



Magnesium Fertilization and its Management in Citrus Orchards

A. Asadi Kangarshahi* , **N. Akhlaghi Amiri** and **S.A. Gaffari Nejad**

Associate Prof., of Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran. kangarshahi@gmail.com

Assistant prof., of Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran. neginakhlaghi@yahoo.com

Assistant prof., of Soil fertility and plant nutrition department, Soil and Water Research Institute, karj, Iran. ma_ghffari51@yahoo.com

Article Info

Review Article

Received: November 17, 2024

Accepted: February 19, 2025

Keywords: Fruit growth phenology, Mg fertilizers, Mg requirement, Mg uptake and translocation

Corresponding author's email: kangarshahi@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was twofold: to explore the physiological path of Mg in plants and to evaluate the management of Mg fertilization for citrus trees. The results could lead to a better understanding of plant Mg requirements, appropriate amounts and timing of Mg fertilization, and Mg absorption and transfer to leaves and fruits, all of which are crucial for drafting recommendations for optimized Mg application. Research results have shown that the fertilization method, chemical form, and timing of MG fertilizer application play crucial roles in fruit trees and have significant impacts on production efficiency, quality, and sustainability. Early (i.e., before the onset of the growing season, bud swelling, and flowering as well as the early stage I of fruit growth) application of magnesium sulfate and magnesium nitrate fertilizers in the form of cutan or strips is strictly recommended to be avoided in fruit trees. Meanwhile, Mg fertilizer application levels in citrus orchards are determined based on yield, soil analysis results, leaf analysis results, and their proper interpretation such that for soil Mg levels below the optimum, magnesium (MgO) fertilizer should not exceed 20% of the nitrogen fertilizer used. However, for soil Mg levels in the optimum range or higher and with sufficiently low leaf Mg concentrations, soil application of Mg should be stopped or minimized and replaced with foliar spray of magnesium nitrate, especially during the second stage of fruit growth. In the absence of soil and leaf analytical results, about 20 to 30 kg/ha of magnesium (MgO) per year may be recommended based on growth phenology in orchards with yields of about 20 tons per hectare; in those with higher yields, however, about 1 kg of magnesium (MgO) should be added for each additional yield of one ton. Based on research results in different parts of the world, the second stage of fruit growth is the most appropriate time for Mg fertilization in citrus trees. Thus, magnesium fertilizer application (either by solution spraying or irrigation) should be carried out from the end of the first stage (I) to reach its maximum amount during the second stage of fruit growth (II) while early application (i.e., before the growing season, bud swelling, flowering, and the beginning of the first stage of fruit growth) should be strictly avoided.

Cite this article: Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N. and Gaffari Nejad, S. A., 2025. Magnesium Fertilization and its Management in Citrus Orchards. *Journal of land Management*, 13(2), pp.265-298.





فیزیولوژی منیزیم و مدیریت مصرف آن در باغ‌های مرکبات

علی اسدی کنگرشاهی* , نگین اخلاقی امیری و سیدعلی غفاری‌نژاد

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری،

ایران. kangarshahi@gmail.com

استادیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

. neginakhlaghi@yahoo.com

استادیار بخش تغذیه و حاصلخیزی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران. ma_ghffari51@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مروری	
دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۷	
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱	
واژه‌های کلیدی:	هدف از این بررسی، تشریح فیزیولوژی منیزیم و ارزیابی مدیریت کوددهی آن در درختان مرکبات بود. این بررسی می‌تواند به شناخت بهتر نیاز منیزیم، مقدار کوددهی، زمان مناسب کوددهی، روند جذب و انتقال منیزیم به برگ‌ها و میوه‌ها در این درختان منجر شود که در بهینه‌سازی توصیه‌های کودی منیزیم بسیار مؤثر است. نتایج پژوهشی نشان داده است که روش کوددهی، شکل شیمیایی و زمان مصرف کودهای منیزیمی از نظر باغ‌داری بسیار مهم است و بیشترین تأثیر در راندمان، کیفیت و پایداری تولید دارد. توصیه می‌شود از مصرف زود هنگام کودهای سولفات منیزیم و نترات منیزیم قبل از شروع فصل رشد، همچنین در مرحله گلدهی و اوایل مرحله اول رشد میوه، به شکل چالکود یا نواری برای درختان میوه اجتناب شود. مقدار مصرف کودهای منیزیمی برای درختان بارده مرکبات براساس عملکرد، نتایج تجزیه خاک، نتایج تجزیه برگ و تفسیر آن تعیین می‌شود. اگر نتایج تجزیه خاک نشان دهد که مقدار منیزیم خاک، کمتر از حد مطلوب است، کود منیزیم (MgO) به مقدار حداکثر ۲۰ درصد نیتروژن مصرف شود. اما اگر نتایج تجزیه خاک نشان دهد که مقدار منیزیم خاک در دامنه مطلوب و یا دامنه زیاد یا خیلی زیاد قرار دارد اما غلظت منیزیم در برگ کمتر از حد کفایت است، مصرف خاکی منیزیم متوقف شود یا به حداقل برسد و کودهای منیزیمی (نترات منیزیم)، به روش محلول‌پاشی، به ویژه در فاز دوم رشد میوه مصرف شوند. اگر باغ نتایج تجزیه خاک و برگ ندارد و عملکرد باغ حدود ۲۰ تن در هکتار است حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم اکسید منیزیم در هکتار در سال متناسب با فنولوژی رشد توصیه می‌شود و در باغ‌های با عملکرد بیشتر علاوه بر آن، به ازای هر تن افزایش عملکرد حدود یک کیلوگرم اکسید منیزیم به آن افزوده شود. براساس نتایج پژوهشی در مناطق مختلف جهان و ایران، مناسب‌ترین زمان افزایش منیزیم میوه‌ها و کوددهی منیزیم در درختان مرکبات، در مرحله دوم رشد میوه است. بنابراین توصیه می‌شود که باغ‌داران، کوددهی منیزیم (محلول‌پاشی یا کودآبیاری) را از اواخر مرحله اول شروع کنند و بیشترین مقدار کوددهی را در مرحله دوم رشد میوه انجام دهند و از کوددهی زود هنگام قبل از شروع فصل رشد، گلدهی و اوایل مرحله اول رشد میوه اجتناب کنند.

استناد: اسدی کنگرشاهی، علی، اخلاقی امیری، نگین، و غفاری‌نژاد، سیدعلی، ۱۴۰۴. فیزیولوژی منیزیم و مدیریت مصرف آن در باغ‌های

مرکبات. نشریه مدیریت اراضی، ۱۳ (۲)، صص ۲۶۵-۲۹۸.



DOI: <https://doi.org/10.22092/lmj.2025.367644.373>

مقدمه

منیزیم یک عنصر ضروری برای درختان مرکبات 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. به‌طور کلی 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 آن شده است؛ بنابراین، اصطلاح "عنصر فراموش‌شده" برای این عدم توجه مورد استفاده قرار گرفته است. علائم کمبود ظاهری منیزیم به‌طور معمول با زردی بین رگبرگی و کاهش رشد در ارتباط است، درحالی‌که کمبود پنهان آن اغلب قابل مشاهده نیست و به‌سختی قابل تشخیص است اما موجب کاهش عملکرد محصولات می‌شود (Asadi Kangarshahi, 2019; Cakmak and Yazici, 2010). کمبودهای پنهان و شدید منیزیم پدیده‌ای رایج در تولید محصولات کشاورزی است (Romheld and Kirkby, 2007). یکی از علائم ظاهری معمول کمبود منیزیم کلروز بین رگبرگ‌ها است. توسعه این علائم زردی و کلروز، ناشی از تخریب کلروفیل است، منیزیم به‌عنوان اتم مرکزی در مولکول کلروفیل عمل می‌کند و به‌شدت به این مولکول متصل است و بنابراین ظهور علائم زردی می‌تواند یک پاسخ دیر هنگام به کمبود منیزیم باشد. به‌طور کلی در گیاهان با کوددهی مناسب منیزیم، تنها حدود ۲۰ درصد از کل منیزیم به مولکول کلروفیل متصل است و حدود ۸۰ درصد بقیه منیزیم به‌صورت اشکالی با تحرک بیشتر در ساختار گیاهان وجود دارد (Marschner, 2012). منیزیم در آوند آبکش متحرک است و به‌آسانی در داخل گیاه به بخش‌های در حال رشد (که به‌صورت سینک^۱ مصرفی عمل می‌کنند) قابل انتقال است (White and Broadley, 2008). در نتیجه، به دلیل تحرک زیاد آن تحت شرایط کمبود منیزیم،

علائم کمبود منیزیم معمولاً در برگ‌های مسن‌تر ظاهر می‌شود (Bergmann, 1992). علائم ظاهری زردی در برگ، یک پاسخ دیر هنگام به کمبود منیزیم است و لذا در زمان مشاهده این علائم ظاهری، در واقع کاهش عملکرد قابل توجهی ممکن است رخ دهد؛ بنابراین استفاده از علائم ظاهری (ظهور و مشاهده زردی)، روش مناسبی برای تشخیص کمبود منیزیم و همچنین به‌عنوان مبنایی مناسب برای توصیه کودی منیزیم به‌ویژه در درختان مرکبات نیست. کمبود منیزیم در خاک اغلب باغ‌های مرکبات وجود دارد و یک چالش معمول برای همه باغداران مرکبات در جهان است (Edmeades, 2004; Farhat et al., 2016). گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که کمبود منیزیم یک عامل مهم محدودکننده عملکرد و کیفیت میوه مرکبات است (Morton et al., 2008; Ma et al., 2017; Liang et al., 2016). نتایج بررسی وضعیت منیزیم در باغ‌های مرکبات در نیوزلند نشان داد که حدود ۴۰ درصد این باغ‌ها منیزیم آن‌ها کمتر از حد مطلوب است (Morton et al., 2008). ال-فاولی و همکاران (۲۰۱۰) تخلیه منیزیم را از خاک‌های مصر گزارش کردند و مصرف کودهای منیزیمی برای ارتقا حاصلخیزی خاک و پایداری تولید در این کشور توصیه کردند (El-Fouly et al., 2010). نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در چین نشان می‌دهد که منیزیم قابل استفاده حدود ۱۳ درصد خاک‌ها در دامنه کمبود، ۳۳ درصد در دامنه کم، ۳۴ درصد در دامنه مطلوب و ۱۲ درصد در دامنه زیاد قرار دارند که نشان می‌دهد حداقل ۵۴ درصد خاک‌های این کشور نیاز به مصرف منیزیم دارند (Yan and Hou, 2018). همچنین کمبود منیزیم در دیگر کشورهای تولیدکننده مهم مرکبات از جمله برزیل (Quaggio et al., 1992)، هند (Srivastava and Singh, 2000) ژاپن و آمریکا (Erner et al., 2004) نیز گزارش شده است. در ایران نیز کمبود منیزیم در مرکبات به‌عنوان یک عامل محدودکننده تولید گزارش شده است (Asadi Kangarshahi, 2019).

بیوتیت < هورنبلند < اوژیت < الیون). 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 تعیین کننده است. علاوه بر سیلیکات‌ها، کربنات‌ها (مانند منیزیت $MgCO_3$) و دولومیت ($CaCO_3$, $MgCO_3$) منابع قابل توجهی از منیزیم هستند (Maguire and Cowan, 2002). به دلیل تنوع زیاد در محتوای منیزیم در ماده اولیه، مقدار کل منیزیم در خاک‌ها بین ۰/۵ تا ۰/۵ 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 تخلیه‌شده از منیزیم (عمدتاً کلریت‌ها) هستند، تثبیت منیزیم می‌تواند رخ دهد. به‌طورکلی 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 (Barber, 1995). به‌هرحال منیزیم قابل تبادل، دومین عنصر از نظر فراوانی در سایت‌های تبدالی است که معمولاً ۴ تا ۲۰ درصد از سایت‌های تبدالی را اشغال می‌کند؛ اما بر خلاف کلسیم، غلظت منیزیم در محلول خاک زیاد نیست و به‌آسانی از محلول خاک شسته می‌شود، به‌ویژه زمانی که کاتیون‌های دیگر به خاک افزوده شوند. همچنین بین منیزیم و دیگر کاتیون‌ها رقابت وجود دارد به‌طوری‌که مصرف زیاد پتاسیم و آمونیوم می‌تواند کمبود منیزیم را تشدید کند که ناشی از جایگزینی یون‌های پتاسیم، آمونیوم و هیدروژن با منیزیم است.

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 به‌طور عمده شامل دولومیت با ۱۳ درصد منیزیم،

Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014: (Khoei, 1981).

به‌طورکلی منیزیم معمولاً به‌صورت اکسید منیزیم (MgO) روی کیسه کودهای تجاری نشان داده می‌شود و مصرف آن برای افزایش عملکرد، اندازه میوه و کیفیت عصاره اهمیت زیادی دارد. اگر باغ‌داران کوددهی منیزیم را به‌طور 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 خلاصه کردن 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 برجسته کردن حوزه‌های تحقیقاتی آینده با توجه به 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.

منیزیم در خاک

منیزیم هشتمین عنصر معدنی از نظر فراوانی در زمین است (Maguire and Cowan, 2002). منیزیم در خاک ناشی از هوازدگی مواد سنگ مادری حاوی انواع سیلیکات‌ها است. محتوای منیزیم در انواع مختلف سیلیکات به‌طور قابل توجهی متفاوت است (مسکویت <

بروسایت ($Mg(OH)_2$) با ۴۱ درصد منیزیم، منیزیت با ۲۹ درصد منیزیم و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) با ۲۰ درصد منیزیم هستند. به‌طور معمول کلسیم و منیزیم قابل تبادل بیشتر از ۸۰ درصد کاتیون‌های قابل تبادل در خاک‌های با pH بیشتر از ۵/۵ را تشکیل می‌دهند و هیدروژن، آلومینیم، پتاسیم و سدیم، سایر سایت‌های تبدلی را اشغال می‌کنند. منیزیم قابل تبادل در همه خاک‌ها کمتر از کلسیم قابل تبادل است (به غیر از خاک‌های مشتق شده از سرپنتین). منیزیم تبدلی به‌طور میانگین ۱۰ تا ۲۰ درصد سایت‌های تبدلی را اشغال می‌کند و دامنه منیزیم قابل تبادل (استخراج‌شده با استات آمونیوم مولار با pH ۷) از ۱۲۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. منیزیم محلول، در تعادل با منیزیم قابل تبادل است. غلظت منیزیم در محلول خاک در مناطق مرطوب از ۱۵ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و برای خاک‌های مناطق خشک از ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. منیزیم با قدرت کمتری نسبت به کلسیم، در سایت‌های تبدلی نگهداری می‌شود؛ بنابراین نسبت کلسیم به منیزیم در محلول خاک، کمتر از نسبت آن‌ها در سایت‌های تبدلی است. تثبیت منیزیم^۲ معمولاً 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 شش قابل تبادل است با افزایش pH به بیشتر از ۶/۵، غیرقابل تبادل می‌شود که احتمال می‌رود به علت جذب اختصاصی در سایت‌های تبادل کاتیونی (لایه اشترن غیرقابل تبادل) باشد.

تحرك و انتقال منیزیم در خاک

در خاک‌های زراعی معمولی، بخش قابل توجهی 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. درحالی‌که بار مازاد دائمی در خاک نتیجه جایگزینی آلومینیم است، بار متغیر توسط ترکیبات آلی - معدنی خاک ایجاد می‌شود که به‌شدت 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 ۷-۷/۵ تعیین می‌شود و ظرفیت تبادل کاتیونی مؤثر (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 (بالحقوه یا بالفعل) برای اتصال برگشت‌پذیر یا کاتیون‌های بافر در نظر گرفت. برخلاف سایر کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و آمونیم، منیزیم در خاک نسبتاً متحرک است. خواص یا "رفتار" منیزیم در خاک را می‌توان به خواص شیمیایی منحصربه‌فرد آن نسبت داد. درحالی‌که شعاع یونی منیزیم کوچک‌تر از کلسیم، پتاسیم یا سدیم است، شعاع هیدراته آن به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بزرگ‌تر است (Shaul, 2002; Gardner, 2003; Maguire and Cowan, 2002). یکی از پیامدهای آن، این است که منیزیم با قدرت کمتری به بارهای سطح ذرات خاک 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.

به‌طور کلی یکی از مهم‌ترین عواقب تحرک بالای منیزیم در خاک، غلظت بالای منیزیم در محلول خاک است که سهم فوق‌العاده بالای جریان توده‌ای را در تغذیه گیاه توضیح می‌دهد میزان منیزیم قابل استفاده گیاه در محلول خاک‌های مختلف حدود ۳ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (۱۲۵ میکرو مولار تا ۸/۵ میلی مولار) است (Barber, 1995). سهم جریان توده‌ای در تغذیه منیزیم محصولات را می‌توان از غلظت منیزیم در محلول خاک و مقدار آب تعلق شده توسط محصول محاسبه کرد. با این حال، اگرچه سهم جریان توده‌ای در تغذیه منیزیم در مقایسه با پتاسیم اساساً در شرایط بهینه (رطوبت خاک، غلظت منیزیم در محلول خاک) در خاک‌های کشاورزی به دلیل غلظت بالای منیزیم در محلول خاک می‌تواند کافی باشد (Karley and

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 نسبتاً 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 می‌تواند توسط خاک تأمین شوند و نیازی به مصرف کودهای شیمیایی محتوی منیزیم نیست. راهنمای تفسیر نتایج تجزیه خاک برای منیزیم در خاک‌های آهکی و غیرآهکی در جدول‌های ۱ و ۲ 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 (جدول ۳). اگر کلسیم خاک خیلی زیاد و pH خاک نیز نسبتاً زیاد باشد محلول‌پاشی نیترات منیزیم توصیه می‌شود. به‌طور کلی، در محصولات چندساله 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 بالا نیز ممکن است فراهمی کافی از عناصر غذایی برای درختان را تضمین کند. جذب عناصر غذایی توسط درختان با مشکلاتی مانند تنش خشکی، تش مانداب، صدمه ریشه و آب‌وهوای سرد می‌تواند کاهش یافته

(White, 2009; Barber, 1995)، اما به نیاز محصول و سیستم ریشه آن نیز بستگی دارد (Marschner, 2012). با این حال، 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.

یکی دیگر از عواقب مهم تحرک بالای منیزیم در خاک، این است که مقدار قابل‌توجهی منیزیم می‌تواند در معرض شستشو قرار گیرد (Grzebisz, 2011). شستشوی فصلی منیزیم از انواع خاک معمولی نشان داد بخش عمده-ای 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 ۲۵ کیلوگرم منیزیم در هکتار در سال برسد. گزارش دیگر نیز نشان داد که شستشوی منیزیم در خاک‌های جنگلی حدود ۹/۵ کیلوگرم در هکتار در سال و در زمین‌های زراعی حدود ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال است. در پژوهش دیگری مقدار شستشوی منیزیم از خاکی با حاصلخیزی نسبتاً ضعیف را حدود ۴۵ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار با توجه به نوع محصول و مرحله رشد، کوددهی نیتروژن، مقدار و شدت بارش و در نتیجه حجم آب زهکشی گزارش کرد (Mesic et al., 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 (آهک-دهی یا آهک خاک)، غلظت بی‌کربنات (HCO_3^-) و ظرفیت تبادل کاتیونی (که تحت تأثیر محتوای خاک رس و ماده آلی است) گزارش کرده‌اند. با توجه به 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 قابل توجه منیزیم توسط برداشت محصول در باغ‌های بارده، احتمال کمبود منیزیم در خاک و درختان مرکبات در اغلب مناطق تحت کشت درختان میوه وجود دارد (Asadi Kangarshahi et al., 2001; Asadi Kangarshahi, 2019; Romheld and Kirkby, 2007).

نشان داده است که نسبت کلسیم به منیزیم قابل تبادل مطلوب در خاک برای درختان مرکبات حدود ۲/۵ تا ۳ و نسبت منیزیم به پتاسیم قابل تبادل مطلوب حدود سه تا چهار است (Srivastava and singh, 2009).

یا متوقف شود. تجزیه خاک همراه با تجزیه برگ می‌تواند به تشخیص مشکل کمک کند (Asadi Kangarshahi et al., 2019; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014). به‌طور کلی نتایج گزارش‌های مختلف

جدول ۱- راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های آهکی (Asadi Kangarshahi, 2019)

Table 1- Guidelines for interpretation of soil Mg for citrus trees in calcareous soils

عنصر (روش استخراج) (extraction method)	کمبود Deficient	کم low	مناسب optimum	زیاد High	خیلی زیاد Excess
میلی گرم بر کیلوگرم (mg/kg)					
منیزیم (استات آمونیوم) (ammonium acetate)	< 400	400-600	600-700	700-800	>800
منیزیم (مونوکلسیم فسفات) (monocalcium phosphate)	< 100	100-150	150-200	200-400	>400

جدول ۲- راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های بدون آهک و اسیدی (Asadi Kangarshahi, 2019)

Table 2- Guidelines for interpretation of soil Mg for citrus trees in non-calcareous and acid soils

عنصر (روش استخراج) (extraction method)	کمبود Deficient	کم Low	مناسب Optimum	زیاد High	خیلی زیاد Excess
میلی گرم بر کیلوگرم (mg/kg)					
منیزیم (استات آمونیوم) (ammonium acetate)	<60	60-120	120-200	200-300	>300

جدول ۳- تنظیم برنامه کودی منیزیم مرکبات بر اساس تجزیه خاک

Table 3- Adjusting a citrus Mg fertilization program based on soil analysis

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

منیزیم بسیار کم است؛ اما اگر غلظت کلسیم به‌علاوه منیزیم در محلول، ۲۰ میلی‌مول یا بیشتر باشد جذب به‌طور 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، به‌طور معمول غلظت نمک‌های محلول، زیاد است، بنابراین جذب کلسیم و منیزیم، عمدتاً به شکل غیر فعال است که به علت غلظت زیاد آن‌ها در محلول خاک است و نسبت جذب کلسیم به منیزیم تقریباً مشابه با نسبت آن‌ها در محلول خاک

جذب، انتقال و شکل‌های شیمیایی منیزیم در درختان مرکبات

به‌طور کلی در غلظت‌های زیاد منیزیم در محلول خاک، جذب منیزیم به ریشه‌ها به شکل غیر فعال است، اما با کاهش غلظت منیزیم، جذب غیر فعال، کاهش و در مقابل جذب وابسته به انرژی افزایش می‌یابد. اگر غلظت کلسیم به‌علاوه منیزیم در محلول، کمتر از پنج میلی‌مول در لیتر باشد، جذب منیزیم به شکل فعال خواهد بود. در این شرایط، تعرق تأثیر چندانی در جذب نخواهد داشت و همچنین تأثیر غلظت کلسیم در محلول خاک نیز در جذب

است؛ اما در مناطق مرطوب (با بارندگی زیاد) مانند مناطق شمالی کشور، جذب منیزیم به احتمال زیاد، به شکل فعال است و به میزان تنفس ریشه و تأمین انرژی بستگی دارد. همچنین با افزایش پتاسیم در خاک، جذب کلسیم و منیزیم به شدت کاهش می‌یابد اما جذب منیزیم، بیشتر از کلسیم تحت تأثیر 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 تأثیر دارند (تا جذب منیزیم توسط ریشه‌ها).

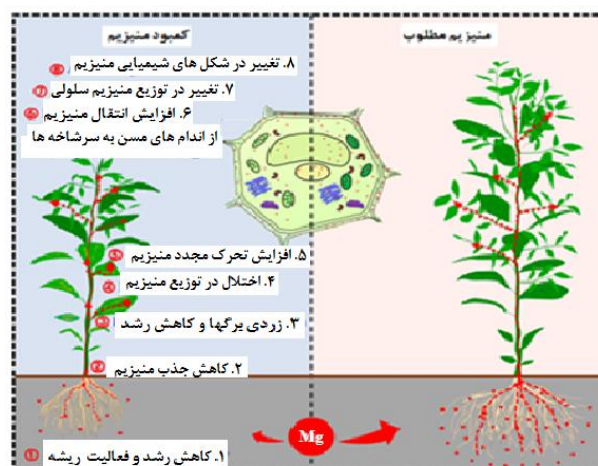
منیزیم موجود در خاک و هر کود منیزیمی (سولفات منیزیم، نترات منیزیم و ...) که به خاک منطقه ریشه درختان داده شود برای جذب، ابتدا باید حل شده و وارد محلول خاک شوند و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل شوند. حرکت آب به سطح ریشه تحت تأثیر اختلاف پتانسیل آبی خاک اطراف ریشه و پتانسیل آبی سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف پتانسیل 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 (شکل ۲). به‌طور کلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فروردین ماه 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 (با توجه به 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 (Asadi Kangarshahi et al., 2019; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014).

به‌طور کلی نتایج گزارش‌های مختلف نشان داده است که منیزیم در درختان مرکبات به شکل‌های محلول، آلی (منیزیم در کلروپلاست، اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، پکتات‌ها، فسفات‌ها، اکسالات‌ها و ...) و منیزیم در دیواره‌های سلولی وجود دارد. در درختان مرکبات در شرایط معمول (منیزیم مطلوب)، بیشترین مقدار منیزیم در بخش منیزیم محلول است و منیزیم آلی و دیواره سلولی پس از آن قرار می‌گیرد به‌طوری‌که بیشتر از ۵۰ درصد منیزیم درختان مرکبات به شکل منیزیم محلول است؛ اما در شرایط کمبود منیزیم، بیشترین مقدار منیزیم در دیواره سلولی قرار دارد و منیزیم محلول و آلی پس از آن قرار دارند در درختان دارای کمبود منیزیم، مقدار منیزیم محلول آن‌ها به حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. لذا در درختان مرکبات مقدار نسبی شکل‌های منیزیم و غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف تحت تأثیر قابلیت استفاده و فراهمی منیزیم است و در شرایط کمبود منیزیم، توزیع منیزیم در ریشه و برگ‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌گیرد به‌طوری‌که منیزیم محلول برگ‌ها حدود ۴۰ درصد و منیزیم محلول ریشه‌ها حدود ۱۵ درصد کاهش می‌یابد درحالی‌که منیزیم بخش آلی و دیواره سلولی در برگ‌ها به ترتیب حدود ۱۰۰ و ۴۰ درصد و در ریشه حدود ۵۰ و ۱۰ درصد افزایش می‌یابد؛ بنابراین توزیع منیزیم تحت تأثیر رقم و شرایط محیطی به‌ویژه فراهمی یا کمبود منیزیم قرار دارد و منیزیم محلول در درختان مرکبات از تحرک بسیار بالایی برخوردار است. به‌طور کلی نتایج گزارش‌های مختلف نشان داده است که درختان مرکبات حساس به فراهمی و کمبود منیزیم هستند و کمبود منیزیم بر رشد، مرفولوژی، توسعه و کاهش بیوماس اندام هوایی و ریشه این درختان تأثیر دارد.

مرکبات تأثیر زیادی در رشد و فیزیولوژی این درختان دارد (Jia et al., 2021). به‌طور کلی در درختان مرکبات بین شکل‌های شیمیایی و توزیع منیزیم با پتانسیل جذب و انتقال آن ارتباط وجود دارد (شکل ۱). در شرایط فراهمی بهینه منیزیم، حدود ۸۳ درصد منیزیم در برگ و ریشه درختان مرکبات به شکل محلول، ۱۲ درصد به شکل آلی و پنج درصد در دیواره سلولی قرار دارد اما تحت شرایط کمبود منیزیم، منیزیم محلول حدود ۲۳ درصد کاهش و در مقابل منیزیم آلی و دیواره سلولی به ترتیب حدود ۱۳۲ و ۵۸ درصد افزایش نشان دادند.

گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که حدود ۳۵ درصد منیزیم در کلروپلاست و حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد در رنگدانه‌های کلروفیل وجود دارد؛ بنابراین تحت شرایط کمبود منیزیم، میزان کلروفیل و ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد که موجب کاهش تثبیت کربن، کاهش بارگیری آوند آبکشی و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن به‌علاوه تغییر در توزیع مواد فتوسنتزی و در نتیجه کاهش رشد و تولید میوه می‌شود (Li et al., 2017; Hermans et al. 2013). تأثیر کمبود منیزیم در فتوسنتز، فعالیت‌های آنزیمی و متابولیت‌های فتوسنتزی با افزایش سن برگ افزایش می‌یابد بنابراین تغذیه منیزیم درختان



شکل ۱- جذب، انتقال و توزیع منیزیم در درختان مرکبات با شرایط منیزیم مطلوب و کمبود منیزیم

Figure1- Magnesium absorption, transport and distribution in citrus trees from Mg-deficiency and Mg-sufficient condition

سبز باقی می‌مانند. در کمبود شدید، ناحیه زردرنگ به تدریج بزرگ می‌شود تا این‌که کل سطح برگ، کاملاً زرد یا برنزه شود (شکل ۲). 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 هیچ کدام از علائم اولیه شاخه‌ها و کاهش قابل توجه اندازه میوه‌ها، ناشی از اثر مستقیم کمبود منیزیم نیست بلکه یک اثر ثانویه ناشی از ریزش برگ‌ها است که ممکن است

مهم‌ترین علائم ظاهری کمبود منیزیم در درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ سرواستاوا، ۲۰۱۳)

اگرچه انتقال از برگ‌های مسن‌تر به برگ‌های جوان در حال توسعه همان شاخه‌ها، نیز ممکن است وجود داشته باشد. معمولاً علائم با توسعه لکه‌های زردرنگ غیر پیوسته یا بلوک‌های زرد نامنظم نزدیک پایه برگ در طول رگبرگ میانی برگ‌های بالغ که نزدیک یا چسبیده به میوه هستند شروع می‌شود، سپس لکه‌ها به تدریج 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، بزرگ‌شده تا این‌که فقط نوک و ته برگ،

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. علائم 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. در صورتی که شاخه‌های با محصول کم یا بدون میوه، معمولاً

علائم کمبود منیزیم را نشان نمی‌دهند. کمبود منیزیم، همچنین منجر به کاهش سیستم ریشه‌های فعال می‌شود که ممکن است جذب دیگر عناصر را کاهش دهد و کمبودشان را تشدید نماید. میزان مناسب منیزیم قابل استفاده در خاک ۷۵۰-۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (استخراج شده با استات آمونیم) و یا تقریباً ۱۰ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است.



شکل ۲- محل و شدت بروز علائم کمبود منیزیم در برگ‌های بالایی، میانی و پایینی مرکبات

Figure 2- Location and severity of magnesium deficiency symptoms in upper, middle and lower leaves of citrus trees

مهم‌ترین علائم کمبود منیزیم

۱. علائم ابتدا در برگ‌های بالغ ظاهر می‌شود. بلوک‌های زرد نامنظم نزدیک پایه برگ در طول رگبرگ میانی برگ‌های بالغ که چسبیده 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 ∇ معکوس روی رگبرگ میانی ظاهر می‌شود (شکل ۳).

۲. در درون تاج درختان، بازوهای که میوه زیاد دارند علائم شدید کمبود منیزیم توسعه می‌یابند و سرانجام

برگ‌های آن‌ها ریزش کرده و بدون برگ می‌شوند که همراه با میوه‌های کوچک‌تر و عملکرد کمتری هستند.

۳. زرد شدن برگ‌های بالغ و برگ‌های کاملاً توسعه یافته در درختان دارای کمبود منیزیم.

۴. کاهش نیتروژن پروتئینی و افزایش نیتروژن غیرپروتئینی در برگ‌های دارای کمبود منیزیم

۵. کاهش رشد ریشه، کاهش انتقال قندها و اختلال در فعالیت برخی آنزیم‌ها (شکل ۴)

۶. کاهش قند (TSS) و کاهش نسبت قند به اسید (TSS/acid)

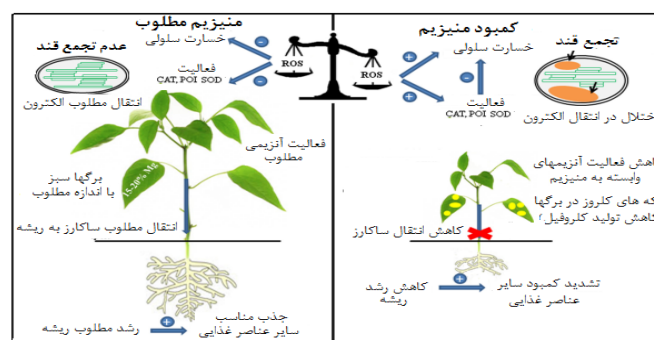
۷. کاهش اندازه میوه و وزن میوه (تأثیر آن بسیار کمتر از نیتروژن و پتاسیم است)

۸. افزایش ضخامت پوست میوه (تأثیر آن بسیار کمتر از فسفر است)
۹. کاهش تشکیل کلروفیل، کاهش تثبیت و بارگیری کربن فتوسنتزی
۱۰. کاهش ساخت پروتئین و افزایش تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن (ROS)



شکل ۳- علائم کمبود منیزیم در درختان مرکبات

Figure 3- Symptoms of magnesium deficiency in citrus trees



شکل ۴- اثرات عمده کمبود منیزیم در درختان میوه

Figure 4- Major effects of magnesium deficiency in fruit trees

درصد و در برگ‌ها ۵۶/۰ درصد بود که نشان داد میانگین غلظت آن در برگ حدود ۴۳/۲ برابر غلظت آن در ریشه است. میانگین غلظت منیزیم در برگ نارنگی انشو به پایه-های نارنج، سونگل سیتروملو، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سی ۳۵، اسموت فلت سویل و گوتو به ترتیب حدود ۵۰/۰، ۵۸/۰، ۶۱/۰، ۵۶/۰، ۵۴/۰، ۵۴/۰ و ۶۲/۰ درصد بود که نشان داد که برگ درختان با پایه گوتو از

آزمایش میدانی: نتایج گزارش‌های میدانی در مورد غلظت منیزیم در ریشه و برگ درختان نارنگی انشو میاگوا با پایه‌های مختلف در خاک‌های مختلف (جدول-های ۴ و ۵) نشان می‌دهد که غلظت منیزیم در ریشه و برگ درختان با پایه‌ها و در خاک‌های مختلف باهم تفاوت معنی-داری دارند. غلظت منیزیم در ریشه بیشتر از غلظت آن در برگ بود به‌طوری‌که میانگین غلظت منیزیم در ریشه ۲۳/۰

سی ۳۵ و کاریزو سیترنج به ترتیب از بیشترین و کمترین ضریب انتقال از ریشه به اندام هوایی را داشتند (شکل ۵). به‌طور کلی دامنه ضرایب انتقال منیزیم برای نارنگی انشو با پایه‌های مختلف از ۰/۱۸ تا ۰/۲۸ متغیر بود که نشان می‌دهد نوع پایه در روند تجمع و تخلیه منیزیم در ریشه تأثیر دارد (Asadi Kangarshahi, 2018; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017, 2018, 2020, 2022).

بیشترین غلظت منیزیم برخوردار بود. در مقابل میانگین غلظت منیزیم در ریشه نارنگی اثنو به پایه‌های نارنج، سونگل‌سیتروملو، ترویرسیترنج، کاریزوسیترنج، سی ۳۵، اسموت فلت سویل و گوتو به ترتیب حدود ۰/۲۰، ۰/۲۳، ۰/۲۸، ۰/۲۴، ۰/۱۸ و ۰/۲۱ و ۰/۲۴ درصد بود که نشان داد که ریشه درختان با پایه ترویر سیترنج و سی ۳۵ به ترتیب از بیشترین و کمترین غلظت منیزیم داشتند (جدول‌های ۷ و ۸). میانگین ضریب انتقال منیزیم نشان داد که پایه‌های

جدول ۴- برخی ویژگی‌های خاک‌ها (Asadi Kangarshahi, 2018)

Table4- Some of soils properties

ویژگی های خاک							
Soil							
7	6	5	4	3	2	1	
23	37	13	41	19	29	23	رس (درصد) Clay (%)
37	29	29	18	35	26	30	سیلت (درصد) Silt (%)
40	34	58	41	46	45	47	شن (درصد) sand (%)
لوم loam	لوم رسی clay loam	لوم شنی sandy loam	رسی clay	لوم loam	لوم رسی شنی sandy clay loam	لوم loam	Soil texture class
45	25	40	30	14	9	2	آهک (درصد) Lime (%)
1.10	1.52	0.65	1.60	1.80	0.95	1.17	کربن آلی (درصد) O.C. (%)
7.76	7.78	7.77	7.60	7.86	7.45	6.81	واکنش گل اشباع pH

جدول ۵- پایه‌ها (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2018)

Table5- Rootstocks

نام علمی scientific name	پایه ها Rootstocks	ردیف order
<i>C. aurantium</i> L	Sour Orange نارنج	1
<i>C. paradise</i> Macf. Cv. Duncan & <i>P. trifoliata</i> L.	Swingle Citrumelo سونگل سیتروملو	2
<i>C. sinensis</i> . & <i>P. trifoliata</i> L.	Carrizo Citrange کاریزوسیترنج	3
<i>C. sinensis</i> & <i>P. trifoliata</i> L.	Troyer Citrange ترویروسیترنج	4
<i>Ruby Blood orange</i> & <i>P. trifoliata</i> L.	C- 35 سی - ۳۵	5
<i>C. aurantium</i> var. Smooth Flat Seville	Smooth Flat Seville اسموت فلت سویل	6
<i>C. aurantium</i> var. <i>gou tou</i>	Gou Tou گو تو	7

جدول ۶- غلظت منیزیم (درصد) در برگ نارنگی انشو با پایه‌های مختلف در خاک‌های متفاوت

(Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017, 2018, 2020, 2022)

Table 6- Leaf Mg concentration (%) in Satsuma mandarin on different rootstocks

غلظت منیزیم در برگ (درصد بر اساس وزن خشک) Leaf Mg concentration (%)							خاک soil
گوتو Gou Tou	اسموت فلت سویل Smooth Flat Seville	سی ۳۵ C- 35	کاریزوسیترنج Carrizo Citrange	ترویرسیترنج Troyer Citrange	سوینگل سیتروملو Swingle Citrumelo	نارنج Sour Orange	
0.62 b	0.61 a	0.41 d	0.64 b	0.66 b	0.51 c	0.56 b	1
0.72 a	0.65 a	0.549 bc	0.51 cd	0.55 c	0.53 c	0.51 c	2
0.59 b	0.53 b	0.49 c	0.65 b	0.55 c	0.58 b	0.65 a	3
0.50 c	0.52 b	0.61 a	0.41 d	0.60 bc	0.55 bc	0.63 a	4
0.61 b	0.43 c	0.54 bc	0.59 c	0.57 bc	0.55 bc	0.59 ab	5
0.62 b	0.54 b	0.58 b	0.80 a	0.78 a	0.65 a	0.24 e	6
0.67 bc	0.47 bc	0.56 b	0.31 e	0.59 bc	0.66 a	0.30 d	7
0.62	0.54	0.54	0.56	0.61	0.58	0.50	میانگین

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

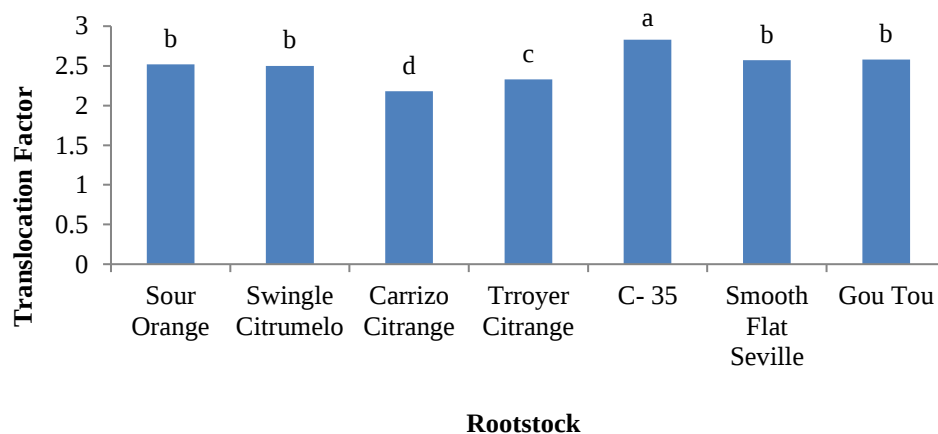
جدول ۷- غلظت منیزیم (درصد) در ریشه نارنگی انشو با پایه‌های مختلف

(Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017, 2018, 2020, 2022)

Table 7- Root Mg concentration (%) in Satsuma mandarin on different rootstocks

غلظت منیزیم در ریشه (درصد بر اساس وزن خشک)*							خاک
Root Mg concentration (%)							soil
گوتو	اسموت فلت سویل	سی ۳۵	کاریزوسیترنج	ترویرسیترنج	سوینگل سیتروملو	نارنج	
Gou Tou	Smooth Flat Seville	C- 35	Carrizo Citrange	Trroyer Citrange	Swingle Citrumelo	Sour Orange	
0.25 a	0.14 d	0.18 b	0.24 b	0.40 a	0.19 c	0.16 bc	1
0.25 a	0.35 a	0.15 c	0.18 d	0.21 c	0.25 a	0.18 b	2
0.21 b	0.20 b	0.22 a	0.20 c	0.25 c	0.20 bc	0.15 c	3
0.25 a	0.18 c	0.18 b	0.16 d	0.23 c	0.21 bc	0.18 b	4
0.24 ab	0.18 c	0.20 ab	0.40 a	0.24 c	0.23 b	0.23 a	5
0.26 a	0.20 b	0.16 bc	0.25 b	0.30 b	0.26 a	0.24 a	6
0.22 b	0.18 c	0.21 a	0.23 b	0.27 a	0.26 a	0.22 a	7
0.24	0.21	0.18	0.24	0.28	0.23	0.20	میانگین

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



شکل ۵- ضریب انتقال منیزیم در نارنگی انشو با پایه‌های مختلف

Figure 5- Magnesium translocation factor in Satsuma mandarin on different rootstocks

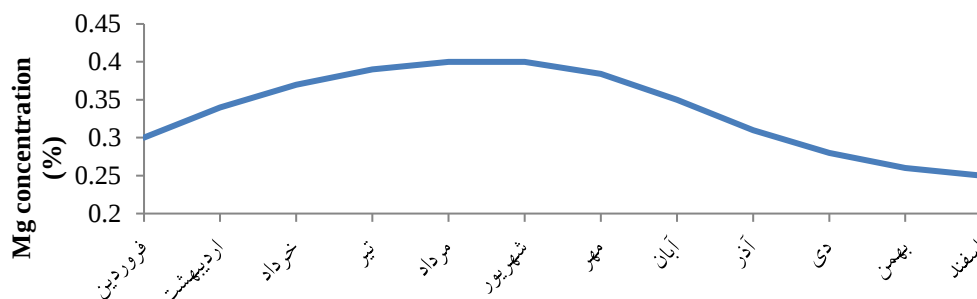
منیزیم در برگ و روند تغییرات آن

یکی از نتایج 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 مشاوران خبره که در زمینه‌ی تغذیه‌ی مرکبات مهارت دارند، تفسیر می‌نمایند. هدف اولیه تجزیه برگ، بهینه کردن مصرف سالانه کودهای شیمیایی برای تولید عملکرد بیشتر است. همچنین در بلندمدت، هدف از تجزیه برگ، به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی است، به نحوی که پتانسیل تولید و کیفیت میوه ثابت بماند (Srivastava, 2013; Asadi Kangarshahi et al., 2019). 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 این که 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 براساس مشاهدات میدانی بلندمدت 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 می‌

داده است که غلظت منیزیم در برگ‌ها، با افزایش سن برگ درختان افزایش می‌یابد. به طوری که غلظت منیزیم در برگ‌ها در اواسط خرداد ماه، کمتر از مرداد ماه است (شکل‌های ۶ و ۷).

شوند. 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، روش‌های گوناگونی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج پژوهشی نگارندگان نشان



شکل ۶- روند تغییرات غلظت منیزیم در برگ درختان مرکبات

Figure 6- Changes trend in magnesium concentration in the leaves of citrus trees



شکل ۷- روند تشدید علائم کمبود منیزیم در برگ درختان مرکبات

Figure 7- Changes trend in magnesium concentration in the leaves of citrus trees

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 مؤثر باشند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۷). همچنین نسبت کلسیم به منیزیم بیشتر از هفت ($\text{Ca:Mg} > 7$) یا نسبت پتاسیم به منیزیم بیشتر از چهار ($\text{K:Mg} > 4$) در برگ نشان‌دهنده گرسنگی پنهان منیزیم است.

راهنمای حدود مطلوب غلظت منیزیم در برگ ارقام مختلف مرکبات در جدول‌های ۸ تا ۱۱ آورده شده است. به طور کلی حدود بحرانی غلظت منیزیم در برگ مرکبات بر اساس جذب خالص دی‌اکسید کربن، ۱/۹ میلی-گرم منیزیم در گرم وزن خشک برگ (۰/۱۹ درصد) است (Zhou et al., 2018). همچنین در جدول ۳-۵، مدیریت برنامه کودی بر اساس نتایج تجزیه برگ نشان داده شده است. اگر غلظت منیزیم در برگ کمتر از حد مطلوب باشد با توجه به نوع خاک ممکن است دلایل متفاوتی داشته باشد. در خاک‌های آهکی مهم‌ترین دلیل می‌تواند توقف رشد

جدول ۸- راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم برگ (برگ‌های بالغ چهار الی هفت ماهه از سرشاخه‌های فصل جاری پیرامون تاج) برای درختان پرتقال (Obreza and Morgan, 2011)

Table 8- Guidelines for interpretation of leaf Mg for orange trees

غلظت منیزیم (درصد) Mg concentration (%)					عنصر Element
خیلی زیاد Excess	زیاد High	مناسب Optimum	کم Low	کمبود Deficient	منیزیم Magnesium
> 0.6	0.5-0.6	0.3-0.5	0.2 - .29	< 0.2	

جدول ۹- راهنمای تفسیر نتایج تجزیه منیزیم برگ (برگ‌های بالغ چهار الی هفت ماهه از سرشاخه‌های فصل جاری پیرامون تاج) برای درختان نارنگی (Obreza and Morgan, 2011)

Table 9- Guidelines for interpretation of leaf Mg for mandarin trees

غلظت منیزیم (درصد) Mg concentration (%)					عنصر element
خیلی زیاد Excess	زیاد High	مناسب Optimum	کم Low	کمبود Deficient	منیزیم Magnesium
> 1.12	0.7-1.1	0.3-0.6	0.16 - .29	< 0.15	

جدول ۱۰- دامنه مطلوب منیزیم (درصد) در برگ (برگ‌های بالغ چهار الی هشت ماهه از سرشاخه‌های فصل جاری پیرامون تاج) برخی ارقام مختلف مرکبات (Srivastava and Singh, 2009; Obreza and Morgan, 2011)

Table 10- Optimum range of potassium (%) in the leaves of some different citrus cultivars

رقم cultivar						عنصر غذایی Nutrient
لیموها Lemons	گریپ‌فروت Grapefruit	پرتقال‌های ناول Navel oranges	پرتقال‌های والنسیا Valencia oranges	پرتقال‌های خونی Blood orange	نارنگی‌های کلماتین Clementine tangerines	منیزیم (درصد) Magnesium (%)
0.28-0.51	0.3-0.55	0.3-0.55	0.23-0.6	0.25-0.35	0.3-0.4	

جدول ۱۱- تنظیم برنامه کودی منیزیم مرکبات بر اساس تجزیه برگ

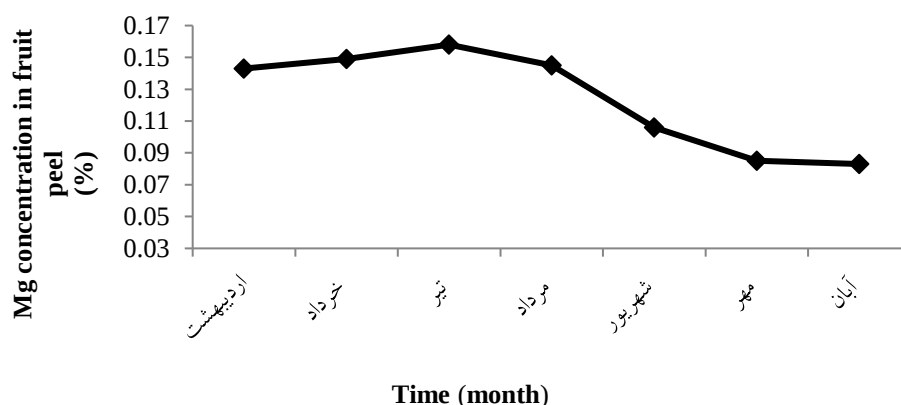
Table 11- Adjusting a citrus Mg fertilization program based on leaf analysis (Obreza and Morgan, 2011)

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

می‌یابد. به‌طوری‌که غلظت منیزیم در میوه‌ها در اواسط تیرماه، بیشتر از اواسط مهرماه است (شکل ۸). تأثیر منیزیم در کیفیت عصاره و کیفیت خارجی پوست میوه مرکبات در جدول‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. به‌طورکلی نتایج گزارش‌های مختلف نشان داده است که بین غلظت منیزیم میوه‌های مرکبات با میزان قند و اسیدهای آلی آن‌ها به

منیزیم در میوه مرکبات و روند تغییرات آن بر اساس نتایج گزارش‌های مختلف، مقدار منیزیم در میوه ارقام مختلف مرکبات از ۰/۱۱ تا ۰/۲۹ درصد است (Zhou et al., 2018)؛ اما نتایج پژوهشی نگارندگان نشان داده است که غلظت منیزیم در میوه پرتقال تامسون ناول، با افزایش رشد میوه ابتدا افزایش و سپس با بلوغ میوه کاهش

ترتیب ارتباط منفی و مثبت معنی داری وجود دارد (Zhou et al., 2018).



شکل ۸- روند تغییرات غلظت منیزیم در میوه مرکبات

Figure 8- Changes trend in magnesium concentration citrus fruit

جدول ۱۲- تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت عصاره میوه مرکبات (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014)

Table 12- The effect of magnesium application on the quality of citrus fruit extract

کیفیت عصاره extract quality					
میزان عصاره amount of extract	قند (TSS)	اسیدیته (acid)	شاخص برداشت (TSS/acid)	رنگ عصاره (قرمز) extract color (red)	رنگ عصاره (زرد) extract color (yellow)
*	+	*	+	?	?

علامت: + (افزایش)؛ - (کاهش)؛ * (عدم تأثیر) و ؟ (نامشخص و در حال حاضر اطلاعاتی وجود ندارد)
Signs: + (increase), - (decrease), * (lack of effect) and ? (Uncertain and currently there is no information)

جدول ۱۳- تأثیر مصرف منیزیم بر کیفیت خارجی میوه مرکبات

Table 13- The effect of magnesium application on the external quality of citrus fruits
(Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014)

کیفیت خارجی میوه external quality of fruit						
اندازه میوه fruit size	وزن میوه fruit weight	میوه‌های سبز green fruits	ضخامت پوست peel thickness	ساییدگی باد wind abrasion	لکه‌های پوستی peel spots	چین خوردگی Crease
+	+	*	-	?	?	?

علامت: + (افزایش)؛ - (کاهش)؛ * (عدم تأثیر) و ؟ (نامشخص و در حال حاضر اطلاعاتی وجود ندارد)
Signs: + (increase), - (decrease), * (lack of effect) and ? (Uncertain and currently there is no information)

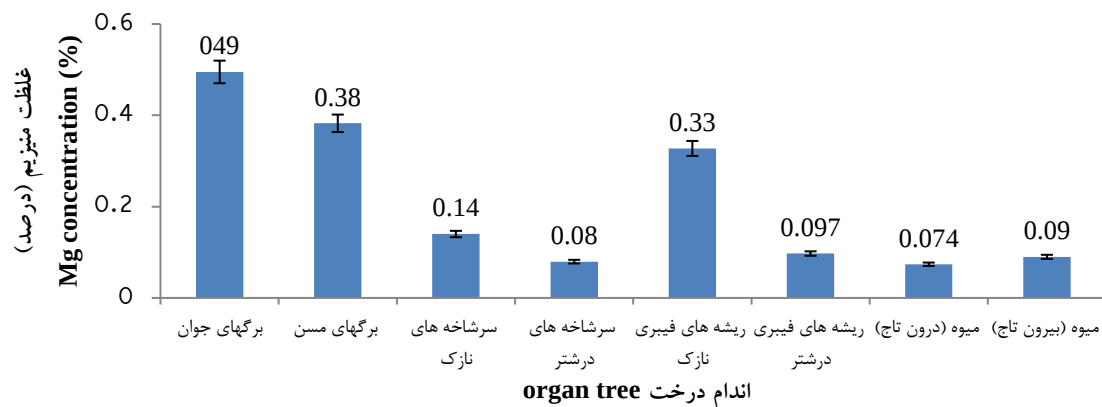
منیزیم در اندام‌های مختلف مرکبات

همچنین با افزایش سن و قطر سرشاخه‌ها و خشبی شدن آن‌ها، غلظت منیزیم در آن کاهش می‌یابد به طوری که غلظت منیزیم در سرشاخه‌های کمتر از یک سانتی‌متر، حدود ۰/۱۴ درصد بر اساس وزن خشک است و در سرشاخه‌های بزرگ‌تر به حدود ۰/۰۸ درصد می‌رسد. در مقابل، 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 ۰/۳۳ درصد و در ریشه‌های فیبری بزرگ‌تر حدود ۰/۰۹۷ درصد است (شکل ۹). مقدار منیزیم در درختان، کمتر از کلسیم و پتاسیم است. منیزیم (در صورت کمبود آن) به طور فعال توسط ریشه‌های درختان جذب می‌شود. منیزیم به عنوان فعال‌کننده بسیاری از واکنش‌های آنزیمی عمل می‌کند. همچنین ترکیب عمده کلروفیل است. به هر حال بیشتر از ۷۰ درصد از منیزیم گیاه، همراه با

می‌شود. از این رو، علائم کمبود منیزیم، ابتدا در برگ‌های مسن مشاهده می‌شود.

آنیون‌های قابل انتشار است بنابراین منیزیم در گیاه خیلی متحرک بوده و به آسانی در بخش‌های مختلف گیاه جابجا



شکل ۹- غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف درختان مرکبات (Asadi Kangarshahi, 2019)
Figure 9- Magnesium concentration in different organs of citrus trees

ظهور علائم کمبود منیزیم ارتباط زیادی با شدت نور دارد. از این رو، شدت نور بالا به دلیل افزایش تولید آسیب‌رسان ROS در کلروپلاست‌ها، باعث افزایش ایجاد کلروز بین رگ‌ها می‌شود. درختان با منیزیم کافی در معرض شدت نور بالا 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 نور بالا به سرعت علائم کلروز برگ را نشان می‌دهند. تشدید کلروز در اثر نور زیاد به دلیل کاهش غلظت منیزیم در برگ‌ها نیست بلکه به دلیل دخالت مستقیم تخریب نور اکسیداتیو 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 ۱۰). کاهش میزان فتوسنتز و تنفس (به ازای واحد سطح برگ و به ازای واحد کلروفیل). کمبود منیزیم موجب کاهش فعالیت آنزیم یبولوز-۵،-۱-بیس فسفات کربوکسیلاز / اکسیژناز (روبیسکو) می‌شود این آنزیم در تثبیت دی اکسید کربن مؤثر است لذا کمبود منیزیم موجب کاهش سرعت فتوسنتز می‌شود (Andrsson, 2008; Hermans and Verbruggen, 2005). همچنین کمبود منیزیم باعث ایجاد اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود (Tang

منیزیم، کلروفیل و فتوستنز

منیزیم به عنوان یکی از اجزای اصلی مولکول کلروفیل، با زرد شدن برگ به شکل کلروز بین رگبریگی در برگ‌های مسن تحت تنش کمبود منیزیم همراه است. ظهور این علائم با دخالت زیاد منیزیم در سنتز کلروفیل، رنگدانه‌های اصلی مسئول برداشت نور در گیاهان توضیح داده می‌شود. از این رو، کمبود منیزیم منجر به مهار فتوستنز، تجمع کربوهیدرات در برگ‌های منبع، کاهش رشد ریشه و همچنین تغییراتی در فراساختار کلروپلاست می‌شود. به طور کلی جنبه‌های اصلی کمبود منیزیم شامل برهم خوردن تعادل کربوهیدرات بین اندام‌های منبع و سینک ممکن است پیری برگ را به دلیل تغییر کلاتاز منیزیم تسریع کند یک آنزیم مهم که مسئول وارد کردن منیزیم به پروتوپورفیرین IX، به عنوان اولین مرحله بیوسنتز کلروفیل است. تجمع پروتوپورفیرین IX به دلیل تغییر کلاتاز منیزیم ممکن است رشد کلروز را افزایش دهد (Cakmak and Kirkby, 2008)، 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 جوان‌تر پیش می‌روند؛ و بعداً به لکه‌های نکروز تبدیل می‌شود (Farhat et al., 2014, 2015). همچنین

این برگ‌ها اختلال ایجاد می‌کند (Marshner, 2012; Zhao et al., 2000). لذا منیزیم برای بارگیری ساکارز در آوندهای آبکشی برای فراهمی و تأمین نیاز قندها برای اندام‌های مصرفی مانند میوه‌ها (به‌عنوان سوبسترا برای رشد و فعالیت آن‌ها) ضروری است. کاهش شدید جابجایی مواد آلی ساخته‌شده 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، بزرگ شدن و چوب پنبه‌ای رگبرگ‌ها و تغییرات فتوسنتز و پارامترهای مربوطه به آن بیشتر در برگ‌های میانی و پایینی مشاهده 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، غیرفعال شدن کمپلکس‌های اکسیژنی (OEC) و مراکز واکنشی فتوسنتز (RCs)، افزایش احیا QA 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 دی‌اکسید کربن در برگ‌های میانی و پایینی دارای کمبود منیزیم کاهش می‌یابد (شکل‌های ۹ و ۱۰). فعال‌سازی برخی آنزیم‌ها و جابجایی انرژی: فعالیت برخی آنزیم‌ها مانند فسفاتازها، ATPase و کربوکسیلازها با منیزیم افزایش می‌یابد که به ترتیب در جابجایی فسفات و کربوکسیل نقش مهمی دارند. فسفوریلاسیون و ساختن ATP: برای پیوند ADP با Pi به منیزیم نیاز است.

(et al., 2012; Farhat et al., 2015)؛ بنابراین تحت شرایط کمبود منیزیم، ساختار و فعالیت‌های فتوشیمیایی جزئی فتوسیستم I و II (PSI و PSII) در 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، ۲۰۱۲). 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. در برگ‌های سبز، حدود ۲۵ درصد منیزیم (نسبت به منیزیم کل برگ) در ساختمان کلروفیل وجود دارد. منیزیم نیز مانند پتاسیم، در تنظیم pH کلروپلاست و سیتوپلاسم (۶/۵ الی ۷/۵) نقش اساسی دارد. به‌طور کلی، منیزیم برای تجمع و اتصال واحدهای فرعی ریبوزوم‌ها ضروری است و این اتصال واحدهای ریبوزوم برای ساختن پروتئین لازم است. با کمبود منیزیم و افزایش پتاسیم، این واحدها از هم جدا شده و پروتئین‌سازی متوقف می‌شود. همچنین منیزیم برای فعالیت آنزیم آر.ان.ای - پلی مرز و ساخت آر.ان.ای نیاز است. 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. تنظیم فعالیت آنزیم ریبولوزیسی فسفات کربوکسیلاز: با مصرف منیزیم، فعالیت این آنزیم و تثبیت گاز کربنیک (فتوسنتز) افزایش می‌یابد.

منیزیم و انتقال مواد آلی

به‌طور کلی تحت شرایط کمبود منیزیم، برگ‌های منبع عامل اصلی محدودکننده رشد می‌شوند زیرا منیزیم در توزیع قندها، تجمع نشاسته و انتقال و بارگیری ساکارز از



شکل ۱۰- تأثیر کمبود منیزیم در رشد اندام هوایی، رشد و حجم ریشه، توزیع مجدد و بروز علائم کمبود در برگ‌های پایینی مرکبات
Figure 10- The effect of Mg deficiency on shoot growth, root growth and volume, Redistribution and its deficiency symptoms in citrus lower leaves

مدیریت کوددهی باغ و جذب منیزیم

نیتروژن: باغداران معمولاً با مصرف زیاد نیتروژن سعی در تحریک رشد رویشی و افزایش عملکرد دارند. مصرف زیاد نیتروژن ممکن است احتمال کمبود منیزیم را افزایش دهد. شکل نیتروژن مصرفی بیشتر از مقدار کل نیتروژن بر جذب منیزیم تأثیر دارد کوددهی خاکی با آمونیم بر مقدار منیزیم میوه‌ها تأثیر دارد از آنجایی که بین آمونیم و منیزیم برهمکنش منفی برای جذب توسط ریشه‌ها وجود دارد بنابراین مصرف زیاد کودهای آمونیمی در منطقه ریشه جذب منیزیم را کاهش می‌دهد. یون آمونیوم (NH_4^+) همچنین می‌تواند کمبود منیزیم را القا کنند اگرچه بعید است که این مشکل باشد زیرا نیتریفیکاسیون به سرعت انجام می‌شود، تبدیل آمونیوم به نترات 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 ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت خاک در حدود ظرفیت مزرعه‌ای و pH خاک حدود شش تا هفت است. 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.

پتاسیم و کلسیم: 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 به‌طور کلی نسبت پتاسیم به منیزیم (K:Mg) قابل تبادل در خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای تشخیص وضعیت منیزیم خاک و نیاز درختان مرکبات به کوددهی منیزیم است به‌طوری‌که نسبت پتاسیم به منیزیم بیشتر از ۱: ۰/۴ تا ۱: ۰/۵ نشان‌دهنده کمبود منیزیم است. گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد اگر نسبت پتاسیم به منیزیم بیشتر از ۱: ۰/۴ 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 از ۱: ۰/۵ در لایه سطحی خاک در خاک‌های با بافت متوسط و سنگین به ترتیب حدود ۱۵۰ و ۶۰۰ 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. کوددهی زیاد پتاسیم

نیز ممکن است ناهنجاری‌های کمبود منیزیم را افزایش دهند. معمولاً 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 مرستمی 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، اغلب اختلال در عمل آوندهای چوبی شروع می‌شود و ممکن است منجر به کاهش جذب کلسیم میوه‌ها شود درحالی‌که 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 (K^+/Ca^{2+})، منیزیم به کلسیم (Mg^{2+}/Ca^{2+}) یا پتاسیم و منیزیم به کلسیم (K^++Mg^{2+}/Ca^{2+}) 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 را در ساختمان و پایداری غشا 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 (Karly and White, 2009; Ye et al., 2019; 2020). مقدار زیاد کلسیم در خاک نیز ممکن است مستقیماً در جذب منیزیم اختلال ایجاد کند. نسبت کلسیم به منیزیم (Ca:Mg) قابل استفاده در خاک نیز یکی از شاخص‌های تشخیص وضعیت منیزیم خاک و نیاز درختان مرکبات به کوددهی منیزیم است به طوری‌که نسبت کلسیم به منیزیم بیشتر از ۷:۱ تا ۸:۱ نشان‌دهنده احتمال کمبود منیزیم است.

کوددهی خاکی (پخش سطحی، چالکود یا نواری و کودآبیاری)

انتخاب روش مصرف کودهای منیزیمی، برای باغ‌دارانی که می‌خواهند راندمان مصرف منیزیم را افزایش دهند و تلفات را کاهش دهند بسیار با اهمیت 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 حاشیه درختان به طور مناسب هرس شود. روش چالکود، نوع خاصی از جایگذاری موضعی کودهای شیمیایی و حیوانی است که بیشتر برای خاک‌های سبک و سنگین با آهک بالا توصیه می‌شود. در این روش با توجه به سن درختان، سه تا شش چاله در یک سوم قسمت انتهایی سایه‌انداز درختان حفر شده و سپس چاله‌ها با مخلوطی از کودهای حیوانی پوسیده و کودهای شیمیایی توصیه‌شده، پر می‌شوند. عرض چاله‌های حفر شده حدود ۵۰ سانتی‌متر، طول آن‌ها حداقل ۶۰ سانتی‌متر و عمق آن‌ها حدود ۵۰-۳۰ سانتی‌متر (با توجه به عمق پراکنش ریشه درختان) است. نکته مهمی که در اجرای روش چالکود باید به آن توجه شود جلوگیری از ورود خاک به داخل چاله‌ها است؛ زیرا این مسئله باعث کاهش کارایی روش چالکود می‌شود. چالکودها در سیستم آبیاری قطره‌ای در زیر قطره‌چکان‌ها و در سیستم آبیاری سطحی، در مسیر حرکت آب، حفر می‌گردند و هر سال می‌توان کودهای شیمیایی مورد نیاز را به سطح چاله‌ها افزود و نشست سطح چالکودها را با مواد آلی، جایگزین کرد؛ اما پس از گذشت چند سال، به دلیل افزایش قطر تاج و سایه‌انداز درختان، چالکودهای جدید باید حفر شود که در درازمدت می‌تواند باعث اصلاح موضعی خاک منطقه ریشه شود.

مصرف سولفات پتاسیم منیزیم برای باغ‌های بدون سیستم آبیاری تحت فشار و بدون تانک کود به صورت چالکود یا نواری در اوایل فصل رشد توصیه می‌شود. (جدول ۱۴) در مقابل، از مصرف کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم به شکل چالکود یا نواری برای درختان میوه اجتناب شود. به طور کلی 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 نترات منیزیم در اواخر زمستان و اوایل بهار، اغلب موجب هدر رفت 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 چالکود یا نواری، شستشوی آن‌ها را از تشدید می‌کند. همچنین مصرف کودهای محلول مانند اوره، سولفات آمونیم، سولفات منیزیم یا نترات منیزیم و... در منطقه ریشه (کود پایه) به صورت چالکود یا نواری 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 چالکود یا نواری 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 چاله‌ها، روی چالکودها خودداری شود. همچنین توصیه می‌شود سال بعد، در صورت اقدام به حفر چالکودهای جدید، محل چاله‌های اطراف درخت، تغییر داده شود به طوری که بعد از چند سال، نواری از چالکود 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 چالکود اجتناب شود و کودهای سولفات یا نترات منیزیم در تقسیط‌های متوالی متناسب با فنولوژی و فیزیولوژی رشد میوه درختان به شکل کودآبیاری مصرف شوند.

جدول ۱۴- منابع کودی منیزیم برای مصرف خاکی (چالکود و نواری) درختان مرکبات (Asadi Kangarshahi, 2018)

Table 14- Sources of magnesium fertilizers for soil application (cultan or strip) of citrus trees

کود Fertilizer	فرمول شیمیایی Chemical formula	اکسید پتاسیم Potassium oxide (K ₂ O)	پتاسیم Potassium (K)	اکسید منیزیم Magnesium oxide (MgO)*	منیزیم Magnesium (Mg)	گوگرد Sulfur (S)
سولفات پتاسیم منیزیم Magnesium Potassium sulfate	K ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·2H ₂ O	22	18.26	18	10.6	22

*. ضریب تبدیل منیزیم: $MgO \times 0.60 = Mg$

کودآبیاری

علت حلالیت کم، فقط به شکل کود پایه در شروع فصل رشد (در اسفندماه) 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 یک باره کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم به شکل کود پایه در اوایل فصل رشد (اسفندماه در باغ‌های مرکبات شمال کشور) خودداری شود؛ زیرا مصرف خاکی کودهای سولفات پتاسیم و نیترات منیزیم در اسفندماه و در اوایل بهار از راندمان جذب بسیار پایینی برخوردار است. 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).

کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم از معمول‌ترین کودهای منیزیمی محلول در آب هستند که می‌توانند توسط سیستم آبیاری برای درختان مرکبات مصرف می‌شوند. کودهای تزریق‌شده 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 (چالکود یا مصرف نواری) با فرمول شیمیایی و حلالیت آن‌ها در آب (کیلوگرم در مترمکعب) در جدول‌های ۷-۱ تا ۷-۳ آورده شده است. مصرف کودهای سولفات منیزیم و نیترات منیزیم در طول فصل رشد (کودآبیاری)، برای درختان بارده مرکبات مناسب است (جدول ۱۵)؛ اما مصرف سولفات پتاسیم منیزیم به

جدول ۱۵- منابع کودی منیزیم برای کودآبیاری درختان مرکبات

Table 15-Sources of magesium fertilizers for fertigation of citrus trees (Asadi Kangarshahi, 2018)

نیتروژن Nitrogen (N)	گوگرد Sulfur (S)	منیزیم Magnesium (Mg)	اکسید منیزیم Magnesium oxide (MgO)	حلالیت در آب (کیلوگرم در مترمکعب) Solubility in water (kg/1000L)	فرمول شیمیایی Chemical formula	کود Fertilizer
درصد %						
-	12.6	9.6	16	1100	MgSO ₄ ·7H ₂ O	سولفات منیزیم Magnesium sulfate
10.5	-	9.4	15.7	700	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	نیترات منیزیم Magnesium nitrat

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 چالکود، 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 غیر مؤثر 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 به شدت کاهش می‌یابد. مصرف کودها با آب آبیاری، غلظت کل نمک‌های محلول (TDS) آب آبیاری را

بیشتر باغ‌دارانی که سیستم آبیاری تحت فشار (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 تا حد امکان، کوتاه باشد و فاصله زمانی بین آبیاری‌ها نیز کاهش داده شود. اگر کاهش مدت‌زمان آبیاری در هنگام کودآبیاری، امکان‌پذیر نباشد تزریق، باید نزدیک انتهای سیکل 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

درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸).

▪ **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 ۱۰ درصد فروردین، ۲۰ درصد اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد و پنج درصد نیمه اول تیر، پنج درصد نیمه دوم مرداد، ۲۰ درصد شهریور و ۲۰ درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸).

مقدار مصرف منیزیم (کوددهی خاکی و کودآبیاری)

مقدار مصرف کودهای منیزیمی برای درختان جوان مرکبات بر اساس نتایج تجزیه خاک، نتایج تجزیه برگ و تفسیر آن است. اگر مقدار منیزیم قابل استفاده خاک در دامنه متوسط یا کمتر است، مصرف کودهای منیزیم برای درختان جوان غیر بارده، حداکثر معادل با ۲۰ درصد نیتروژن مصرفی توصیه می‌شود. اگر نتایج تجزیه خاک در سال‌های بعدی نشان داد که مقدار منیزیم قابل استفاده خاک در حد کفایت باشد، مصرف کودهای منیزیمی باید کاهش یابد (Asadi Kangarshahi, 2019). اگر نتایج تجزیه خاک، میزان منیزیم را زیاد یا خیلی زیاد (بیشتر از ۷۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) نشان دهد به مصرف کود منیزیم نیازی نیست.

۱. اگر نتایج تجزیه خاک، مقدار منیزیم قابل استفاده را در دامنه مطلوب (بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) نشان داد مصرف خاکی کود منیزیم توصیه نمی‌شود.
۲. اگر نتایج تجزیه خاک، مقدار منیزیم قابل استفاده را در دامنه کم (بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) قرار داد کود منیزیم مصرفی به شکل MgO (مجموع مصرف خاکی و محلول‌پاشی) معادل ۲۰ درصد مقدار نیتروژن، توصیه می‌شود.

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 ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر، اگر مدیریت آبیاری مناسب انجام نشود ممکن است موجب صدمه به برگ‌های درختان در فصل گرم سال شوند. مصرف کودهای دارای آمونیاک (NH_3) آزاد (مانند اوره، سولفات آمونیوم و نترات آمونیوم)، هم‌زمان با مصرف کودهای منیزیمی در سیستم آبیاری تحت فشار ممکن است موجب رسوب منیزیت^۳ ($MgCO_3$) در لوله‌های سیستم آبیاری شده و ممکن است در مواردی موجب مسدود شدن آن‌ها و گرفتگی قطره‌چکان‌ها شود؛ که می‌توان با افزودن اسید، آن را رفع کرد. واکنش‌های رسوب کلسیت و منیزیت با هم مشابه است.

زمان مصرف خاکی کودهای منیزیم (کودآبیاری)

به‌طورکلی بر اساس پژوهش‌های میدانی و فنولوژی رشد رویشی و زایشی درختان مرکبات، مدیریت زمانی کوددهی منیزیم (سولفات یا نترات منیزیم) به روش کودآبیاری برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه مرکبات در مناطق مختلف کشور شامل:

▪ **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 ۱۰ درصد خرداد، ۳۰ درصد تیر، ۳۰ درصد مرداد و ۳۰ درصد شهریور (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) می‌شود.

▪ **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 ۱۰ درصد اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد، ۲۰ درصد مرداد، ۲۵ درصد شهریور و ۲۵

عملکرد حدود ۵۰ تن در هکتار حدود ۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم منیزیم (MgO) است

محلول پاشی

به طور کلی محلول پاشی برگ‌گی نمی‌تواند جایگزین مصرف خاکی کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای درختان مرکبات شود. با این حال، برخی عناصر غذایی پرمصرف (ماکرو) می‌توانند به مقدار کافی برای محلول پاشی برگ‌گی مصرف شوند زیرا بر رشد درختان جوان، عملکرد و کیفیت میوه تأثیر زیادی دارند. محلول پاشی برگ‌گی نترات منیزیم متناسب با فنولوژی رشد میوه، روشی مناسب برای تأمین نیاز منیزیم است (جدول‌های ۱۶ و ۱۷). محلول پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف (میکرو) در کوتاه مدت، بسیار مؤثرتر از مصرف خاکی این عناصر است (به استثنای آهن). محلول پاشی برگ‌گی، سریع‌تر توسط درختان جذب می‌شود اما اثرش فقط تا زمانی باقی می‌ماند که آن جهش رشدی کامل شود. عناصر غذایی کم‌مصرف (میکرو) و دیگر منابع غذایی شامل کلات‌ها و مواد با بنیان نترات، اغلب می‌توانند با حشره‌کش‌ها، روغن‌های محلول پاشی، مویان‌ها و دیگر محصولات در تانک محلول اختلاط و مصرف شوند. گاهی اوقات، شیمی این مخلوط‌ها همراه با شرایط محیطی و وضعیت درخت در زمان انجام محلول پاشی 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 شاخ و برگ 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 محلول پاشی در مخلوط تانک محلول اسپری استفاده شوند. کاهش تعداد ترکیبات (کودها و آفت‌کش‌های مختلف) در محلول داخل تانک و همچنین محلول پاشی در زمانی که درختان تحت تنش نباشند یا

۳. اگر نتایج تجزیه خاک، منیزیم قابل استفاده خاک را در دامنه خیلی کم (کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) قرار داد کود منیزیم به شکل MgO (مجموع مصرف خاکی و محلول پاشی) معادل با ۳۰ درصد مقدار نیتروژن مصرفی، توصیه می‌شود (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi, Amiri, 2018).

۴. 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 قابل استفاده 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.

اما مقدار مصرف کودهای منیزیمی برای درختان بارده مرکبات بر اساس عملکرد، نتایج تجزیه خاک، نتایج تجزیه برگ و تفسیر آن است. اگر نتایج تجزیه خاک نشان دهد که مقدار منیزیم خاک، کمتر از دامنه کفایت (متوسط یا کم) است پیشنهاد می‌شود کود منیزیم به مقدار حداکثر ۲۰ درصد نیتروژن توصیه شده، مصرف شود؛ اما اگر نتایج تجزیه خاک نشان دهد که مقدار منیزیم خاک بیش از حد مطلوب 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 (نترات منیزیم)، به روش محلول پاشی، به‌ویژه در فاز دوم رشد میوه مصرف شوند. اگر باغ نتایج تجزیه خاک و برگ ندارد و عملکرد باغ حدود ۲۰ تن در هکتار است حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار در سال توصیه می‌شود و اگر عملکرد بیشتر از ۲۰ تن در هکتار است علاوه بر آن ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم منیزیم (MgO) در هکتار، به ازای هر تن افزایش عملکرد حدود یک کیلوگرم منیزیم (MgO) به آن افزوده شود. به طور کلی مقدار مصرف سالیانه منیزیم (MgO) برای باغ‌های با

تنش‌ها در حداقل باشند پتانسیل صدمه و خسارت را کاهش می‌دهد.

جدول ۱۶- منابع کودی منیزیم برای محلول‌پاشی درختان مرکبات

Table 16- Sources of magnesium fertilizers for fertigation of citrus trees (Asadi Kangarshahi, 2018)

نیتروژن Nitrogen (N)	گوگرد Sulfur (S)	منیزیم Magnesium (Mg)	اکسید منیزیم Magnesium oxide (MgO)	حلالیت در آب (کیلوگرم در مترمکعب) Solubility in water (kg/1000L)	فرمول شیمیایی Chemical formula	کود Fertilizer
درصد %						
10.5	-	9.4	15.7	700	Mg(NO ₃) ₂ .6 H ₂ O	نیترات منیزیم Magnesium nitrat

جدول ۱۷- محلول‌پاشی منیزیم برای درختان بارده مرکبات

Table 17- Magnesium foliar application for citrus fruits trees

غلظت و نوع کود Fertilizer concentration and type	مرحله رشدی Growth stage	ردیف line
محلول‌پاشی نیترات منیزیم با غلظت پنج تا هشت در هزار همراه با اوره با غلظت دو تا سه در هزار و مویان مناسب محلول‌پاشی با غلظت نیم در هزار	اوایل تا اواسط مرحله دوم رشد میوه Early to mid second stage (II) of fruit growth	1
محلول‌پاشی نیترات منیزیم با غلظت ۸ تا ۱۰ در هزار مویان مناسب محلول‌پاشی با غلظت نیم در هزار	اواخر مرحله دوم رشد میوه late second stage (II) of fruit growth	2

اختلاط کودهای منیزیم: منابع کودی منیزیم، امکان اختلاط آن با سایر کودهای شیمیایی و همچنین اختلاط هایی که موجب کاهش حلالیت و یا رسوب می‌شوند در جدول ۱۸ آورده شده است. باغ‌داران می‌توانند از این جدول‌ها به‌عنوان جدول راهنما برای اختلاط کودهای منیزیمی با سایر کودهای شیمیایی برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی استفاده نمایند. به‌طورکلی کارشناسان و باغداران توجه داشته باشند که در هنگام مصرف کودهای محلول‌پاشی استفاده نمایند. به‌طورکلی کارشناسان و باغداران توجه داشته باشند که در هنگام مصرف کودهای محلول‌پاشی توسط سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار (آبیاری قطره‌ای) یا در تانک کود برای محلول‌پاشی از اختلاط این کودها با کودهایی که ناسازگار یا موجب کاهش حلالیت می‌شوند اجتناب کنند زیرا که امکان رسوب و گرفته شدن قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهد و همچنین در

محلول‌پاشی موجب کاهش راندمان جذب و در مواردی امکان خسارت به میوه را تشدید می‌کند؛ 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 جدول های ۷-۴ و ۷-۵، منابع کودی که امکان اختلاط دارند و همچنین اختلاط‌هایی که موجب کاهش حلالیت و یا رسوب می‌شوند نشان داده شده است. باغ‌داران می‌توانند از این جدول‌ها به‌عنوان جدول راهنما برای اختلاط کودهای منیزیمی با سایر کودهای شیمیایی برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی استفاده کنند (Asadi Kangarshahi, 2019).

جدول ۱۸- سازگاری و امکان اختلاط کودهای منیزی با برخی کودها و ترکیبات شیمیایی معمول برای کود آبیاری و محلول پاشی
 Table 18- Compatibility and the possibility of mixing magnasium fertilizers with some fertilizers and common chemical compounds for fertigation and foliar spraying
 (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014)

کود Fertilizer	اوره Urea	نیتрат آمونیم Ammonium nitrate	سولفات آمونیم Ammonium sulfate	نیترات کلسیم Calcium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات پتاسیم Potassium nitrate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sulfate	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
نیترات منیزیم Magnasium nitrate	✓	R	✓	R	✓	R	✓	✓	✓
کود Fertilizer	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfate	کلات های آهن Iron chelates	کلات های منگنز Manganese chelates	کلات های روی Zinc chelates	کلات های مس Copper chelates	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید نیتریک Ntrric acid
نیترات منیزیم Magnasium nitrate	✓	✓	✓	✓	✓	✓	R	✓	✓

✓- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)
 ✓-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

کود Fertilizer	اوره Urea	نیترات آمونیم Ammonium nitrate	سولفات آمونیم Ammonium sulfate	نیترات پتاسیم Potassium nitrate	کلرید پتاسیم Potassium chloride	نیترات کلسیم Calcium nitrate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sulfate	فسفات پتاسیم Potassium phosphate
سولفات منیزیم Magnasium sulfate	✓	✓	R	✓	✓	X	R	R	R
کود Fertilizer	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfate	کلات های آهن Iron chelates	کلات های منگنز Manganese chelates	کلات های روی Zinc chelates	کلات های مس Copper chelates	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید نیتریک Ntrric acid
سولفات منیزیم Magnasium sulfate	R	R	✓	✓	✓	✓	R	R	✓

✓- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)
 ✓-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

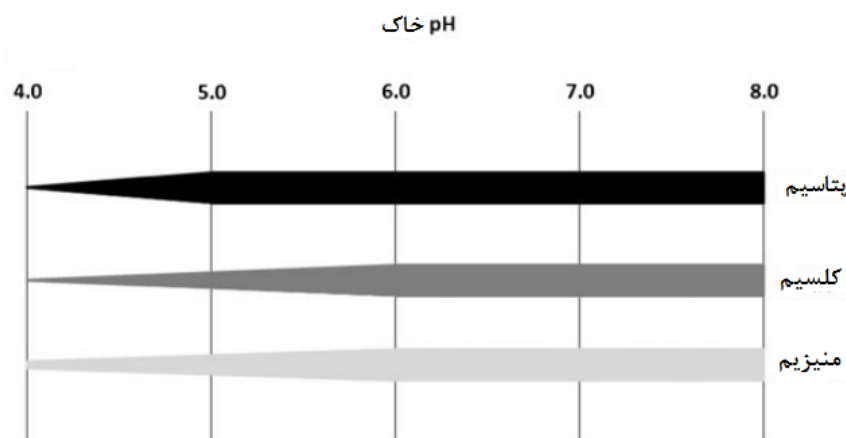
منیزیم و واکنش خاک (pH)

کمبود منیزیم در خاک های اسیدی به دلیل اشباع بالای ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک با یون های هیدروژن (H^+) و در نتیجه شستشوی منیزیم و اختلال در جذب آن یک چالش است. در واقع، بیشتر مطالعات گزارش کرده اند که pH پایین خاک، نرخ شستشوی منیزیم را از پروفیل خاک تشدید می کند. به طور تقریبی حدود ۳۰ درصد از کل زمین های جهان اسیدی است (با $pH < 5.5$) در لایه سطحی خاک) که حدود چهار میلیارد هکتار است. با توجه به گسترش زمین های قابل کشت، (Huang 1983)

حتی تخمین زد که حدود ۷۰ درصد از زمین های قابل کشت بالقوه اسیدی است. اسیدیته خاک نه تنها یک مشکل دائمی خاک است، بلکه با عمل کوددهی کشاورزی نیز بیشتر می شود. در واقع Guo و همکاران (2010) توانست با مقایسه pH خاک و عملیات کوددهی خاک های مختلف چین در سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰، تأثیر قابل توجهی از کوددهی بیش از حد نیتروژن و کاتیون های بازی را بر اسیدی شدن خاک اندازه گیری کند. در میان ترکیب کمی کاتیونی خاک، اسیدیته خاک نیز بر جذب منیزیم توسط گیاهان تأثیر می گذارد زیرا pH پایین در

خاک‌های با منیزیم قابل استفاده کم (به‌ویژه در خاک‌های اسیدی) ایجاد می‌شود. شستشوی منیزیم خاک و همچنین شستشوی منیزیم مصرف شده در خاک‌های با pH حدود ۴/۵ تا ۵ 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 (Klug and Horst, 2010; Ma et al., 2001).

جذب کاتیون‌های اصلی (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) اختلال ایجاد می‌کند. تأثیر pH خاک بر قابلیت استفاده سه کاتیون اصلی به‌صورت نمایی در شکل ۱۱ برای محدوده pH واقعی برای زمین‌های زراعی نشان داده شده است. کاهش فراهمی دو کاتیون اصلی کلسیم و منیزیم در pH اسیدی (کمتر از شش) نتیجه ناتوانی فزاینده درختان در ایجاد و حفظ pH مطلوب و در نتیجه گرادیان الکتروشیمیایی در سراسر غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه است (Schubert et al., 1990). به‌طور کلی کمبود منیزیم در



شکل ۱۱- قابلیت استفاده پتاسیم، کلسیم و منیزیم در ارتباط با pH خاک
Figure 11- Availability of Mg, Ca and K in dependence of the soil pH

منیزیم و نسبت اندام هوایی به ریشه: گزارش‌های مختلف نشان داده است که 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 (Ding et al., 2006). یکی از مهم‌ترین واکنش اولیه درختان مرکبات به کمبود منیزیم، تجمع کربوهیدرات در برگ‌های منبع و کاهش رشد ریشه به دلیل محدودیت عرضه کربوهیدرات به ریشه است (Asadi Kangarshahi, 2014; Cakmak et al., 1994). از این رو، 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؛ بنابراین در شرایط کمبود منیزیم، رشد ریشه درختان مرکبات بسیار بیشتر از رشد اندام هوایی آن‌ها خسارت می‌

منیزیم و 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 (Fischer, 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. با توجه به 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. به‌طور کلی تحقیقات بیشتری برای درک اثرات افزایش مواد آلی خاک بر تغذیه معدنی مرکبات نیاز است.

بیند. به‌طورکلی پتانسیل کاهش کمبود منیزیم با کاهش نسبت شاخه به ریشه و افزایش رشد سیستم ریشه وجود دارد. در مرکبات، نسبت ساقه به ریشه به‌طور قابل توجهی با تنوع پایه و پیوندک، شرایط خاک، سن گیاه و شیوه‌های مدیریتی متفاوت است. نسبت ساقه 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 انتخابی کمتر می‌تواند با بهبود نفوذ نور به داخل سایبان، 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 فشردگی خاک شود)، فاصله کاشت بیشتر (فاصله بیشتر بین و روی هر ردیف) و افزایش مصرف مواد آلی گسترش داد. البته کاشت گیاهان پوششی مناسب در کف باغ نیز می‌تواند بر چرخه مواد غذایی، فعالیت میکروبی و میکروریزی، مواد آلی خاک، ساختار خاک و توزیع ریشه درخت تأثیر داشته باشد.

منیزیم، بافت و تراکم خاک (وزن مخصوص ظاهری): 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 پایین به مدیریت آبیاری فشرده‌تری نیاز دارند حجم زیاد آب مصرفی در هر آبیاری (در یک‌زمان) می‌تواند موجب آب شویی 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. به‌طورکلی کلاس‌های متوسط و نسبتاً درشت (لوم شنی، لوم، لوم سیلتی و سیلتی) مناسب‌ترین کلاس‌های بافت خاک برای کاشت درختان مرکبات هستند. بافت‌های لوم رسی سیلتی، لوم رسی، لوم رسی شنی 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 مؤثر است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2017). نتایج گزارش‌های سال‌های اخیر در مورد تأثیر طولانی‌مدت کوددهی ترکیبی منیزیم و پتاسیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و نفوذ ریشه در خاک نشان 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 می‌شود این اثر فیزیکی خاک عمدتاً به پتاسیم نسبت داده می‌شود اما به موازات تغییرات فیزیکی و ذخیره‌سازی آب خاک ناشی از پتاسیم، عمق ریشه‌زایی افزایش می‌یابد و با توجه به 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 (Cakmak and Marschner, 1992).

منیزیم، خشکی و تنش گرمایی: 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 اشغال‌شده و در نتیجه دسترسی کمتر درختان به منابع خاکی می‌شود (Cakmak and Kirkby, 2008). به‌طورکلی تنش نور زیاد که اغلب با خشکی و تنش گرمایی همراه است، یک چالش عمده در تولید محصول است (Mittler, 2006). با توجه به پیش‌بینی‌ها، فراوانی رخداد شرایط آب و هوایی حاد (به دلیل فرآیندهای دخیل در تغییرات آب و هوایی) به تدریج افزایش خواهد یافت. نقش

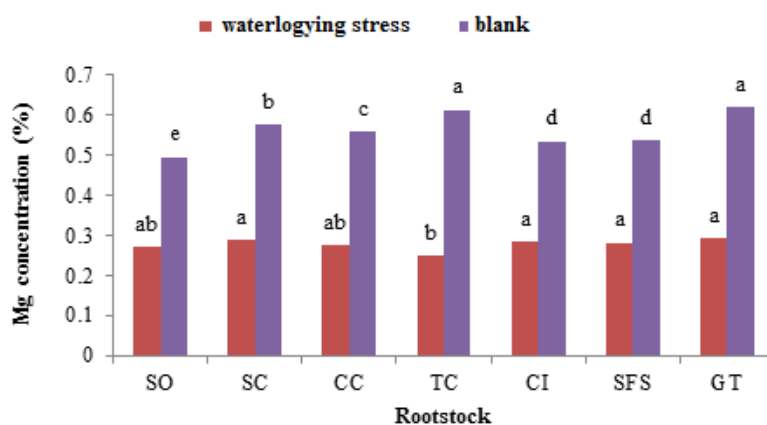
منیزیم در متابولیسم گیاه به‌ویژه در شرایط تنش به‌خوبی شناخته شده است (Cakmak and Kirkby, 2008). منیزیم در تشکیل و جابجایی کربوهیدرات‌ها نقش دارد. باین‌حال، در شرایط کمبود منیزیم، به‌شدت در این فرآیندهای متابولیسم اولیه اختلال ایجاد خواهد شد. نتایج گزارش‌های پژوهشی نشان داده است که در شرایط نور زیاد، نیاز درختان به منیزیم افزایش می‌یابد. به‌طورکلی تحت شرایط منیزیم کمتر از حد مطلوب و نور زیاد، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن 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 می‌یابد که ناشی از اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی و کاهش مصرف مواد فتوسنتزی است (Cakmak and Marschner, 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 به‌طور مطلوب برآورده شود. در نتیجه، در درختانی که به‌خوبی منیزیم برای آن‌ها تأمین شوند، تفاوت چندانی در حساسیت به تنش‌های نوری مشاهده نمی‌شود، بنابراین در شرایط فراهمی بهینه منیزیم، مصرف بیشتر منیزیم توصیه نمی‌شود. باین‌حال، همان‌طور که در ابتدا ذکر شد، به‌طورکلی 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 به‌طور 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 این‌که 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 می‌تواند از نظر اقتصادی بسیار مفید باشد (Römheld and Kirkby, 2007). برای به حداکثر رساندن جذب منیزیم و درعین‌حال به حداقل رساندن هدروری منیزیم از خاک، باید از منابع منیزیم استفاده کرد که آزادسازی منیزیم آن‌ها تدریجی و مطابق با نیازهای گیاه باشد (Härdter et al., 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 مدنظر قرار گیرد، همچنین برای محلول-پاشی برگ‌ی، ظرفیت آن نمک منیزیم خاص برای ایجاد علائم خسارت و سوختگی را نیز باید در نظر گرفت. به‌طورکلی محلول‌پاشی منیزیم به‌ویژه همراه با نیتروژن (اوره) در طول مراحل تولید زایشی بسیار مؤثر است زیرا انتقال مواد جذب‌شده به اندام‌های قابل‌برداشت (میوه) افزایش می‌یابد و در نتیجه رقابت آن‌ها با ریشه‌ها به‌عنوان دومین سینک قوی برای متابولیت‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Asadi Kangarshahi, 2019; Römheld and Kirkby, 2007). باین‌حال، از نظر پایداری عملکرد، حفظ رشد ریشه از نظر تأمین پایدار آب و عناصر غذایی تحت تنش خشکی بسیار مفید است.

منیزیم، آبیاری و تنش مانداب: مقدار رطوبت خاک بر انتشار منیزیم به ریشه تأثیر دارد به‌طوری‌که با افزایش مقدار آب در خاک، انتشار منیزیم نیز افزایش می‌یابد. این افزایش انتشار، به‌طور عمده ناشی از افزایش در سطح مقطع انتشار و کاهش در کج‌ومعوجی مسیر انتشار است؛ بنابراین با افزایش رطوبت خاک، ضریب انتشار مؤثر (D_e) منیزیم در خاک افزایش می‌یابد و به‌طورکلی، فراهمی منیزیم به سطح ریشه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی تنش مانداب در جذب منیزیم تأثیر دارد و زمانی که تهویه خاک منطقه ریشه به کمتر از ۱۰ درصد برسد جذب منیزیم کاهش می‌یابد. میزان اکسیژن در فضای منافذ خاک به‌ندرت به کمتر از ۱۰ درصد می‌رسد مگر این‌که خاک مانداب یا غرقاب شود. همچنین غلظت منیزیم در برگ درختان مرکبات نیز به‌شدت تحت تأثیر شرایط تنش مانداب قرار می‌گیرد و مقدار منیزیم

۷۰ درصد)، همراه آنیون‌های قابل انتشار است؛ بنابراین منیزیم در گیاه خیلی متحرک است. با غرقاب شدن خاک، غلظت منیزیم در محلول خاک افزایش یافت اما در مقابل غلظت منیزیم در ریشه و برگ پایه‌های مختلف کاهش نشان داد. تغییرات غلظت منیزیم در برگ بیشتر از ریشه بود. کاهش غلظت منیزیم در ریشه و برگ به علت کاهش فراهمی انرژی در شرایط تنش ماندابی برای جذب فعال منیزیم است که متناسب با کاهش فراهمی انرژی در ریشه، جذب منیزیم نیز کاهش یافت. کاهش بیشتر غلظت منیزیم در برگ نسبت به ریشه ناشی از کاهش هدایت هیدرولیکی ریشه و کاهش انتقال مواد در آوند چوبی است. از طرفی، منیزیم یک ترکیب مهمی از کلروفیل است که بر عملکرد کلروپلاست و فرآیند انتقال الکترون در دستگاه نوری II تأثیر دارد به علاوه در فعال‌سازی تعداد زیادی از آنزیم‌ها، توزیع کربوهیدرات‌ها و بارگیری آوند آبکش نقش اساسی دارد (Li et al., 2017; Hermans et al., 2013).

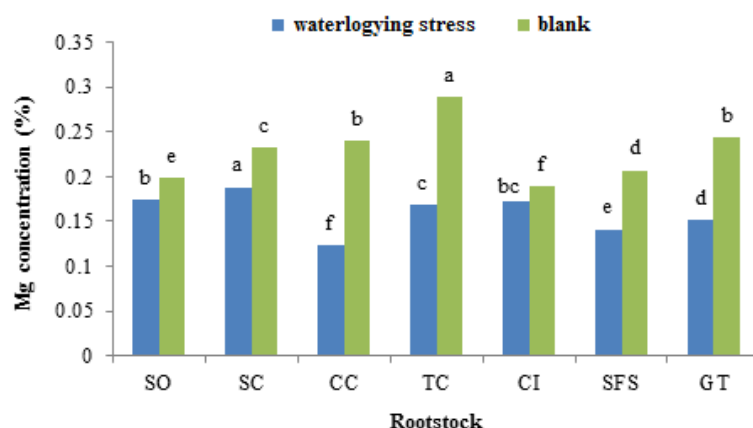
در برگ بسیار بیشتر از منیزیم ریشه تحت تأثیر شرایط تنش قرار می‌گیرد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). نتایج بررسی‌های میدانی نشان داده است که میانگین غلظت منیزیم در برگ از ۰/۵۶ درصد در شاهد به ۰/۲۸ درصد در تیمار تنش ماندابی رسید که ۵۰ درصد نسبت به شاهد کاهش نشان داد. همچنین میانگین غلظت منیزیم در ریشه از ۰/۲۳ درصد به ۰/۱۶ درصد کاهش یافت که تغییرات آن ۳۰/۴ درصد بود (Asadi Kangarshahi, 2021). منیزیم به شکل کانی‌های مختلف و همچنین شکل قابل تبادل در خاک وجود دارد. منیزیم بعد از کلسیم، بیشترین فراوانی در مکان‌های تبدالی را دارد که معمولاً ۴ تا ۲۰ درصد مکان‌های تبدالی خاک را اشغال می‌کند. غلظت منیزیم در اندام‌های مختلف درختان کمتر از کلسیم و پتاسیم است و به‌طور فعال توسط ریشه گیاهان جذب می‌شود. منیزیم در ساختمان کلروفیل و همچنین به‌عنوان فعال‌کننده بسیاری از واکنش‌های آنزیمی در گیاه عمل می‌کند. بخش عمده منیزیم در گیاه (بیش از



شکل ۱۲- تأثیر مانداب طولانی‌مدت بر تغییرات غلظت منیزیم در برگ درختان مرکبات با پایه‌های مختلف

Figure 12- The effect of long-term waterlogging stress on changes in Mg concentration in leaves and roots of citrus trees with different rootstocks

(SO: نارنج؛ SC: سوینگل سیتروملو؛ CC: کاریزوسیترنج؛ TC: ترویرسیترنج؛ CI: سی ۳۵؛ SFS: اسموت‌فلت‌سویل؛ GT: گوتو)



شکل ۱۳- تأثیر مانداب طولانی‌مدت بر تغییرات غلظت منیزیم در برگ و ریشه درختان مرکبات با پایه‌های مختلف
Figure 13- The effect of long-term waterlogging stress on changes in Mg concentration in leaves and roots of citrus trees with different rootstocks

(SO: نارنج؛ SC: سوینگل سیتروملو؛ CC: کاریزوسیترنج؛ TC: ترویرسیترنج؛ CI: سی ۳۵؛ SFS: اسموت‌فلت‌سویل؛ GT: گوتو)

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.

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 پنج درصد نیاز سالانه در اوایل فصل (فروردین‌ماه) شروع شود و در شهریور و مهر به حداکثر مقدار (۲۰ درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در آبان ماه با مصرف ۱۵ درصد مصرف سالانه، کوددهی متوقف شود و در مناطق با اقلیم گرم مانند بندرعباس (ابراهیم‌آباد و نازدشت) و دزفول، کوددهی پتا سیم با پنج درصد نیاز سالانه در نیمه دوم بهمن‌ماه شروع شود و در اردیبهشت و خردادماه به حداکثر مقدار (به ترتیب ۱۵ و ۲۰ درصد نیاز سالانه) افزایش داده شود و در نیمه اول تیرماه، با مصرف پنج درصد نیاز سالانه، مصرف کودهای منیزیمی متوقف شود. سپس در نیمه دوم شهریورماه با مصرف پنج درصد مصرف سالانه، کوددهی منیزیمی دوباره آغاز شود و در آبان ماه به حداکثر مقدار مصرف (۱۵ درصد نیاز سالانه)،

منیزیم و 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 مؤثر (De) منیزیم، قدرت بافری (b) و غلظت منیزیم در محلول خاک، مؤثر 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 (Barber, 1995; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014).

توصیه ترویجی

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 (با توجه به نوع رقم) به حداکثر می‌رسد.

شهریور و ۲۰ درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) مصرف شود.

به‌طورکلی، محلول‌پاشی‌های ضروری منیزیم متناسب با فنولوژی درختان برای باغ‌های مرکبات در مناطق شمال و جنوب کشور شامل محلول‌پاشی نیترات منیزیم (با غلظت چهار تا شش در هزار) با اوره (با غلظت دو تا سه 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.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

افزایش یابد و در آذرماه نیز کوددهی متوقف شود.

به علت نقش کودهای منیزی می در اندازه و کیفیت میوه، توصیه می‌شود مقدار منیزی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد برای یک سال زراعی درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود در مناطق شمالی حدود ۱۰ درصد آن خردآدماه، ۳۰ درصد تیرماه، ۳۰ درصد مردادماه و ۳۰ درصد شهریورماه (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند)، در مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان) حدود ۱۰ درصد آن در اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد، ۲۰ درصد مرداد، ۲۵ درصد شهریور و ۲۵ درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) و در مناطق جنوبی (هرمزگان) حدود ۱۰ درصد فروردین، ۲۰ درصد اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد و پنج درصد نیمه اول تیر، پنج درصد نیمه دوم مرداد، ۲۰ درصد

Reference

1. Asadi Kangarshahi, A., 2021. The effect of waterlogging conditions on some chemical and electrochemical changes in soil solution of calcareous soils. *Soil Research*, 35(2), pp. 171-188. DOI: 10.22092/IJSR.2021.354452.607 (in Persian)
2. Asadi Kangarshahi, A., 2018. Growth trend, nutritional responses and tolerance of Teroye citrange in calcareous soils. *Land Management*, 6(2), pp. 195-212. DOI: 10.22092/LMJ.2019.118338
3. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2022. Evaluation of vegetative, physiological and chlorosis characteristics of Satsuma mandarin on Carrizo citrange in some calcareous soils. *Soil Research*, 36(1), pp. 47-68. DOI: 10.22092/IJSR.2022.126890
4. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2022. Physiological and nutritional responses of Satsuma mandarin on Smooth flat Seville in some calcareous soils. *Soil Research*, 36(4), pp. 370-389. DOI: 10.22092/IJSR.2023.360671.686
5. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2020. Evaluation of growth rate and vegetative and physiological characteristics of Satsuma mandarin on C-35 rootstock in some calcareous soils. *Soil Research*, 34(2), pp. 215-234. DOI: 10.22092/IJSR.2020.122521
6. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N. and Fallah, A.R., 2019. Guide to sampling and interpretation of soil and leaf analysis results for citrus trees. Technical publication number 561. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (in Persian)
7. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2017. Growth trend, nutritional responses (microelements) and chlorosis degree of Swingle citromelo in calcareous soils of east of Mazandaran. *Soil Research*, 31(2), pp. 177-195. DOI: 10.22092/IJSR.2017.113099
8. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2018. Establishment of sustainable citrus orchard (with emphasis on soil survey, land suitability, land preparation, planting, design and installation of irrigation systems, rootstock and plant selection, fertilization, pruning, etc). Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
9. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2014. Advanced and Applied Citrus Nutrition, (I). Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
10. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2014. Advanced and Applied Citrus Nutrition, (II). Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)

11. Asadi Kangarshahi, A., 2019. Nutrition Management of Citrus Trees (1th ed.). Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
12. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., Mahmoudi, M. and Malkouti, M.J., 2001. Recognition of nutritional disorders in Mazandaran citrus orchards (restrictions and recommendations), I: macro-elements. Technical publication number 268. Agricultural education publication. Agricultural Research and Training Organization, Ministry of Agriculture, Karaj, Iran. (in Persian)
13. Andersson, I., 2008. Catalysis and regulation in Rubisco. *J. Exp. Bot.*, 59, pp.1555–1568.
14. Bai, Y.L., Jin, J.Y., Yang, L.P., 2004. Study on the content and distribution of soil available magnesium and foreground of magnesium fertilizer in China. *Soil Fert Sci in China*, 2, pp.3–5.
15. Barber, S.A., 1995. Soil nutrient availability: a mechanistic approach. Wiley, UK.
16. Bergmann, W., 1992. Nutritional disorders of plants-Development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Verlag, Germany.
17. Cakmak, I. and Yazici, A.M., 2010. Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops*, 94, pp. 23–25.
18. Cakmak, I. and Kirkby, E.A., 2008. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. *Physiol. Plant*, 133, pp. 692–704.
19. Cakmak, I., Hengeler, C. and Marschner, H., 1994. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.*, 45, pp. 1245–1250.
20. Cakmak, I. and Marschner, H., 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiol*, 98, pp.1222–1227.
21. Ding, Y. and Xu, G., 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, pp. 601–608.
22. Ding, Y., Luo, W. and Xu, G., 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. *Ann. Appl. Biol.*, 149, pp. 111–123.
23. Edmeades, D.C., 2004. The magnesium requirements of pastures in New Zealand: a review. *Agric. Res.* 47, pp.363–380. <https://doi.org/10.1080/00288233.2004.9513605>.
24. Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. and Mearns, L.O., 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, pp.2068–2074.
25. El-Fouly, M.M., Rezk, A.I., Nofal, O.A. and El-Nour, A.A., 2010. Depletion of magnesium in Egyptian soils, its content in crops and estimated needs. *African Journal of Agricultural Research*, 5, pp. 1060-1067.
26. Erner, Y., Shapchiski, S. Bazelet, M., Artzi, B. and Lavon. R., 2004. Long-term responses of magnesium-deficient Shamouti orange trees of magnesium application. *Ciencia Investigacion Agraria*, 31, pp.167-173.
27. Farhat, N., Sassi, H., Zorrig, W., Abdelly, C., Barhoumi, Z., Smaoui, A. and Rabhi, M., 2015. Is excessive Ca the main factor responsible for Mg deficiency in *Sulla carnosa* on calcareous soils? *J. Soil Sediment*, 15, pp. 1–8. **doi:10.1007/s11368-015-1101-y**
28. Farhat, N., Rabhi, M., Krol, M., Barhoumi, Z., Ivanov, A.G., McCarthy, A., Abdelly, C., Smaoui, A. and Huner, N.P.A., 2014. Starch and sugar accumulation in *Sulla carnosa* leaves upon Mg²⁺? Starvation. *Acta Physiol Plant*, 36, pp. 2157-2165. **Doi: 10.1007/s11738-014-1592-y**
29. Farhat, N., Elkhouni, A., Zorrig, W., Smaoui, A., Abdelly, C., Rabhi, M., 2016. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. *Acta Physio. Plant*, 38, pp.145-153.
30. Fischer, E.S., 1997. Photosynthetic irradiance curves of *Phaseolus vulgaris* under moderate or severe magnesium deficiency. *Photosynthetica*, 33, pp. 385–390.
31. Fischer, E.S., Lohaus, G., Heineke, D. and Heldt, H.W., 1998. Magnesium deficiency resulted in accumulation of carbohydrates and amino acids in source and sink leaves of spinach. *Physiol Plantarum*, 102, pp.16–20.

32. Gardner, R.C., 2003. Genes for magnesium transport. *Current Opinions in Plant Biology*, 6, pp. 263-267.
33. Gransee, A. and Fuhrs, H., 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, pp. 5-21.
34. Grzebisz, W., 2011. Magnesium—food and human health. *J. Elem*, 16, pp. 299-323.
35. 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.
36. Hanstein, S., Wang, X.Z., Qian, X.Q., Friedhoff, P., Fatima, A., Shan, Y.H., Feng, K. and Schubert, S., 2011. Changes in cytosolic Mg^{2+} Levels can regulate the activity of the plasma membrane H-ATPase in maize. *Biochem J.*, 435, pp. 93-101.
37. Härdter, R., Rex, M. and Orlovius, K., 2004. Effects of different Mg fertilizer sources on the magnesium availability in soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 70, pp. 249-259.
38. Hermans, C., Conn, S.J., Chen, J., 2013. An update on magneium homeostasis mechanisms in plants. *Metallomics*, 5, pp.1170-1183.
39. Hermans, C. and Verbruggen, N., 2005. Physiological characterization of Mg deficiency in Arabidopsis thaliana. *J. Exp. Bot.*, 418, pp. 2153-2161.
40. Haug, A., 1983. Molecular aspects of aluminum toxicity. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 1, pp. 345-373.
41. Jia, Y., Xu, H., Wang, Y., Ye, X., Lai, N., Huang, Z., Tang, L., Li, X., Chen, L. and Guo, J., 2021. Differences in morphological and physiological features of citrus seedling are related to Mg transport from the parent to branch organs. *Plant Biology*, 21, pp. 239-255. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03028-z>
42. Karley, A.J. and White, P.J., 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Plant Biol*, 12, pp. 291-298.
43. Khoei, S., 1981. Investigation of the plant nutrition status of citrus fruits in eastern Mazandaran. *Publication No. 648*, Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
44. Klug, B., Horst, W.J., 2010. Spatial characteristics of Al uptake and translocation in roots of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Physiol Plant*, 139, pp. 181-191.
45. Laing, W., Greer, D., Sun, O., Beets, P., Lowe, A. and Payn, T., 2000. Physiological impacts of Mg deficiency in Pinus radiate: growth and photosynthesis. *New Phytol*, 146, pp. 47- 57.
46. Liang, W.W., Huang, J.H., Li, C.P., Yang, L.T., Ye, X., Lin, D., Chen, L.S., 2017. MicroRNA-mediated responses to long-term magnesium-deficiency in Citrus sinensis roots revealed by Illumina sequencing. *BMC Genom*, 18, pp. 657-663.
47. Li, C.P., Qi, Y.P., Zhang, J., 2017. Magnesium-deciency-induced alterations of gas exchange, major metabolites and key enzymes dier among roots, and lower and upper leaves of *Citrus sinensis* seedlings. *Tree Physiol*, 37, pp. 1564-1581.
48. Ma, J.F., Ryan, P.R. and Delhaize, E., 2001. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends Plant Sci*, 6, pp. 273-278.
49. Ma, Y., Xie, Y., Ha, R., Cao, B., Song, L., 2021. Effects of elevated CO2 on photosynthetic accumulation, sucrose metabolism-related enzymes, and genes identification in goji berry (*Lycium barbarum* L.). *Front. Plant Sci*, 12, pp. 555-643.
50. Maguire, M. E. and Cowan, J.A., 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. *BioMetals*, 15, pp. 203-210.
51. Marschner, H., 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic, Elsevier.
52. Mengutay, M., Ceylan, Y., Kutman, U.B. and Cakmak, I., 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant Soil*, 368, pp. 57-72.
53. Mesic, M., Kisic, I., Basic, F., Butorac, A., Zgorelec, Z. and Gaspar, I., 2007. Losses of Ca, Mg and SO_4^{2-} with drainage water at fertilization with different nitrogen rates. *Agric Conspec Sci*, 72, pp. 53-58.
54. Mittler, R., 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Sci*, 11, pp. 15-19.

55. Morton, A.R., Trolove, S.N., Kerckhoffs, L.H.J., 2008. Magnesium deficiency in citrus grown in the New Zealand. *Crop Hortic. Sci*, 36, pp. 199–213.
Doi.org/10.1080/01140670809510236
56. Obreza, T.A. and Morgan, T., 2011. Nutrition of Florida Citrus Trees. UF, IFAS, University of Florida, pp. 98.
57. Quaggio, J.A., Sobrinho, J.T., Dechen. A.R., 1992. Magnesium influences on fruit yield and quality of 'Valencia' sweet orange on Rangpur lime. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 2, pp.633–637.
58. Römheld, V. and Kirkby, E. A., 2007. Magnesium functions in crop nutrition and yield. *Proceedings of a Confernce in Cambridge* (7th Dec. 2007), pp.151–171.
59. Schubert, S., Schubert, E. and Mengel, K., 1990. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba*). *Plant Soil*, 124, pp. 239–244.
60. Shaul, O., 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals*, 15, pp. 309–323.
61. 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.
62. Srivastava, A.K., Singh, S., 2006. Diagnosis of nutrient constraints in citrus orchards of humid tropical India. *J. Plant Nutr*, 29, pp.1061–1076.
63. Srivastava, A.K. and Singh, S. 2009. Citrus decline: soil fertility and plant nutrition. *J. Plant Nutrition*, 32, pp. 197–245.
64. Tang, N., Li, Y. and Chen, L.S., 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, pp. 784–793.
65. 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.
66. White, J.P., Broadley, M.R., 2008. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytol*, 182, pp. 49–84.
67. Yan, B., Hou, Y., 2018. Effect of soil magnesium on plants: a Review. *Earth and Environmental Science*, 170, pp. 71–75.
68. Ye, X., Chen, X.F. and Deng, C.L., 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, pp. 389–398.
69. Ye, X., Chen, X.F. and Cai, L.Y., 2020. Molecular and physiological mechanisms underlying magnesium-deciency-induced enlargement, cracking and lignication of *Citrus sinensis* leaf veins. *Tree Physiol*, 40, pp.1277–1291.
70. Zhao, R, Dielen, V., Kinet, J.M. and Boutry, M., 2000. Cosupression of a plasma membrane H⁺-ATPase isoform impairs sucrose translocation, stomatal opening, plant growth and male fertility. *Plant Cell*, 12, pp. 535–546.