیلی خیس انجام شود هدررفت کود و آب بسیار افزایش می‌یابد؛ زیرا جذب آب و عناصر غذایی در یک خاک اشباع به‌شدت کاهش می‌یابد.

محلول‌های غذایی برای کودآبیاری به شکل‌ها و غلظت‌های مختلف در دسترس هستند. فرمولاسیون کودی معمولاً شامل دو عنصر غذایی یا بیشتر می‌باشد. حلالیت فرمولاسیون‌های مختلف به‌طور قابل‌توجهی متفاوت است. برای فراهم نمودن محلول‌های غلیظ غذایی کودآبیاری، خصوصاً اگر از کودهای خشک استفاده شود حلالیت کودها در آب، یک عامل محدودکننده خواهد بود. تهیه محلول‌های غلیظ عناصر غذایی از کودهای خشک در باغ، نیاز به زمان و تلاش قابل‌ملاحظه‌ای دارد و در برخی موارد، می‌تواند موجب تشکیل رسوب شود؛ بنابراین، محلول‌های کودی مایع و آماده تجاری ترجیح داده می‌شوند.

محلول‌های کودی مایع و آماده برای کودآبیاری مناسب هستند؛ زیرا آن‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم متناسب با نرخ متغیر پمپ تزریق، به سیستم آبیاری تزریق شوند؛ بنابراین، به علت نیاز به عملیات آماده‌سازی کمتر، تلفات کمتری نسبت به کودهای خشک (مخلوط‌کردن آنها) دارند. اگرچه هزینه حمل‌ونقل کودهای مایع، بیشتر است؛ اما در زمان و نیروی کارگری صرفه‌جویی می‌شود همچنین از مشکلات همراه با محلول‌های کودی دست‌ساز، جلوگیری خواهد شد. استفاده از کودهای مایع، همچنین مشکلات ناشی از وجود مواد نامحلول در برخی کودهای خشک را ندارد. هنگام تزریق کودهای دارای فسفر و گوگرد به سیستم آبیاری قطره‌ای، باید مراقب بود؛ زیرا این عناصر ممکن است با کلسیم و منیزیم محلول در آب آبیاری واکنش داده و تشکیل ترکیبات نامحلول (رسوب) دهند. این رسوبات

نامحلول می‌توانند موجب گرفتگی لوله‌های آبیاری و قطره‌چکان‌ها شوند. در مقابل، اسید فسفریک می‌تواند بدون هیچ مشکلی به بیشتر آب‌های آبیاری تزریق شود؛ زیرا اسید فسفریک، موجب اسیدی شدن محلول و مانع از رسوب و گرفتگی لوله‌ها می‌شود. به‌طورکلی، بیشتر کودهای نیتروژنی به غیر از فسفات آمونیوم، دارای پتانسیل ایجاد رسوب و گرفتگی در سیستم آبیاری هستند. کودهایی که موجب افزایش pH آب آبیاری می‌شوند، می‌توانند موجب رسوب کلسیم و منیزیم در سیستم شوند. کودهای تزریق شده به سیستم آبیاری باید بتوانند در کل زمانی که سیستم آبیاری روشن است به شکل محلول باقی بمانند. برای اجتناب از گرفتگی لوله و قطره‌چکان‌ها، یک سیستم آبیاری طراحی شده باید شامل موارد زیر باشد:

- روش مناسب برای صاف‌کردن (فیلترینگ) آب آبیاری.
- یک وسیله مناسب برای تزریق مواد شیمیایی به آب آبیاری (پمپ تزریق).
- تجهیزات لازم برای آب‌شویی (فلاش کردن) سیستم آبیاری.
- در برخی موارد، یک حوضچه سکون[1] می‌تواند موجب هوادهی بیشتر و حذف بیشتر مواد جامد شود.

بیشتر کودهای شیمیایی، بسیار خورنده هستند و اگر با پوست بدن تماس داشته باشند ممکن است برای سلامتی، مضر باشند؛ بنابراین هنگام کوددهی، باید اقدامات احتیاطی زیر انجام شود:

- پوشیدن لباس‌های محافظ مناسب و پوشش‌های چشمی، هنگام اختلاط و آماده نمودن کودها.
- همه اجزای سیستم آبیاری از جمله پمپ‌ها، دستگاه تزریق، لوله‌ها، فیلترها و تانک‌ها قبل از شروع آبیاری بازرسی شوند.
- ایجاد یک برنامه معمول پایش کودآبیاری در باغ که بر مدت‌زمان آبیاری تأکید می‌کند.
- میزان تزریق واسنجی شود و برای اطمینان از عملکرد مناسب، سیستم به طور مرتب کنترل شود.

[1]- Setting basin

- جلوگیری از نشت، روان آب سطحی، مصرف زیادی و مصرف در مناطقی با سطح آب زیر زمینی بالا.
- فلاش نمودن (آب‌شویی) تمام اجزای سیستم آبیاری با آب تمیز پس از هر آبیاری.
- نمک‌های موجود در آب آبیاری (کود) می‌توانند موجب سوختگی برگ‌ها شوند حتی اگر از آب با شوری نسبتاً پایین استفاده شود. هنگام تزریق کودها، هدایت الکتریکی (EC) مخلوط آب آبیاری و کودها کنترل شود و تلاش شود که زیر 1/5 دسی‌زیمنس بر متر (میلی موس بر سانتی‌متر) نگهداری شود که معادل با 1000 میلی‌گرم بر لیتر مواد جامد محلول (TDS) است. توصیه می‌شود باغداران از تزریق مقدار کمتر کود با فراوانی بیشتر (به‌جای مقدار بیشتر با فراوانی کمتر) استفاده کنند.

همچنین ضروری است دستگاه‌های جلوگیری از جریان برگشتی در سیستم آبیاری (برای حفظ کود و جلوگیری از آلودگی منبع آب آبیاری) نصب شوند. این وسایل باید متناسب باکیفیت آب آبیاری و دستگاه تزریق سیستم آبیاری باشند. دستگاه تزریق انتخاب شده باید در برابر خورندگی مقاوم باشد (مانند شیلنگ‌های با پوشش اتیل ونیل استات[1] (EVA)، اتصالات نایلونی یا پلی‌پروپیلنی[2]، تانک‌های پلی‌پروپیلنی یا فایبرگلاسی). دستگاه تزریق باید یک دریچه[3] کنترل به‌علاوه یک صافی برای جلوگیری از ورود ذرات نامحلول به سیستم داشته باشد. تزریق کود باید قبل از فیلتر باشد به طوری‌که، هر گونه آلودگی یا ذراتی توسط فیلتر گرفته شود. تزریق کود در هنگام شستشوی معکوس فیلتر[4] باید متوقف شود. اگر سیستم، دارای یک فیلتر است که قسمتی از آب مصرفی به‌طور مداوم برای شستشوی معکوس[5] استفاده می‌شود کود باید پس از فیلتر تزریق شود. تزریق مواد خیلی اسیدی یا مواد با خورندگی بالا، باید بعد از فیلترها انجام شود.

نرخ و زمان کودآبیاری برای هر منطقه، باید واسنجی شود. شروع تزریق کود به سیستم باید حداقل، معادل زمان حرکت آب آبیاری از نقطه تزریق تا دورترین قطره‌چکان تأخیر داشته باشد (وقتی که سیستم آبیاری روشن بوده و فشار و سرعت جریان، طبیعی است).

[1] - Ethylene-vinyl acetate
[2] -Poly propylene
[3] - Valve
[4] - Filter back washing
[5] - Back wash

هنگام تزریق کود به آب آبیاری، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد؛ بنابراین حرکت کود در سیستم آبیاری با پایش تغییر قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری با یک هدایت سنج پرتابل (دستی)، قابل اندازه‌گیری است. فاصله زمانی از شروع تزریق تا افزایش ناگهانی قابلیت هدایت الکتریکی در دورترین دریپر (قطره‌چکان) از نقطه تزریق، نشان‌دهنده زمان انتقال کود در سیستم است. برای بیشتر سیستم‌ها، این زمان بین 20 تا 30 دقیقه است. زمان فلاش کردن (شستشو)، برای شستشوی مناسب سیستم آبیاری باید بیش از زمان انتقال کود در سیستم باشد به طوری که هیچ عنصر غذایی در لوله‌ها باقی نماند، در غیر این‌صورت، رشد میکروب‌ها افزایش خواهد یافت. یک روش دیگر برای تعیین زمان انتقال، تزریق صابون مایع به سیستم است. زمانی که طول می‌کشد تا حباب‌ها در آخرین قطره‌چکان‌ها (دریپرها) مشاهده شوند میانگین زمان انتقال است. حداکثر زمان تزریق، به نوع خاک و نیاز آبی درختان بستگی دارد. زمان فلاش کردن (شستشو) برای کاهش یا جلوگیری از حرکت کودهای شیمیایی به زیر منطقه ریشه نباید خیلی زیاد باشد (به‌ویژه آن‌هایی که به‌تازگی مصرف شده‌اند). مقدار تزریق کود را می‌توان با یک جریان‌سنج شیمیایی[1] یا به‌طور حجمی[2] اندازه‌گیری کرد. اگر یک جریان‌سنج شیمیایی روی یک سیستم تزریق‌کننده (در سمتی با فشار بیشتر) نصب شود جریان‌سنج باید فشار استفاده شده را برآورد یا سنجش کند. سنجش‌های حجمی با تعیین زمان مورد نیاز برای تزریق مقدار مشخصی از کود در شرایط طبیعی سیستم، امکان‌پذیر است.

9-1-2-4. محاسبه حجم کود تزریقی به سیستم آبیاری

برای همه روش‌های کودآبیاری، مقدار کود تزریقی را می‌توان بر اساس معادله زیر، محاسبه کرد:

$$M\ (kg) = S \times N \times (d/1000) \times F$$

M: مقدار کودی که باید به تانک کود وارد کرد (بر حسب کیلوگرم)

S: مساحت باغ بر حسب هکتار (که در نوبت کودآبیاری می‌شود)

[1] - Chemical flow meter
[2] - Volumetrically

N: تعداد درختان در هکتار

d: مقدار کودی که باید برای هر درخت در هر نوبت کودآبیاری مصرف شود (گرم).

F: درصد منیزیم (MgO) در کود مورد نظر (برای مثال 16 درصد منیزیم (MgO) برای سولفات یا نیترات منیزیم)، درصد عنصر غذایی مواد کودی در روی کیسه کود نوشته شده است.

مثال:

- اگر مساحت باغ یک هکتار باشد و درختان کاملاً بارده باشند
- تعداد درختان حدود 500 اصله در هکتار باشد
- اگر مقدار مصرف منیزیم (MgO) برای هر درخت در سال 100 گرم باشد که حدود 70 کیلوگرم در هکتار در سال باشد.
- کود در 5 تقسیط مساوی مصرف شود.
- کود مورد نظر سولفات منیزیم باشد که حدود 16 درصد منیزیم (MgO) دارد.

محاسبات:

بنابراین، اگر مقدار مصرف سالانه منیزیم برای باغی، 70 کیلوگرم در هکتار و مساحت باغ یک هکتار باشد. کود در 5 تقسیط مساوی به شکل کودآبیاری مصرف شود مقدار مصرف منیزیم در هر کودآبیاری، 28 کیلوگرم در هکتار است. مقدار کود سولفات منیزیمی تزریقی در هر مرحله کودآبیاری به سیستم از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$M = 1\ ha \times 500 tree / ha \times (20\ g\ Mg/\ tree / 1000) \times (100/16) = 60\ kg$$

بنابراین، در هر نوبت کوددهی حدود 60 کیلوگرم سولفات منیزیم باید مصرف شود.

در برخی موارد، ممکن است نیاز باشد مقدار تزریق، متناسب با ظرفیت سیستم و تجهیزات، تصحیح شود. اگر مصرف 92 کیلوگرم اوره در هر مرحله کوددهی بیشتر از ظرفیت سیستم باشد باغدار می‌تواند فراوانی کودآبیاری را افزایش دهد. در برخی باغ‌های بالغ که با سیستم‌های آبیاری میکروجت[1] آبیاری می‌شوند مصرف آب معمولاً بین 0/25 تا

[1]- Micro-sprinkler

0/40 سانتی‌متر در ساعت است. سیکل کودآبیاری و فلاش کردن[1] باید در 2 تا 3 ساعت کامل شود. فواصل تزریق اگر خیلی کوتاه باشد موجب می‌شود که درختان در معرض سطوح بالای شوری قرار گیرند و سوختگی نمک در برگ‌ها و میوه‌های پایین‌تر تاج درختان دیده شود که ناشی از تماس آب آبیاری با آن‌ها می‌باشد. در مقابل، اگر زمان تزریق خیلی طولانی باشد و ظرفیت نگهداری آب در خاک منطقه ریشه، قبل از اتمام زمان آبیاری کامل شود، شستشوی کود افزایش و راندمان مصرف کاهش می‌یابد؛ بنابراین وقتی درختان جوان با سیستم آبیاری میکروجت با ارتفاع پاشش کوتاه (محدوده‌ی آب‌پاشی آن‌ها دایره‌ای به قطر 100 تا 130 سانتی‌متر باشد) آبیاری شوند باغداران، باید توجه ویژه‌ای به زمان تزریق کود داشته باشند. افزایش مقدار آب آبیاری می‌تواند منجر به آبیاری بیش از حد و شستشوی عناصر غذایی شود. برای مثال، یک آب‌پاش با نرخ آب‌دهی 100 لیتر در ساعت و قطر خیس‌کنندگی 130 سانتی‌متر، نرخ مصرف موثری حدود 0/5 سانتی‌متر در ساعت دارد. این مقدار ممکن است موجب شستشو شود، حتی اگر سیکل کودآبیاری و فلاش کردن سیستم (شستشو) فقط در طول یک‌ساعت کامل شود؛ بنابراین برای به حداقل رساندن شستشو، وقتی اندام‌های زیرین درختان تحت تأثیر آب‌پاش‌ها هستند آبیاری پس از تزریق، باید به حداقل برسد.

همان‌طور که درختان بالغ می‌شوند و سیستم ریشه آنها در حجم بیشتری از خاک گسترش می‌یابد باید ناحیه خیس شده در کودآبیاری افزایش یابد. ناحیه خیس شده برای یک درخت بالغ باید بیشتر ناحیه زیر تاج درخت یا حداقل 50 درصد از کل مساحت زمین را پوشش دهد. سیستم آبیاری که کمتر از 30 درصد کل سطح زمین را پوشش دهد ممکن است قادر به تأمین کافی عناصر غذایی برای منطقه ریشه نباشد، همچنین ممکن است سبب شستشوی عناصر غذایی شود. اطلاع از میزان دبی آب در سیستم آبیاری و میزان آب خاک قبل از آبیاری برای مدیریت کودآبیاری بسیار مهم است. استفاده از سنسورهای رطوبت خاک بسیار مفید است و به‌ویژه آن‌هایی که میزان آب خاک را در اعماق مختلف اندازه‌گیری می‌کنند.

[1]- Flush cycles

2-9. استفاده از کودهای سوسپانسیون

کودهای سوسپانسیون معمولاً با بوم‌های[1] استاندارد (که برای علف‌کش‌ها استفاده می‌شوند) مصرف می‌شوند که کودها را به‌طور مستقیم بر روی منطقه ریشه قرار می‌دهند (شکل 15-2). معمولاً نازل‌های استفاده شده برای مصرف کودهای سوسپانسیون، بزرگ‌تر از آنهایی هستند که برای مصرف علف‌کش‌ها استفاده می‌شوند (برای مثال نازل‌های flooding یا flood-jet). به‌هم زدن پیوسته کود در تانک، توسط چرخش مکانیکی یا air spraying برای اطمینان از یکنواختی مصرف، بسیار مهم است. تجهیزات متصل به بوم باید از لوله‌ها و نازل‌هایی باشند که جنس آنها از مواد مقاوم به نمک؛ مانند فولاد ضدزنگ باشد. مصرف کود با یک بوم، امکان و فرصت لازم برای مصرف هم‌زمان دیگر مواد شیمیایی کشاورزی مانند علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها را فراهم می‌سازد. نمک کود مایع می‌تواند تأثیر علف‌کش‌ها را، با سوزاندن علف هرز موجود، کامل کند. بااین‌حال، باغدار باید مواظب باشد که از مخلوط‌کردن مواد ناسازگار با هم اجتناب کند.

3-9. استفاده از کودهای محلول‌پاشی

تغذیه برگی درختان مرکبات به دلایل اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار معمول است. در شرایط خاص، تغذیه برگی، راندمان جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد؛ زیرا عناصر غذایی، به طور مستقیم توسط برگ‌ها جذب می‌شوند. محلول‌پاشی برگی می‌تواند عناصر غذایی خاص را برای درختان در مراحل بحرانی رشد (مانند زمان گل‌دهی، تشکیل میوه و غیره) فراهم کند.

یک برنامه تغذیه برگی که به‌خوبی مدیریت شده باشد، می‌تواند مکمل مصرف کودها در خاک باشد به‌ویژه وقتی که سیستم ریشه، قادر به جذب عناصر غذایی، متناسب با تقاضای محصول نباشد یا وقتی که عناصر غذایی خاک غیرقابل‌دسترس باشند و یا فراهمی کافی را برای رشد درختان نداشته باشند؛ بنابراین در بیشتر موارد، می‌توان بخشی از نیاز تغذیه‌ای درختان را با محلول‌پاشی برگی تأمین کرد.

[1] - Boom

محلول‌پاشی برگی نمی‌تواند جایگزین مصرف خاکی کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای درختان مرکبات شود. با این‌حال، برخی عناصر غذایی پرمصرف (ماکرو) می‌توانند به مقدار کافی برای محلول‌پاشی برگی مصرف شوند؛ زیرا بر رشد درختان جوان، عملکرد و کیفیت میوه تأثیر زیادی دارند. محلول‌پاشی برگی، روشی مناسب برای تأمین نیاز عناصر غذایی ثانویه و کم‌مصرف (میکرو) مانند کلسیم، منیزیم، روی، منگنز، مس، بور و مولیبدن است. محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف (میکرو) در کوتاه‌مدت، بسیار مؤثرتر از مصرف خاکی این عناصر است (به‌استثنای آهن). محلول‌پاشی برگی، سریع‌تر توسط درختان جذب می‌شود؛ اما اثرش فقط تا زمانی باقی می‌ماند که آن جهش رشدی کامل شود.

محلول‌پاشی برگی می‌تواند با برنامه تغذیه‌ای سالانه تلفیق شود و در دوره‌های کوتاه، اما بحرانی و مهم از نظر مدیریت تغذیه‌ای درختان (مانند تمایز جوانه‌های گل، گل‌دهی، تشکیل میوه و توسعه میوه)، برای کمک به درختان مرکبات استفاده شود. همچنین، وقتی که شرایط خاک یا وضعیت زیست‌محیطی برای جذب ریشه‌ای درختان نامناسب باشد و درختان به این عناصر غذایی، نیاز ضروری و فوری داشته باشند، محلول‌پاشی برگی می‌تواند بسیار مفید و مؤثر باشد (مانند آب‌وهوای سرد، خیس بودن طولانی‌مدت خاک، خشکی خاک، خاک‌های آهکی یا هر شرایطی که توانایی درختان را برای جذب عناصر غذایی کاهش دهد). محلول‌پاشی برگی، به‌ویژه وقتی مفید است که کمبود عناصر غذایی، ظاهر شده و بهبود آن در مدت‌زمان کوتاهی برای جلوگیری از خسارت نیاز باشد. زیرا محلول‌پاشی، سریع‌ترین روش برای رفع این کمبودها در درختان مرکبات است. کودهای برگی بهتر است با سم‌پاش‌های با جریان شدید هوا[1] برای درختان مرکبات استفاده شوند (شکل 9-1). به‌طور معمول، 1000 تا 3000 لیتر آب در هکتار متناسب با سن درختان مصرف می‌شود. هدف از به‌کارگیری سم‌پاش‌های با جریان شدید هوا، جایگزین‌کردن هوای ساکن داخل تاج درختان، با هوای مملو از محلول عناصر غذایی است. سرعت حرکت سم‌پاش برای ایجاد جنبش کافی در هوا و فراهم نمودن امکان نفوذ هوای مملو از محلول‌پاششی به داخل تاج درختان، باید به‌اندازه کافی آهسته باشد. با این‌حال، برخلاف مصرف قارچ‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، در محلول‌پاشی عناصر غذایی، پوشش زیاد و یکنواخت

[1]- Airblast

محلول‌پاششی برای میوه‌ها لازم نیست. در بسیاری از موارد، محلول‌پاشی عناصر غذایی می‌تواند منحصراً از بالای بستر (تاج درختان) در دو ردیف کنار هم در باغ‌های مسطح و یکی در میان از وسط ردیف‌ها در باغ‌هایی که روی پشته کاشته شده‌اند انجام شود.

شکل 9-1. محلول‌پاشی عناصر غذایی با سم‌پاش‌های با جریان شدید هوا برای درختان مرکبات

جذب عناصر غذایی در چند ساعت اول محلول‌پاشی، بسیار سریع است. شرایط محیطی که سبب بسته‌شدن روزنه‌ها می‌شوند راندمان جذب عناصر غذایی را کاهش می‌دهند. بهترین زمان برای محلول‌پاشی، زمانی است که درجه هوا خنک و رطوبت نسبی زیاد باشد (مانند اوایل صبح یا اواخر غروب). همچنین، محلول‌پاشی در این زمان‌ها، احتمال سوختگی برگ‌ها را کاهش می‌دهد. حداکثر راندمان جذب و سود اقتصادی از کودهای روی، منگنز و مس، زمانی است که برگ‌ها جوان باشند به طوری‌که، دو سوم از آنها کاملاً توسعه‌یافته باشند اما در مرحله قبل از بلوغ کامل باشند (تغییر رنگ برگ‌های جدید مانند برگ‌های قدیمی). محلول‌پاشی عناصر غذایی به فلش‌های بهاره بهتر از فلش‌های رشدی تابستانه و پاییزی است. توصیه می‌شود محلول‌پاشی‌ها، بیشتر در زمان فلش‌ها یا جهش‌های رشدی بهاره انجام شود.

عناصر غذایی کم مصرف (میکرو) و دیگر منابع غذایی شامل کلات‌ها و مواد با بنیان نیترات، اغلب می‌توانند با حشره‌کش‌ها، روغن‌های محلول‌پاشی، مویان‌ها و دیگر محصولات در تانک محلول اختلاط و مصرف شوند. گاهی اوقات، فرمول شیمیایی این مخلوط‌ها همراه با شرایط محیطی و وضعیت درخت در زمان انجام محلول‌پاشی می‌تواند موجب سمیت درختان و گاهی اوقات، ریزش برگ و میوه شود. کاهش اثربخشی محصول (مخلوط عناصر غذایی و آفت‌کش‌ها) هم می‌تواند رخ دهد. اطلاعات بسیار کمی در مورد سازگاری عناصر غذایی با آفت‌کش‌های مختلف در تانک محلول و برهمکنش آنها پس از نشست (قرار گرفتن) روی سطح میوه و شاخ‌وبرگ وجود دارد. کیفیت پایین آب آبیاری، به‌ویژه شوری و pH بالا هم می‌تواند موجب بروز مشکل شود. مواد افزودنی با فعالیت نفوذ زیاد، نباید برای محلول‌پاشی در مخلوط تانک محلول‌پاششی استفاده شوند. کاهش تعداد ترکیبات (کودها و آفت‌کش‌های مختلف) در محلول داخل تانک و همچنین محلول‌پاشی در زمانی که درختان تحت تنش نباشند یا تنش‌ها در حداقل باشند پتانسیل صدمه و خسارت را کاهش می‌دهد.

هنگام استفاده از عناصر غذایی برای محلول‌پاشی، اطمینان از این‌که pH محلول‌پاشی بین 6 تا 7 باشد بسیار مهم است. کنترل pH محلول، زمانی بسیار مهم است که محلول‌پاشی اوره انجام می‌شود. اگر pH محلول اوره بیشتر از 7 باشد، ممکن است آمونیاک آزاد تولید شود که به طور چشمگیری پتانسیل خسارت و سوختن برگ‌ها را افزایش می‌دهد. این احتیاط، به‌ویژه زمانی مهم است که باغدار قصد دارد میوه‌ها را برای تازه‌خوری به بازار عرضه کند. در این حالت، وجود لکه‌های کوچک روی سطح میوه (سوختگی) می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای، عملکرد اقتصادی میوه‌ها و سود اقتصادی باغدار را کاهش دهد.

4-9. توصیه‌های فنی در هنگام محلول‌پاشی

- محلول‌پاشی در صبح یا عصر انجام شود.
- درجه‌حرارت محیط کمتر از 29 درجه سانتی‌گراد باشد.
- قبل از محلول‌پاشی، حتماً باغ آبیاری شود (جهت جلوگیری از ایجاد لکه (سوختگی) در سطح برگ و میوه و همچنین ریزش برگ و میوه).
- رطوبت نسبی هوا بیش از 70 درصد باشد.

- به محلول تانک، مویان مناسب (مانند سیتوگیت یا سیتویت) با غلظت حداکثر نیم درهزار اضافه گردد.
- pH محلول‌های تهیه شده بین 7-6 باشد.
- ناخالصی‌های کودهای شیمیایی با صافی گرفته شود.
- سمپاش‌های مورد نظر توان پودر کردن محلول را داشته باشند.
- کودهای شیمیایی مورد نظر در یک سطل آب حل شده و پس از گذراندن از صافی‌های ریز چندلایه، وارد تانک محلول شوند.

فصل دهم
توصیه‌های ترویجی

1. منیزیم موجود در خاک و هر کود منیزیمی (سولفات منیزیم، نیترات منیزیم و سولفات پتاسیم منیزیم) که به خاک منطقه ریشه درختان داده شود برای جذب، ابتدا باید حل شده و وارد محلول خاک شوند و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل شوند. حرکت آب به سطح ریشه تحت‌تأثیر اختلاف‌پتانسیل آبی خاک اطراف ریشه و پتانسیل آبی سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف‌پتانسیل آبی، وجود ریشه‌ها و برگ‌های فعال و مؤثر ضروری است. تبخیر و تعرق از برگ‌ها موجب ایجاد کشش و حرکت جریان آب در آوندهای چوبی می‌شود که در نهایت به سلول‌های سطح ریشه می‌رسد و موجب کاهش پتانسیل آب در سطح ریشه شده و آب از خاک اطراف ریشه (با پتانسیل آبی بیشتر) به سطح ریشه (با پتانسیل آبی کمتر) منتقل می‌شود. همراه با حرکت و انتقال آب به سطح ریشه، منیزیم محلول در آن نیز به سطح ریشه منتقل می‌شوند. به‌طورکلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فروردین‌ماه شروع شده و در اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه کامل می‌شود؛ بنابراین در مرکبات شمال شروع جذب عناصر غذایی از اواسط فروردین‌ماه با حداقل راندمان شروع می‌شود و سپس به ترتیب افزایش می‌یابد و در اوایل تا اواسط تابستان (باتوجه‌به نوع رقم) به حداکثر می‌رسد. در بیشتر مناطق جنوب کشور، رشد مجدد سرشاخه‌ها از اوایل تا اواخر اسفندماه شروع و در اواخر فروردین‌ماه کامل می‌شوند؛ بنابراین جذب و انتقال عناصر به سطح ریشه با راندمان حداقلی از اسفندماه شروع و در فروردین و اردیبهشت به حداکثر می‌رسند.

2. به علت نقش کودهای منیزیمی در تحمل به تنش‌های محیطی از جمله تنش سرما و گرما، برای درختان جوان غیر بارده در مناطق با اقلیم معتدل و مدیترانه‌ای مانند شمال کشور

توصیه می‌شود کوددهی منیزیم این درختان با 5 درصد نیاز سالانه در اوایل فصل (فروردین ماه) شروع شود و در شهریور و مهر به حداکثر مقدار (20 درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در آبان ماه با مصرف 15 درصد مصرف سالانه، کوددهی متوقف شود و در مناطق با اقلیم گرم مانند بندرعباس (ابراهیم آباد و نازدشت) و دزفول، کوددهی منیزیم با 5 درصد نیاز سالانه در نیمه دوم بهمن ماه شروع شود و در اردیبهشت و خرداد ماه به حداکثر مقدار (به ترتیب 15 و 20 درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در نیمه اول تیر ماه، با مصرف 5 درصد نیاز سالانه، مصرف کودهای منیزیمی متوقف شود. سپس در نیمه دوم شهریور ماه با مصرف 5 درصد مصرف سالانه، کوددهی منیزیمی دوباره آغاز شود و در آبان ماه به حداکثر مقدار مصرف (15 درصد نیاز سالانه)، افزایش یابد و در آذرماه نیز کوددهی متوقف شود.

3. به علت نقش کودهای منیزیمی در اندازه و کیفیت میوه، توصیه می‌شود مقدار منیزیمی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد برای یک سال زراعی درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود در مناطق شمالی حدود 10 درصد آن خرداد، 30 درصد تیر، 30 درصد مرداد و 30 درصد شهریور (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند)، در مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان) حدود 10 درصد آن در اردیبهشت، 20 درصد خرداد، 20 درصد مرداد، 25 درصد شهریور و 25 درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند) و در مناطق جنوبی (هرمزگان) حدود 10 درصد فروردین، 20 درصد اردیبهشت، 20 درصد خرداد و 5 درصد نیمه اول تیر، 5 درصد نیمه دوم مرداد، 20 درصد شهریور و 20 درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است 10 تا 20 درصد تغییر کند) مصرف شود.

4. به‌طورکلی محلول‌پاشی‌های ضروری منیزیم متناسب با فنولوژی درختان برای باغ‌های مرکبات در مناطق شمال و جنوب کشور شامل محلول‌پاشی نیترات منیزیم (با غلظت 4 تا 6 در هزار) با اوره (با غلظت 2 تا 3 در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) بار اول از اوایل تا اواسط فاز دوم رشد میوه و بار دوم از اواسط تا اواخر فاز دوم رشد میوه است.

منابع

1. اخلاقی امیری، ن. و ع. اسدی کنگرشاهی. 1399. هرس درختان مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
2. اسدی کنگرشاهی، ع. ن. اخلاقی امیری. 1382. تأثیر پتاسیم، منیزیم و بر همکنش آنها بر عملکرد و کیفیت مرکبات. سومین کنگره علوم باغبانی ایران، کرج، ایران.
3. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1390. شناخت برخی آسیب‌های محیطی و ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی مرکبات. نشریه فنی شماره 501، مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.
4. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1392. خشکیدگی سرشاخه‌ها، زوال مرکبات و برخی آسیب‌های محیطی مرکبات شرق مازندران. نشریه فنی ترویجی، سازمان جهاد کشاورزی مازندران. شماره 92/217/01.
5. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری و علیرضا فلاح. 1398. راهنمای نمونه‌برداری و تفسیر نتایج تجزیه خاک و برگ برای درختان مرکبات. نشریه فنی شماره 561. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران
6. اسدی کنگرشاهی، ع.، ن. اخلاقی امیری، م. محمودی و م. ج. ملکوتی. 1380. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای در مرکبات مازندران (محدودیت‌ها و توصیه‌ها) قسمت اول ـ عناصر پر مصرف و میان مصرف. نشریه فنی شماره 268. نشر آموزش کشاورزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، کرج، ایران.
7. اسدی کنگرشاهی، ع. 1398. مدیریت کوددهی درختان بارده مرکبات. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی. تهران، ایران. صفحه 198.
8. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1393. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات، جلد اول. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
9. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1393. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات، جلد دوم. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

10.اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1395. سرمازدگی درختان میوه (مبانی، اصول و راهکارهای عملی کاهش خسارت)، جلد اول. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
11.اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. 1397. مدیریت احداث باغ پایدار مرکبات (با تأکید بر مطالعات خاک‌شناسی، تناسب اراضی، طراحی باغ و سیستم آبیاری، انتخاب پایه، کوددهی، آبیاری و.....). انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
12.اسدی کنگرشاهی، ع. و همکاران. 1396. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه درختان مرکبات در شمال و جنوب کشور. انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج، ایران.
13. Andersson, I. 2008. Catalysis and regulation in Rubisco. J. Exp. Bot. 59:1555–1568.
14. Barber, S.A. 1995. Soil nutrient availability: a mechanistic approach. Wiley, UK.
15. Bergmann, W. 1992. Nutritional disorders of plants-Development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Verlag, Germany.
16. Cakmak, I. and A.M. Yazici. 2010. Magnesium: a forgotten element in crop production. Better Crops. 94:23–25.
17. Cakmak, I. and E.A. Kirkby. 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. Physiol. Plant. 133: 692–704.
18. Cakmak, I., C. Hengeler and H. Marschner. 1994. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. J. Exp. Bot. 45:1245–1250.
19. Cakmak. I. and H. Marschner. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiol. 98:1222–1227.
20. Cowan, J.A. 2002. Structural and catalytic chemistry of magnesium dependent enzymes. Biometals 15:225–235.
21. Ding, Y. and G. Xu. 2011. Low magnesium with high potassium supply changes sugar partitioning and root growth pattern prior to visible magnesium deficiency in leaves of Rice (Oryza sativa L.). Am. J. Plant Sci. 2:601–608.
22. Ding, Y., W. Luo and G. Xu. 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Ann. Appl. Biol. 149:111–123.

23. Easterling, D.R., G.A. Meehl, C. Parmesan, S.A. Changnon, T.R. Karl and L.O. Mearns. .2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. Science. 289:2068–2074.
24. Farhat, N., H. Sassi, W. Zorrig, C. Abdelly, Z. Barhoumi, A. Smaoui and M. Rabhi. 2015. Is excessive Ca the main factor responsible for Mg deficiency in *Sulla carnosa* on calcareous soils? J. Soil Sediment. 15:1–8. doi:10.1007/s11368-015-1101-y
25. Farhat, N., M. Rabhi, M. Krol, Z. Barhoumi, A.G. Ivanov, A. McCarthy, C. Abdelly, A. Smaoui and N.P.A. Huner. 2014. Starch and sugar accumulation in *Sulla carnosa* leaves upon Mg2? starvation. Acta Physiol Plant. 36: 2157-2165. doi:10.1007/s11738-014-1592-y
26. Fischer, E.S. 1997. Photosynthetic irradiance curves of *Phaseolus vulgaris* under moderate or severe magnesium deficiency. Photosynthetica. 33:385–390.
27. Fischer, E.S., G. Lohaus, D. Heineke and H.W. Heldt. 1998. Magnesium deficiency resulted in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. Physiol Plantarum. 102:16–20.
28. Foy, C.D., R.L. Chaney and M.C. White. 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 29:511–567.
29. Gardner, R.C. 2003. Genes for magnesium transport. Current Opinions in Plant Biology. 6: 263-267.
30. Gransee, A. and H. Fuhrs. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant Soil. 368: 5–21.
31. Grzebisz, W. 2011. Magnesium—food and human health. J. Elem. 16:299–323.
32. Guo, J.H., X.J. Liu, Y. Zhang, J.L. Shen, W.X. Han, W.F. Zhang, P. Christie, K.W.T. Goulding, P.M. Vitousek and F.S. Zhang. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Science.327:1008–1010.
33. Hanstein, S., X.Z. Wang, X.Q. Qian, P. Friedhoff, A. Fatima, Y.H. Shan, K. Feng and S. Schubert. 2011. Changes in cytosolic Mg2? levels can regulate the activity of the plasma membrane H^+-ATPase in maize. Biochem J. 435: 93–101.
34. Härdter, R., M. Rex and K. Orlovius. 2004. Effects of different Mg fertilizer sources on the magnesium availability in soils. Nutr. Cycl. Agroecosyst .70:249–259.
35. Haug, A. 1983. Molecular aspects of aluminum toxicity. Crit. Rev. Plant Sci. 1:345–373.
36. Hermans, C. and N. Verbruggen. 2005. Physiological characterization of Mg deficiency in Arabidopsis thaliana. J. Exp. Bot. 418: 2153–2161.

37. Karley, A.J. and P.J. White. 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. Plant Biol. 12: 291–298.
38. Keltjens, W.G. and K. Tan. 1993. Interactions between aluminium, magnesium and calcium with different monocotyledonous and dicotyledonous plant species. Plant Soil. 155:485–488.
39. Klug, B., W.J. Horst. 2010. Spatial characteristics of Al uptake and translocation in roots of buckwheat (Fagopyrum esculentum). Physiol Plant. 139:181–191.
40. Ma, J.F., P.R. Ryan and E. Delhaize. 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. Trends Plant Sci. 6:273–278.
41. Maguire, M. E. and J.A. Cowan. 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. BioMetals. 15: 203–210.
42. Marschner, H. 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic, Elsevier.
43. Mengutay, M., Y. Ceylan, U.B. Kutman and I. Cakmak. 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. Plant Soil. 368:57–72.
44. Mesic, M., I. Kisic, F. Basic, A. Butorac, Z. Zgorelec and I. Gaspar. 2007. Losses of Ca, Mg and $SO4^{2-}$ with drainage water at fertilization with different nitrogen rates. Agric Conspec Sci. 72:53–58.
45. Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends Plant Sci. 11:15–19.
46. Rangel, A.F., M. Mobin, I.M. Rao, W.J. Horst. 2005. Proton toxicity interferes with the screening of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes for aluminium resistance in nutrient solution. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168:607–616.
47. Römheld, V. and E. A. Kirkby. 2007. Magnesium functions in crop nutrition and yield. Proceedings of a Confernce in Cambridge (7th Dec. 2007), 151–171.
48. Schubert, S., E. Schubert and K. Mengel. 1990. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba*). Plant Soil. 124:239–244.
49. Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants:the tip of the iceberg. Biometals. 15: 309-323.
50. Srivastava, A.K., 2013. Nutrition deficiency symptomology in citrus: An effective diagnostic tool or iust an aid for post-mortem analysis. Agricultural Advances, 2, pp. 177-194.
51. Tang, N., Y. Li and L.S. Chen. 2012. Magnesium deficiency-induced impairment of photosynthesis in leaves of fruiting Citrus reticulata trees accompanied by up-regulation of antioxidant metabolism to avoid photo-oxidative damage. J. Plant Nutr. Soil Sci. 175:784–793.

52. White, J.P., M.R. Broadley.2008. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. New Phytol. 182:49–84.
53. White, P.J. 2012. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: Marschner, P. (ed) Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, pp. 7–47.
54. Xu, H., Z. Luo, W. Hu, Y. Jia, Y. Wang, X. Ye, Y. Li, L.S. Chen and J. Guo. 2021. Magnesium absorption, tranlocation, subcellular distribution and chemical forms in citrus seedlings. Tree Physiology. 10: 1-15.
55. Yang, G.H., L.T. Yang, H.X. Jiang, Y. Li, P. Wang and L.S. Chen. 2012. Physiological impacts of magnesium-deficiency in Citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates. Trees. 26:1237–1250.
56. Ye, X., X.F. Chen and C.L. Deng. 2019. Magnesium-defciency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings. Plants 8:389-398.
57. Ye, X., X.F. Chen and L.Y. Cai. 2020. Molecular and physiological mechanisms underlying magnesium-deciency-induced enlargement, cracking and lignication of *Citrus sinensis* leaf veins. Tree Physiol. 40:1277–1291.
58. Zhao, R, V. Dielen, J.M. Kinet and M. Boutry. 2000. Cosupression of a plasma membrane H^+-ATPase isoform impairs sucrose translocation, stomatal opening, plant growth and male fertility. Plant Cell. 12:535–546.