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

منیزیم عنصر فراموش شده در کشاورزی

فریدون نورقلی پور و سید علی غفاری نژاد

نشریه فنی: ۵۶۷

۱۳۹۸

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

منیزیم عنصر فراموش شده در کشاورزی

نگارندگان

فریدون نورقلی پور و سید علی غفاری نژاد

اعضای هیات علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه فنی: ۵۶۷

۱۳۹۸

سرشناسه	: نورقلی پور، فریدون، ۱۳۵۹-
عنوان و نام پدیدآور	:منیزیم عنصر فراموش شده در کشاورزی / نگارندگان فریدون نورقلی‌پور و سید علی غفاری‌نژاد.
مشخصات نشر	: کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۳۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: کتاب‌های پژوهشی و علمی ۲.
شابک	: 978-622-6705-01-1
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: واژه نامه.
موضوع	: گیاهان – اثر منیزیم
موضوع	:Plants – Effect of magnesium on
موضوع	: گیاه و خاک
موضوع	: Plant-soil relationships
موضوع	: گیاه و خاک -- ایران
موضوع	: Plant-soil relationships -- Iran
شناسه افزوده	: غفاری‌نژاد، علی، ۱۳۵۱-
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	: Soil & water research institute
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۸ ۹ن ۸۴م/ QK ۷۵۳
رده بندی دیویی	: ۵۷۱/۲۱۷۵۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۶۲۳۴۰۱

مشخصات اثر

عنوان: **منیزیم عنصر فراموش شده در کشاورزی**

نگارندگان: فریدون نورقلی پور و سید علی غفاری نژاد

ناشر: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: زهرا محمدی

صفحه‌آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: ۱۳۹۸

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

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

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

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این اثر با شماره ۵۴۶۶۹ در تاریخ ۹۷/۹/۲۸ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

۱- منیزیم در خاک..... ۳

۱-۱- روش‌های اندازه‌گیری منیزیم قابل دسترس در خاک..... ۷

۱-۲- وضعیت منیزیم در خاک‌های ایران..... ۱۰

۲- منیزیم در گیاه ۱۳

۲-۱- مقدار در گیاهان مختلف..... ۱۳

۲-۲- گیاهان حساس به کمبود منیزیم..... ۱۳

۲-۳- نحوه جذب منیزیم به وسیله گیاه..... ۱۴

۲-۴- نقش‌های منیزیم در گیاه..... ۱۵

۲-۵- کمبود منیزیم در گیاه..... ۱۶

۲-۶- اثر عوامل محیطی (دما، نور، خشکی، شوری) بر بروز کمبود منیزیم..... ۲۱

۲-۷- اثر متقابل منیزیم و یون‌های دیگر..... ۲۲

۲-۸- منیزیم و کیفیت محصولات گیاهی..... ۲۳

۲-۹- روش‌های مقابله با کمبود منیزیم..... ۲۴

۲-۱۰- روش‌های اندازه‌گیری منیزیم در گیاه..... ۲۷

۳- مروری بر تحقیقات انجام‌شده در خصوص منیزیم در ایران ۲۸

۴- جمع‌بندی مطالب ۳۲

منابع ۳۴

مقدمه

منیزیم هشتمین عنصر فراوان پوسته زمین است که در گروه دوم جدول تناوبی به عنوان فلز قلیایی خاکی قرار دارد. این عنصر ۱/۹۳ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد (ماگوایره و کوان، ۲۰۰۲). مقدار کل منیزیم خاک‌ها متغیر است و از مقادیر ناچیز در خاک‌های شنی درشت بافت مناطق مرطوب تا چندین درصد در خاک‌های ریز بافت مناطق خشک و نیمه‌خشک (تشکیل شده از مواد مادری غنی از منیزیم)، نوسان می‌کند. منشأ منیزیم خاک، تجزیه سنگ‌های مادری دارای کانی‌هایی نظیر بیوتیت، دولومیت، کلریت، سرپنتین و الیوین است. طی تجزیه این مواد، منیزیم آزاد شده و وارد آب اطراف سنگ‌ها می‌گردد. سپس می‌تواند همراه با آب‌های فرونشتی وارد خاک شده و به وسیله موجودات زنده جذب شود، یا جذب سطحی ذرات رس گردد و یا به صورت کانی ثانویه دوباره رسوب کند. انتظار می‌رود این پدیده اخیر در اقلیم خشک سریع‌تر اتفاق بیفتد (ملکوتی و ریاضی همدانی، ۱۳۷۰). این عنصرکه جزء عناصر ضروری پرمصرف برای گیاه طبقه‌بندی می‌گردد، دارای نقش‌های حیاتی در گیاه می‌باشد. بسیاری از واکنش‌های متابولیکی، فیزیولوژیکی و زیستی در گیاهان، تحت تأثیر کمبود منیزیم قرار گرفته و باعث اختلال در رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (فرهات و همکاران، ۲۰۱۶).

۷۵ درصد از منیزیم برگ در ساخت پروتئین‌ها نقش دارد و ۱۵ تا ۲۰ درصد (در برخی از منابع تا ۳۵ درصد) از کل آن چسبیده به رنگدانه‌های کلروفیل است و به عنوان کوفاکتور تعدادی از آنزیم‌ها در چرخه فتوسنتزی تثبیت کربن و متابولیسم، نقش ایفا می‌کند. منیزیم در فعال کردن تعدادی از آنزیم‌ها دخالت دارد. یکی از مهمترین آنزیم-هایی که با منیزیم فعال می‌گردد ۱-۵ ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز است که آنزیمی کلیدی در فتوسنتز بوده و فراوان‌ترین آنزیم موجود در سطح زمین محسوب می‌گردد (گیو و همکاران، ۲۰۱۶).

مقدار منیزیم در محصولات زراعی و باغی و غلظت آن در رژیم‌های روزانه غذایی در کیفیت غذا و تغذیه انسان نیز بسیار مهم است، بخصوص که ۷۵ درصد جذب روزانه منیزیم از طریق غلات انجام می‌شود (برودلی، ۲۰۰۸).

ضرورت منیزیم برای انسان در سال ۱۹۲۵ مشخص شد (گیو و همکاران، ۲۰۱۶). میانگین نیاز روزانه در مردان ۳۲۳ و در زنان ۲۲۸ میلی‌گرم می‌باشد. در کمبود آن عارضه هیپومگنزمیا[1] (ضربان قلب غیرنرمال)، سکته قلبی، عملکرد ناقص ماهیچه و ضربان نامنظم قلب در انسان بروز می‌نماید. در انسان بالغ ۶۰ درصد منیزیم در استخوان وجود دارد که در توسعه استخوان‌بندی نقش دارد (برودلی، ۲۰۰۸). جذب پتاسیم در گیاه در تضاد با جذب منیزیم است. گراس تتانی[2] یک عارضه جدی در حیوانات علف-خوار است که در نتیجه مصرف پتاسیم زیاد در تغذیه علوفه و در نتیجه کمبود منیزیم و نسبت نامتوازن منیزیم به پتاسیم در علوفه، ایجاد می‌گردد.

محصولات حساس به کمبود منیزیم شامل مرکبات، نیشکر، دانه‌های روغنی و ذرت هستند. عکس‌العمل این محصولات به کاربرد منیزیم معمولا مثبت است. آنالیز گیاهی نشان داده که یک رابطه ناهمسازی بین پتاسیم و منیزیم وجود دارد که می‌تواند انتقال منیزیم از ریشه به اندام هوایی گیاه را مختل نماید. این در حالی است که مصرف متعادل منیزیم و پتاسیم موجب افزایش عملکرد می‌گردد (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸).

بررسی‌ها نشان می‌دهد در گندم تولید شده از سال ۱۹۶۸ در انگلستان، مقدار منیزیم گندم کاهش پیدا کرده است. این پدیده همزمان با معرفی رقم‌های پرمحصول بود. البته می‌تواند در ارتباط با کوددهی نامتوازن عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دهه‌های گذشته نیز باشد. این امر توجه بیشتر به تغذیه منیزیمی گیاهان را روشن می-کند (گیو و همکاران، ۲۰۱۶). به هرحال تغذیه منیزیم در گیاه در دهه‌های گذشته به وسیله گیاه‌شناسان و متخصصین کشاورزی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک به شدت نادیده گرفته شده و در مقایسه با سایر عناصر غذایی، کمتر مورد توجه بوده است. به همین خاطر در برخی متون و کتب علمی، از منیزیم به عنوان عنصر فراموش شده، نام برده شده است (کک مک و یازیچی، ۲۰۱۰). از طرفی در گونه‌های حساس به کمبود این عنصر، کشت‌های گلخانه‌ای و متراکم و ارقام پرمحصول احتمال بروز کمبود منیزیم وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که باید توجه بیشتری به تغذیه منیزیم گیاهان معطوف گردد.

1 - Hypomagnesaemia
2 - Grass tetani

۱- منیزیم در خاک

منیزیم در خاک به شکل‌های تبادلی، محلول، موجود در ساختمان کانی‌ها و موجود در جزء آلی خاک وجود دارد. منشأ منیزیم در خاک از سنگ‌های مادری است که حاوی کانی‌های سیلیکاتی مختلف هستند. مقدار منیزیم کانی‌های سیلیکاتی مختلف تفاوت زیادی دارد (موسکوویت > بیوتیت > هورنبلند > اوژیت > الیوین). تغییر مقدار این عنصر در سیلیکات‌ها به شدت جایگزینی آلومینیوم توسط منیزیم بستگی دارد. به غیر از سیلیکات‌ها، کربنات‌ها نیز منبع منیزیم هستند. کانی‌های کربناتی دارای منیزیم در خاک به طور عمده شامل دولومیت ($CaCO_3$, $MgCO_3$) با ۱۳ درصد منیزیم، بروسایت ($Mg(OH)_2$) با ۴۱ درصد منیزیم، مگنزیت ($MgCO_3$) با ۲۹ درصد منیزیم و سولفات منیزیم ($MgSO_4$) با ۲۰ درصد منیزیم هستند. به علت تغییر در محتوای مواد اولیه، مقدار منیزیم در خاک‌ها از ۰/۰۵ تا ۰/۵ درصد متفاوت است. معمولا مقدار منیزیم در خاک‌های رسی در مقایسه با خاک‌های شنی بیشتر است که دلیل آن مقدار بیشتر کانی‌های سیلیکاتی در این خاک‌هاست. در سیلیکات‌هایی مانند کلرایت که منیزیم آنها تخلیه شده، تثبیت منیزیم ممکن است بروز نماید. در چنین خاک‌هایی حفظ فراهمی متعادل عناصر غذایی اهمیت ویژه‌ای دارد و مکان‌های تثبیت باید از منیزیم پر شوند. در این خاک‌ها باید منیزیم، بیش از نیاز گیاه مصرف شود. منیزیم موجود در بین لایه‌های رس قابل دسترس نیست و در صورت بروز هوادیدگی که روندی طولانی است به فاز قابل دسترس انتقال می‌یابد (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

مهمترین منبع منیزیم مورد استفاده گیاه، منیزیم محلول، تبادلی و مقداری از منیزیم غیر تبادلی است که در طول فصل رشد به صورت محلول یا تبادلی درآمده و قابل استفاده گیاه گردیده است. منیزیم به شکل تا حدودی کندرهاتر نیز ممکن است در خاک وجود داشته باشد که در این شکل با منیزیم قابل تبادل در تعادل است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که منیزیم برای رشد گیاه علاوه بر لایه اکتاهدرال، از مواد بین لایه‌ای نیز قابل دسترس است. مقدار آزاد سازی منیزیم از ایلایت، مونتموریلونیت و ورمیکولایت بستگی به ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار منیزیم کانی‌های رس دارد (کریستنسن، ۱۹۷۳).

قابلیت استفاده منیزیم به عوامل مختلفی که شامل ویژگی‌های شیمیایی سنگ مادر، میزان هوادیدگی، عوامل اقلیمی و انسانی مکان ویژه، نوع و گونه گیاه کشت شده، تناوب،

تراکم کشت و میزان کودهای آلی و شیمیایی استفاده شده، بستگی دارد. عواملی که سبب بوجود آمدن کمبود منیزیم در خاک می‌شوند شامل موارد زیر است:

- خاک‌هایی که میزان منیزیم در سنگ مادر آنها ناچیز است.

- خاک‌های اسیدی با ظرفیت تبادل کاتیونی کم. در این خاک‌ها بارندگی زیاد منجر به شستشوی منیزیم از پروفیل خاک می‌شود. همچنین سمیت آلومینیوم در این خاک‌ها می‌تواند منجر به کمبود منیزیم شود.

- تنش گرمایی و خاک خشک.

- مقادیر زیاد کاتیون‌های رقیب مانند پتاسیم، کلسیم، آمونیوم و سدیم.

- کوددهی طولانی مدت و غیرمتعادل با نیتروژن، فسفر و پتاسیم منجر به تخلیه منیزیم از خاک، رقابت کاتیونی و شستشوی منیزیم از خاک می‌شود.

- کشت‌های متراکم مانند کشت‌های گلخانه‌ای با عملکرد زیاد که حتی در خاک‌های آهکی با میزان قابل توجه منیزیم می‌تواند در دراز مدت، منجر به تخلیه این عنصر از خاک و بروز کمبود آن شود.

خاک‌های درشت بافت مناطق مرطوب، خاک‌هایی هستند که در آنها کمبود منیزیم دیده می‌شود. این خاک‌ها به طور عادی فقط مقدار کمی منیزیم قابل تبادل دارند. این حالت با افزودن کودهای حاوی مقدار کم منیزیم یا فاقد منیزیم تشدید می‌شود. منیزیم در این خاک‌ها به وسیله تبادل یونی و در هنگامی آزاد می‌شود که این کودهای فاقد منیزیم به خاک اضافه شوند. وجود مقادیر زیادی از کلریدها و سولفات‌ها، خارج شدن منیزیم بوسیله آب‌های فرونشتی را افزایش می‌دهد. کمبود منیزیم در خاک‌های ریز بافت‌تر و در خاک‌های مناطق خشک، کمتر دیده می‌شود. در برخی اقلیم‌های نیمه خشک ممکن است ترکیبات منیزیم در پروفیل خاک رسوب کند (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

بخشی از منیزیم در خاک‌های کشاورزی به صورت تبادلی وجود دارد. منیزیم تبادلی حدود ۵ درصد منیزیم کل خاک را تشکیل می‌دهد. منیزیم قابل تبادل در همه خاک‌ها (به غیر از خاک‌های مشتق شده از سرپنتین) کمتر از کلسیم قابل تبادل است. منیزیم تبادلی به طور میانگین ۱۰ تا ۲۰ درصد سایت‌های تبادلی را اشغال می‌کند. دامنه منیزیم

قابل تبادل (استخراج شده با استات آمونیوم یک مولار با pH هفت) از ۱۲۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. منیزیم محلول، در تعادل با منیزیم قابل تبادل می‌باشد. 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 تغییر می‌کند (تیسدال و همکاران، ۲۰۰۳ و گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

اگرچه شعاع یونی منیزیم کوچکتر از کلسیم، پتاسیم و سدیم است، ولی شعاع یونی هیدراته آن به نسبت بزرگتر است و این می‌تواند باعث شود که منیزیم با شدت کمتری در روی سایت‌های جذب، نگه داشته شود و مقدار بیشتری از آن به محلول وارد گردد که پیامد آن شستشوی سریع‌تر منیزیم از خاک خواهد بود (ماگوایره و کوان، ۲۰۰۲). میزان شستشوی منیزیم از خاک می‌تواند به ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال برسد (گرزبیز، ۲۰۱۱). این میزان بستگی به بافت خاک، نوع گونه گیاهی، مرحله رشد، کوددهی نیتروژنی، پتاسیمی و کلسیمی، میزان بارندگی و شدت آن، حجم آب زه-کشی، غلظت بیکربنات، ظرفیت تبادل کاتیونی، میزان و نوع رس و میزان ماده آلی دارد. از سوی دیگر به دلیل غلظت زیاد منیزیم در محلول خاک، جریان توده‌ای، مکانیسم اصلی جذب آن توسط گیاه است؛ اما این میزان در گونه‌های مختلف بسته به نوع سیستم ریشه متفاوت است. در شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی، این سیستم انتقال مواد به ریشه به طور مؤثر کار نمی‌کند و جذب منیزیم مختل می‌شود (مارشنر، ۲۰۱۲).

شولت و کلینگ (۲۰۰۴) معتقدند نمی‌توان عدد مشخصی را به عنوان نسبت مناسب کلسیم به منیزیم به پتاسیم در خاک ارائه داد. حتی درصد اشباع مشخص از سایت‌های تبادلی را نمی‌شود ارائه داد چرا که این امر وابسته به مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است. کانی‌شناسی خاک عامل دیگری است که علاوه بر ظرفیت تبادل کاتیونی بر درصد اشباع سایت‌های تبادلی با کاتیون خاص اثر دارد. در بررسی انجام گرفته در ایالت ویسکانسین آمریکا مقادیر مختلف گچ و اپسوم ($MgSO_4$) به خاک اضافه شد تا نسبت‌های مختلف کلسیم به منیزیم بدست آید. در این خاک‌ها یونجه و ذرت کشت شد. تغییر نسبت کلسیم به منیزیم از ۲ تا ۸ تأثیری بر عملکرد نداشت. اضافه کردن منیزیم به خاک ها باعث تغییر درصد اشباع سایت‌های تبادلی با منیزیم از ۱۲ تا ۳۵ درصد شد. با افزایش

نسبت کلسیم به منیزیم در خاک، این نسبت در گیاه نیز با شدت خیلی کمتر افزایش یافت. این امر توانایی جذب انتخابی عناصر برای گیاه را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که اگر مقدار عناصر در خاک در حد کفایت باشد، تغییر نسبت، تأثیری بر عملکرد نخواهد داشت (سایمون و همکاران، ۱۹۷۹).

پتاسیم و کلسیم با دو مکانیسم، تغذیه منیزیم را تحت تأثیر قرار می‌دهند:

- افزایش تبادل منیزیم در اثر ورود پتاسیم و کلسیم به خاک و افزایش غلظت آن در محلول خاک که سبب افزایش خطر آبشویی منیزیم می‌شود.
- تغییر کمی و کیفی ترکیب کاتیونی خاک در اثر ورود پتاسیم و کلسیم که منجر به رقابت کاتیونی در سطح ریشه برای جذب می‌شود.
- ارتباط بین کاتیون‌های بازی در جذب، اهمیت تغذیه متعادل را روشن می‌کند. رقابت کاتیونی بویژه در مورد خاک‌هایی که قادر به فراهم کردن میزان متعادلی از کاتیون‌ها نیستند اهمیت زیادی دارد (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

دو روش برای تفسیر مقدار غلظت کاتیون‌ها از جمله منیزیم در خاک وجود دارد که شامل سطح کفایت عنصر و درصد اشباع بازی کاتیون مورد نظر هستند. بررسی‌ها نشان داده است در نسبت‌هایی از کلسیم، منیزیم و پتاسیم که معمولا در خاک یافت می‌شوند، حاصلخیزی شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک، تحت تأثیر این نسبت‌ها قرار نگرفت. علی-رغم تردیدهای موجود در رابطه با نسبت کاتیون‌ها، در بسیاری از آزمایشگاه‌ها از این نسبت-ها برای تفسیر نتایج استفاده می‌شود. با اینکه درصد اشباع، عنصر غذایی قابل استفاده را به طور صحیح نشان نمی‌دهد اما می تواند اطلاعات مهمی در مورد پتانسیل فراهم کردن کاتیون ها توسط خاک بدهد (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

گزارش‌های اندکی در مورد نقش ماده آلی در فراهم آوری منیزیم برای گیاه وجود دارد؛ اما منیزیم پیوند شده با ماده آلی می‌تواند نقش عمده‌ای در تأمین منیزیم برای گیاه داشته باشد. استفاده از کودهای آلی سبب افزایش میزان منیزیم در خاک و مانع شستشوی آن می‌شود (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

۱-۱- روش‌های اندازه‌گیری منیزیم قابل دسترس در خاک

انتخاب یک روش شیمیایی یا عصاره گیر مناسب برای اندازه‌گیری یا برآورد مقدار ماده غذایی قابل استفاده در خاک از ارکان اساسی آزمون خاک است و در موفقیت و کارایی آن نقش بسزایی دارد (توفیقی، ۱۳۷۸). عصاره‌گیرهایی که در مناطق مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، روش‌هایی هستند که بهترین همبستگی را بین مقدار عناصر قابل استفاده گیاهان (ویژه آن مناطق) و عملکرد گیاه، فراهم می‌کنند.

ارتباط بین میزان منیزیم در خاک و میزان جذب منیزیم توسط گیاه موضوعی چالش برانگیز است. روش‌های مختلفی از آزمون خاک برای اندازه‌گیری منیزیم قابل استفاده به کار برده شده‌اند. مهم‌ترین سوالات در این زمینه این موارد است:

- جزء تعیین کننده منیزیم قابل استفاده کدام است (محلول، تبادلی یا تثبیت شده)؟
- روش های تعیین آن کدام است؟
- روش نمونه‌برداری صحیح از خاک کدام است (خاک سطحی یا عمقی)؟

روش عصاره‌گیری بر میزان منیزیم عصاره‌گیری شده تأثیر مستقیم دارد. روش‌های عصاره‌گیری ملایم (متوسط) مانند کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم، استات آمونیوم و مهلیچ ۳، همبستگی بسیار خوبی با هم نشان می‌دهند. این موضوع نشان می‌دهد که همه این عصاره‌گیرها جزء خاصی از منیزیم را عصاره‌گیری می‌کنند. در حالیکه عصاره‌گیر قوی مانند مخلوط اسید استیک و اسید لاکتیک یا آب اکسیژنه، همبستگی ضعیفی با بقیه روش‌های عصاره‌گیری، نشان می‌دهند. این نتایج اهمیت انتخاب عصاره‌گیر مناسب در ارزیابی پاسخ گیاه به منیزیم را نشان می‌دهد (استاگایتیس و روتکاس، ۲۰۱۰). نیرومند (۱۳۸۹) در ارزیابی نه عصاره‌گیر شیمیایی متداول در عصاره‌گیری منیزیم به نتایج مشابهی رسید. روش‌های عصاره‌گیری وی شامل اسید کلریدریک ۱ مولار (HCl)، مورگان (MOR)، کلرید پتاسیم ۰/۰۱ مولار (KCl)، استات آمونیوم با پ‌هاش ۷ (AA1)، استات آمونیوم با پ‌هاش ۸/۲ (AA2)، بافر کلرور پتاسیم و تری اتانول آمین (TEA-KCl)، کلرید سدیم (NaCl)، کلرید کلسیم ($CaCl_2$) وعصاره اشباع (H_2O) بودند. وی به این نتیجه رسید که علیرغم اینکه این عصاره‌گیرها مقادیر متفاوتی از منیزیم را از خاک استخراج کردند اما همبستگی زیادی بین آنها وجود دارد. بیشترین ضریب

همبستگی را روش TEA-KCl با روش AA1 و KCl نشان داد (r=۰/۹۸***) و کم‌ترین ضریب همبستگی مربوط به روش H_2O و HCl با سایر عصاره‌گیرها بود که در مورد تمامی عصاره‌گیرها غیر معنی‌دار بود. مقدار منیزیم عصاره‌گیری شده به صورت زیر کاهش یافت:

HCl> MOR >KCl> AA1> TEA-KCl> AA2>NaCl> $CaCl_2$> H_2O

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که منیزیم محلول در آب و تبادلی، منعکس‌کننده ظرفیت گیاه در استخراج منیزیم از خاک نیست. به عبارت دیگر ارتباط معنی‌دار بین منیزیم محلول در آب و تبادلی با پاسخ‌های گیاه مشاهده نشده است. بسته به نوع گیاه، میزان منیزیم خاک تحتانی می‌تواند نقش زیادی در تغذیه گیاه داشته باشد. داده‌های ضد و نقیضی در مورد نقش منیزیم تثبیت شده در فراهم کردن منیزیم قابل استفاده گیاه وجود دارد. در برخی پژوهش‌ها نقش منیزیم تثبیت شده ناچیز گزارش شده است، اما گزارش‌های اندکی نیز دلالت بر نقش این جزء از منیزیم در تغذیه گیاه دارد (گرنسی و فوهر، ۲۰۱۳).

استات‌آمونیوم یک مولار با پ‌هاش ۷ روشی است که بطور گسترده به عنوان شاخص منیزیم قابل استفاده به کار می‌رود. این عصاره‌گیر، منیزیم تبادلی را استخراج می‌کند. اما در خاک‌های آهکی از دقت کافی برخوردار نیست. زیرا مقداری از آهک و دولومیت را نیز در خود حل می‌کند و در نتیجه منیزیم تعیین شده با این روش بیش از منیزیم تبادلی، تخمین زده می‌شود. به همین دلیل باور و همکاران (۱۹۵۲) استات سدیم با پ-هاش ۸/۱ را جهت عصاره‌گیری کلسیم و منیزیم در خاک‌های آهکی پیشنهاد کردند، زیرا این محلول، حلالیت کربنات کلسیم را محدود می‌کند. این روش به عنوان روشی استاندارد در خاک های آهکی و گچی مورد استفاده قرار می‌گرفت (پولمیو و رودز، ۱۹۷۷). در ایران نیز برای تعیین منیزیم قابل استفاده گیاه از روش استات آمونیوم یک مولار خنثی، استفاده می‌شود.

علی احیایی (۱۳۷۶) برای تعیین منیزیم تبادلی در خاک‌های حاوی دولومیت، محلول بافر کلرور پتاسیم با pH، ۸/۲ و تری اتانل آمین را توصیه می‌کند چرا که pH بالاتر از هفت برای رفع مزاحمت نمک‌های محلول در pH خنثی مناسب می‌باشد. هوپر

(۱۹۶۷) دریافت که روش مورگان در نسبت ۵ :۱ خاک به عصاره‌گیر، بیشترین مقدار منیزیم تبادلی را از خاک استخراج می‌کند.

اسچاختچابل (۱۹۵۴) محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱۲۵ مولار را به عنوان روشی قراردادی برای استخراج منیزیم در خاک‌هایی که کلسیم کاتیون غالب آنهاست معرفی کرد، اما ولت و همکاران (۱۹۶۰) رابطه مشخصی بین منیزیم عصاره‌گیری شده توسط محلول کلرید کلسیم رقیق و عملکرد گیاه و جذب منیزیم توسط آن نیافتند. آنها نتیجه گرفتند که تحرک و پویایی منیزیم در خاک‌ها، از شکل قابل تبادل و محلول در اسید کلریدریک ۰/۵ مولار بهتر تخمین زده می‌شود. مامو و همکاران (۱۹۹۶) کارایی عصاره‌گیرهای مهلیچ ۱ و ۳ و لاکتات استات کلسیم را با استات آمونیوم در استخراج منیزیم قابل استفاده گیاه مورد مقایسه قرار داده و به این نتیجه دست یافتند که مهلیچ ۳ می‌تواند جایگزین مناسبی برای استات آمونیوم باشد، روش مهلیچ (۱۹۴۸) شرایط گسترده‌ای از خاک را جهت اندازه‌گیری منیزیم و سایر عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در خاک‌های قلیایی و خنثی مهیا می‌کند. از طرف دیگر امروزه عصاره‌گیرهایی که بیش از یک عنصر را در یک روش عصاره‌گیری استخراج می‌کنند از نظر اقتصادی و صرفه‌جویی دروقت دارای اهمیت می‌باشند، مهلیچ از انواع این عصاره‌گیرها می‌باشد. بی‌کربنات آمونیوم یک مولار و DTPA۰/۰۰۵ مولار توسط سلطانپور و ورک من (۱۹۷۹) معرفی شد که عصاره‌گیر قابل اعتماد دیگری برای تعیین فسفر، پتاسیم، منیزیم و عناصر کم مصرف در خاک‌های قلیایی، اسیدی و خنثی می‌باشد. طبق تحقیقات انجام شده این روش عصاره‌گیری به روش مهلیچ ۳ ارجحیت دارد زیرا سرعت تجزیه در آن زیادتر است.

نورمندین و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی اثر کربنات کلسیم در عصاره‌گیری منیزیم و کلسیم به وسیله استات آمونیوم در خاک‌های آهکی، نتیجه گرفتند که افزایش pH استات آمونیوم از ۷ به ۸/۲ مانعی در انحلال کربنات کلسیم ایجاد کرده و اندازه‌گیری دقیق‌تری از کلسیم تبادلی انجام می‌شود اما این افزایش pH برمقادیر پتاسیم، منیزیم و سدیم استخراج شده تأثیری نداشت. به عبارت دیگر افزایش pH عصاره‌گیر تاثیر کمی بر پتاسیم، منیزیم و سدیم استخراج شده توسط استات آمونیوم داشت.

متسون (۱۹۷۴) روش‌هایی را جهت استخراج منیزیم غیر تبادلی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه دست یافت که اسید کلریدریک یک نرمال جوشان، بر اسید نیتریک یک نرمال برتری دارد زیرا اسید نیتریک مواد آلی خاک را شدیدا مورد حمله قرار می‌دهد.

آنچه از ارزیابی روش‌های آزمون خاک در مورد منیزیم می‌توان نتیجه گرفت این است که معمولا ارتباط ضعیفی بین میزان منیزیم عصاره‌گیری شده از خاک و پاسخ‌های گیاهی بویژه در مورد خاک‌های آهکی وجود دارد. این حالت در مورد سایر عناصر غذایی نیز تا حدی وجود دارد. مثلا اورتاس و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند ارتباط ضعیفی بین پاسخ گیاه و مقادیر قابل عصاره‌گیری عناصر غذایی وجود دارد. اما این حالت در مورد منیزیم بیشتر دیده می‌شود. یک دلیل این است که آزمون خاک فقط اطلاعاتی از پتانسیل خاک در فراهم‌آوری عناصر غذایی و تصویری از وضعیت فعلی خاک را ارایه می‌کند که قابل تعمیم به شرایط دیگر نیست. همچنین معمولا عصاره‌گیر، قادر به شبیه‌سازی کامل شرایط جذب منیزیم توسط گیاه نیست و شرایطی مانند تنش‌های گرما، خشکی و ... را در نظر نمی‌گیرد. دلیل دیگر، ارتباط پیچیده بین کاتیون ها در جذب می‌باشد. بنظر می‌آید برای ارزیابی وضعیت منیزیم در خاک نمی‌توان، به تنهایی به آزمون خاک متکی بود و سایر ویژگی‌های خاک، شرایط جذب و نوع گیاه را نیز باید در نظر گرفت.

۱-۲- وضعیت منیزیم در خاک‌های ایران

با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک اکثر مناطق در ایران و آهکی بودن خاک و فراوانی منیزیم در این خاک ها و اینکه کمبود منیزیم معمولا در این خاک‌ها مشاهده نمی‌شده است، بررسی‌های محدودی در مورد وضعیت منیزیم در خاک‌های ایران انجام شده است. به عنوان مثال در بانک اطلاعات خاک کشور که توسط شهبازی (۱۳۸۷) جمع‌آوری شده است، اطلاعاتی در مورد وضعیت منیزیم وجود ندارد. همچنین سایر گزارش‌های موجود در مورد ویژگی‌های حاصلخیزی خاک، اشاره‌ای به وضعیت منیزیم خاک نکرده‌اند. خادمی و همکاران (۱۳۸۴) میزان منیزیم محلول خاک‌ها را (در عصاره اشباع تهیه شده با آب مقطر) در محدوده صفر تا ۳۵ میلی‌اکی والان در لیتر گزارش

کردند که فقط با پارامتر هدایت‌الکتریکی محلول خاک (r=۰/۷۷) همبستگی نشان داد و با سایر پارامترها مثل درصد رس، بافت، TNV،... همبستگی مشاهده نشد. ۳۴/۸ درصد از خاک‌های کشور کمتر از ۲/۵، ۲۹/۹ درصد از نمونه‌ها در محدوده ۲/۵ تا ۵، ۲۲/۷ درصد در محدوده ۵ تا ۱۰، ۱۲/۶ درصد بالاتر از ۱۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر منیزیم محلول داشتند. متوسط میزان منیزیم در استان‌های اردبیل، تهران، فارس، کردستان، لرستان و آذربایجان غربی کمتر از میانگین کشوری بود. یکی از دلایل کاربرد عصاره‌گیر آب و تعیین مقدار منیزیم محلول، می‌تواند سادگی این روش نسبت به سایر روش‌های عصاره‌گیری باشد.

ولی در بررسی نیرومند (۱۳۸۹) وقتی از عصاره‌گیر استات آمونیوم برای اندازه‌گیری میزان منیزیم قابل دسترس استفاده نمود، مقدار منیزیم در ۲۱ نمونه از خاک‌های مناطق مختلف کشور در محدوده ۹۷ تا ۷۵۹ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۱).

جدول ۱- بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش در بررسی نیرومند (۱۳۸۹)

شماره	مکان	pH	EC (dS/m)	%CCE	Ava. K (mg/kg)	Ava. Mg (mg/kg)
۱	آذربایجان شرقی	۷/۶۸	۰/۶۱	۱۹	۱۷۳	۹۷
۲	گلستان	۷/۶۴	۰/۷۶	۶	۵۳۴	۱۰۹
۳	آذربایجان شرقی	۷/۷۷	۰/۶۳	۱۷	۲۹۴	۱۳۳
۴	خراسان	۷/۹۶	۱/۰۷	۱۱	۱۶۹	۲۹۰
۵	آذربایجان شرقی	۷/۷۷	۰/۸۸	۲۲	۲۷۶	۱۹۲
۶	اردبیل	۷/۶۲	۰/۷۶	۵	۲۱۰	۴۷۵
...						
۲۱	خوزستان	۷/۶۸	۱/۲۸	۴۱	۲۰۲	۳۳۱
حداقل		۷/۳۸	۰/۵۸	۲	۱۳۰	۹۷
حداکثر		۷/۹۶	۱/۲۸	۴۹	۹۲۶	۷۵۹

بررسی ۱۹ خاک گلخانه در استان اصفهان نشان داد که مقدار منیزیم تبادلی در این خاک‌ها از ۹/۴ تا ۲۷/۱ درصد متغیر بود (ملاحسینی، ۱۳۹۶).

در پروژه پایلوت تغذیه کلزا که در مزارع زارعین در ۱۱ استان کشور و در ۳۸ مزرعه انجام گرفت، نسبت کم آن به پتاسیم در خاک‌های مزارع آذربایجان شرقی، مازندران، کرمانشاه، فارس، گلستان و اهواز مشاهده شد. نسبت کم منیزیم قابل دسترس به پتاسیم در هر ۴ نقطه آذربایجان شرقی وجود داشت. ولی دهقانی (۱۳۹۲) در ارزیابی ۶۲۰۰ نمونه آب آبیاری ۱۲ استان کشور نشان داد که در حدود ۵۵ درصد نمونه‌های آب دارای نسبت مولی کلسیم به منیزیم کمتر از یک هستند. وی این امر را ناشی از خشکسالی اخیر و تغییر نسبت کلسیم به منیزیم می‌داند. وی همچنین نشان داد که کاهش نسبت کلسیم به منیزیم در آب آبیاری کاهش معنی‌دار این نسبت را در اندام-های هوایی گیاه پسته بویژه برگ را در بر داشت. بنابراین به نظر می‌آید با توجه به پیچیدگی‌هایی مانند تخلیه خاک از منیزیم در اثر استفاده نامتعادل از کودهای فاقد منیزیم، کشت ارقام پرمحصول که برداشت منیزیم زیادی از خاک دارند، همچنین کشت‌های متراکم مانند کشت‌های گلخانه‌ای از یک سو و خشکسالی‌های اخیر از سوی دیگر که سبب تغییر نسبت کاتیون‌ها در آب آبیاری شده است، باید به این عنصر در تغذیه گیاه، توجه ویژه شود.

۲- منیزیم در گیاه

۲-۱- مقدار در گیاهان مختلف

مقدار منیزیم در محصولات زراعی و باغی و نیز رژیم‌های روزانه غذایی در کیفیت غذا و تغذیه انسان بسیار مهم است. مقدار منیزیم در اندام‌های رویشی برای رشد طبیعی گیاه ۱/۵ تا ۳/۵ گرم در کیلوگرم است (سامنر، ۱۹۹۹). مقدار کفایت منیزیم در گیاهان از ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ درصد در برگ جوان کامل در هفته اول برداشت در گیاه سیاه گیله[1] تا ۰/۲۵ تا ۱ درصد در برگ گیاه سویا در شروع گلدهی، متفاوت است (کایزر و همکاران، ۲۰۱۶).

جدول ۲- حدود کفایت منیزیم در گیاهان مختلف

گیاه	اندام گیاه	مرحله رشد	درصد عنصر در گیاه		
			Mg	Ca	K
کلم	برگ کامل جدید	۵ هفته پس از جابجایی	۰/۲۵ تا ۰/۶	۱/۱-۲	۲/۸-۵
ذرت	برگ انتهایی	ظهور تاسل	۰/۱۶-۰/۴	۰/۳-۰/۶	۱/۷۵-۲/۰
گندم	برگ	Z ۲۱-۳۱	>۰/۱۲	>۰/۲	>۴/۵
کلزا	کل گیاه	رشد رویشی تا غنچه دهی	۰/۱۴-/۱۲	۱-۱/۴	۱/۳-۲/۸
نخود	کل گیاه	رشد رویشی تا غنچه دهی	۰/۲	۰/۶	۲-۱/۵
لوبیا	کل گیاه	رشد رویشی تا غنچه دهی	۰/۲	۰/۶	۲-۲/۵
آفتابگردان	برگ	غنچه دهی	۰/۹۷	۱/۶۷	۳/۱۸
سویا	برگ توسعه یافته	شروع گلدهی	۱/۰-۰/۲۵	۱/۱-۲/۱	۱/۷-۲/۵
چغندرقند	۵۰-۶۰ روز پس ازکشت	برگ جوان کامل	۰/۲۵-۱	۱/۵ - ۰/۵	۶-۲
انگور	دمبرگ برگ جوان کامل	گلدهی	۰/۳-۰/۴		

(طهرانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ماینارد و هوخموس، ۲۰۰۷)؛ برنان و اسکانلن،۲۰۱۷؛ کایزر و همکاران، ۲۰۱۶)

۲-۲- گیاهان حساس به کمبود منیزیم

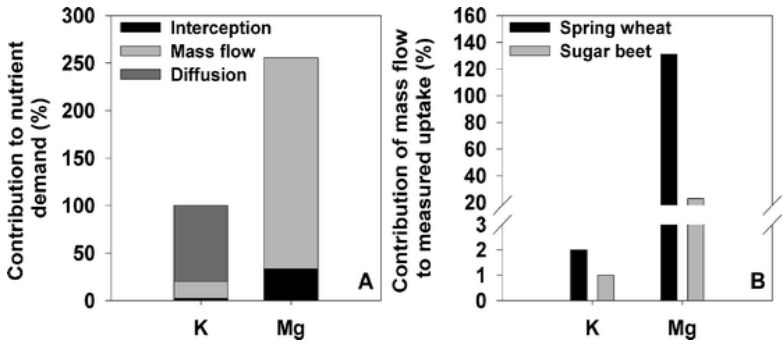
محصولات حساس به کمبود منیزیم عبارتند از مرکبات، نیشکر، دانه‌های روغنی، پنبه، سیب زمینی، انگور، ذرت و گوجه فرنگی و فلفل (سامنر، ۱۹۹۹). عکس‌العمل این

1- Blueberry

محصولات به کاربرد منیزیم معمولا مثبت است. گیاهان دانه روغنی از جمله کلزا، سویا، آفتابگردان، گلرنگ و کنجد نیاز فراوانی به فراهمی منیزیم در محلول خاک دارند (سپهر و ملکوتی، ۱۳۷۹). بررسی‌ها نشان داده که مقدار منیزیم در بذر ارقام کلزا تفاوت دارد. همچنین مقدار آن به طور میانگین در بذر از مقدار کلسیم، بیشتر است (دینگ و همکاران، ۲۰۱۳). این وضعیت در سویا و آفتابگردان نیز دیده می‌شود. لوبیا، نخود، کاهو و اسفناج در خاک‌های با منیزیم کم نیز رشد می‌نمایند (سامنر، ۱۹۹۹).

۲-۳- نحوه جذب منیزیم به وسیله گیاه

گیاهان منیزیم را به شکل کاتیون Mg^{2+} جذب می‌کنند که به صورت حل شده در محلول خاک وجود دارد. بیشترین مقدار منیزیم در محلول خاک از طریق جریان توده-ای در اختیار ریشه گیاه قرار می‌گیرد. مشارکت جریان توده‌ای در تغذیه منیزیم گیاه از طریق غلظت منیزیم محلول خاک و مقدار تبخیر انجام شده از گیاه، قابل محاسبه است (گرانسی و فورز، ۲۰۱۳). علاوه بر مقدار رطوبت خاک و غلظت آن در محلول خاک، مقدار مورد نیاز خاص گونه‌های گیاهی و نوع سیستم ریشه آنها نیز در مقدار جذب مؤثر است و در شرایط تنش خشکی، قابلیت دسترسی آن به ریشه گیاه از طریق این سیستم، محدود خواهد شد (گرانسی و فورز، ۲۰۱۳).



نمودار ۱- درصد مشارکت جریان توده ای، پخشیدگی و تبادل تماسی در تأمین نیاز گیاه و مقایسه آن با پتاسیم در گیاهان گندم و چغندر قند (گراندس و فورز،۲۰۱۳)

۲-۴- نقش‌های منیزیم در گیاه

این عنصر برای تثبیت سازمانی مولکول‌هایی نظیر اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها، غشاهای سلولی و دیواره‌ها، حفظ فعالیت آنزیم‌هایی مثل H^+ ATPase، کینازها و پلی-مرازها و توازن گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش در گیاه ضروری است (فرهات و همکاران، ۲۰۱۶; سپهر و ملکوتی، ۱۳۷۹). یکی از مهمترین آنزیم‌هایی که با منیزیم فعال می‌گردد ۱-۵ ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز است که آنزیمی کلیدی در فتوسنتز بوده و بیشترین آنزیم موجود در سطح زمین است.

منیزیم همچنین به عنوان تنظیم‌کننده توازن کاتیون- آنیون در سلول‌ها و به عنوان یون فعال اسمزی در تنظیم تورژسانس سلول در کنار پتاسیم حضور دارد. ۷۵ درصد از منیزیم برگ در سنتز پروتئین‌ها نقش دارد و ۱۵-۲۰ درصد از کل آن چسبیده به رنگدانه‌های کلروفیل است که به عنوان کوفاکتور یک سری از آنزیم‌ها در چرخه فتوسنتزی تثبیت کربن و متابولیسم نقش دارد (گوو و همکاران، ۲۰۱۶).

تعدادی از واکنش‌های متابولیکی که تحت تأثیر منیزیم می‌باشد عبارتند از:

- فتو فسفریلاسیون (مثل تشکیلATP در کلروپلاست‌ها)
- تثبیت CO_2 در فتوسنتز
- تولید پروتئین‌ها
- تشکیل کلروفیل
- بارگیری آوند آبکش (انتقال اولیه شیره پرورده از سلول‌های مزوفیل برگ به عناصر غربالی رگبرگ‌های فرعی برگ)
- تقسیم‌بندی و استفاده از مواد ساخته شده در فتوسنتز
- تولید گونه‌های فعال اکسیژن
- اکسیداسیون نوری در بافت های برگ

در نتیجه، بسیاری از واکنش‌های متابولیکی، فیزیولوژیکی و حیاتی در گیاهان، تحت تأثیر کمبود منیزیم قرار گرفته و باعث اختلال در رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (ککمک و یازیچی، ۲۰۱۰).

منیزیم به خاطر دخالت در اسیمیلاسیون، سنتز و انتقال نشاسته و پروتئین، یکی از کلیدی‌ترین عناصر در پرشدن دانه و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌باشد، بطوری که امروزه از آن به عنوان عنصر پرکننده دانه[1] در کنار فسفر نام می‌برند و نشان داده شده که این مسئله بخصوص تحت تأثیر میزان منیزیم در برگ قرار می‌گیرد. با منیزیم کافی، طول عمر قسمت‌های سبز گیاه افزایش یافته و با انجام فتوسنتز کامل در طول این دوره و در نتیجه ساخته شدن مواد آلی، هم تشکیل دانه (تعداد دانه در خوشه) و هم پر شدن دانه (وزن هزار دانه) بخوبی انجام می‌گیرد (مارشنر، ۲۰۱۲، سپهر، ۱۳۸۶).

۲-۵- کمبود منیزیم در گیاه

کوددهی نامتوازن به مدت طولانی، رقابت کاتیونی، شستشوی منیزیم در مناطق با بارندگی زیاد، منجر به تخلیه منیزیم و کاهش قابلیت دسترسی آن برای گیاه و کاهش تجمع آن در دانه می‌گردد که اثرات آن در کاهش رشد گیاه، کاهش دوره رشد، کاهش باروری، کاهش کیفیت محصولات در کشاورزی و باغبانی دیده می‌شود (گوو و همکاران، ۲۰۱۶).

حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از منیزیم گیاه در مولکول کلروفیل حضور دارد و قسمت‌های دیگر آن در نقاط فعال گیاه و در پوسته سلول و در واکوئل حضور دارد. اگر منتظر باشیم که علائم کمبود در برگ‌ها ظاهر شود و سپس کود دهی را انجام دهیم، مطمئنا مقدار زیادی از عملکرد را از دست خواهیم داد (گراندس و فورز، ۲۰۱۳؛ هرمانس و وریروگن، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۱).

کمبود منیزیم در گیاهان منجر به اختلالات زیر می‌گردد:

کاهش تعداد دانه (اثری برگشت‌ناپذیر): این کاهش درنتیجه رشد رویشی و سبزینگی برگ ایجاد می‌شود، چرا که منیزیم به عنوان هسته مولکول کلروفیل عامل سبزینگی گیاه است.

کاهش وزن هزار دانه: در نتیجه کاهش انتقال مواد آلی ساخته شده در فتوسنتز به بافت‌های ذخیره‌ای (کاهش انتقال نشاسته به دانه در گندم) ایجاد می‌گردد و همچنین کاهش طول عمر اندام‌های سبز گیاه در اثر کمبود منیزیم عامل فزاینده‌ای می‌باشد که گیاه فرصت تولید مواد آلی را پیدا نمی‌کند.

1 - Activator for grain filling

کاهش مقدار پروتئین دانه: این کاهش از نقش منیزیم در فعالیت آنزیم RNA پلی مراز ناشی می‌شود که پروتئین‌سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و علاوه بر این، منیزیم به عنوان عنصر پیونددهنده زیر واحدهای ریبوزوم‌ها عمل می‌کند که در پروتئین سازی مؤثرند (مارشنر، ۲۰۱۲; سپهر، ۱۳۸۶).

این سوال مطرح است که اولین اعضایی از گیاه که تحت تأثیر کمبود منیزیم قرار می-گیرد چیست؟

در زمان کمبود در برگ‌های کاملا توسعه یافته، مقدار ساکروز حدود ۴ برابر و در برخی منابع تا ۹ برابر بیشتر از برگ‌های دارای فراهمی منیزیم می‌گردد که نشان می‌دهد اختلال (بازداشتن) شدیدی در انتقال قند ساکروز در زمان کمبود منیزیم اتفاق می‌افتد. نسبت ساقه به ریشه در گیاه در زمان کمبود منیزیم افزایش نشان می‌دهد، پس اثر آن ابتدا در ریشه بوده قبل از آن که علائم در قسمت بالایی گیاه دیده شود. در زمان کمبود، برگ‌های دارای کمبود منیزیم، مقدار زیادی نشاسته ولی مقدار اندک قند را خواهند داشت. در ریشه‌ها ممکن است مقدار کربوهیدرات‌ها در زمان کمبود به یک درصد از کل کربوهیدرات‌های گیاه و در زمان فراهمی به ۱۶ درصد از کل کربوهیدرات‌های گیاه برسد. همه اینها نشان می‌دهد که در برگ‌های دچار کمبود، اختلال شدیدی در روند انتقال قند در آوند آبکش، اتفاق می‌افتد و این اختلال جلوتر از کاهش رشد اندام هوایی ایجاد می-گردد. فراهم کردن منیزیم برای گیاه دچار کمبود باعث جریان مجدد ساکروز در آوند آبکش در طول ۱۲ ساعت آینده خواهد شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که اندام هوایی و برگ، اندام‌های ثانویه‌ای هستند که به تغییر سطوح منیزیم واکنش نشان می‌دهند و ریشه‌ها اندام اولیه هستند (گوو و همکاران، ۲۰۱۶).

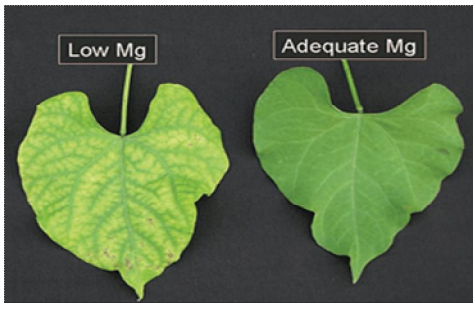
به نظر می‌رسد اثر منیزیم در بارگیری آوند آبکش اثری ویژه بوده و اثر ثانویه نیست. مکانیسم عمل به وضوح مشخص نشده است ولی بنظر می‌رسد مربوط به غلظت کم ترکیب کمپلکس Mg-ATP در مکان‌های بارگیری آوند آبکش باشد. پذیرفته شده که Mg-ATP برای فعالیت درست H^+-ATP_{ase} لازم است (آنزیمی که انرژی را برای بارگیری آوند آبکش فراهم می‌نماید و باعث حفظ انتقال ساکروز به آوند آبکش می‌گردد). فراهم نمودن مقدار کافی منیزیم در مراحلی که انتقال زیاد کربوهیدرات‌ها از برگ‌ها به سلول‌ها اتفاق می‌افتد و برای انتقال حداکثری کربوهیدرات‌ها به ارگان‌های منبع مثل میوه و ریشه

لازم است تا باعث افزایش عملکرد گردد. همچنین فراهم نمودن آن در مراحل انتهایی رشد برای جلوگیری از تولید گونه‌های اکسیژنی مضر و خسارت فوتو اکسیداتیو به سلول-های کلروپلاست ضروری است (گوو و همکاران، ۲۰۱۶).

در زمان کمبود، علائم ممکن است به صورت زیر در گیاهان بروز نماید (شکل‌های ۱ تا ۱۱) (ماینارد و هوخموس، ۲۰۰۷ ; برنان و اسکانلن، ۲۰۱۷):

- زرد شدن حاشیه برگ‌ها و مابین رگبرگ اصلی
- ممکن است در حاشیه برگ علائم همانند کمبود پتاسیم باشد. بروز نقاط قهوه‌ای در سطح برگ
- وقتی کمبود شدید می‌گردد، نقاط زرد ممکن است به نقاط قهوه‌ای مرده تبدیل گردد.
- در اکثر مواقع علایم ابتدا در برگ های قدیمی بروز می نماید و ممکن است این برگ-ها ریزش نمایند.

شکل ۱ – کمبود منیزیم در برگ انگور



شکل ۲ – کمبود منیزیم در برگ لوبیا (برگ سمت چپ) و برگ سمت راست بدون کمبود

شکل ۳ – کلروز ناشی از کمبود منیزیم در برگ مرکبات

شکل ۴ و ۵– کمبود منیزیم دربرگ ذرت (راست) و توت فرنگی (چپ)

شکل ۶ و ۷ – کمبود منیزیم دربرگ و ریشه گندم

شکل ۸ – کمبود منیزیم دربرگ‌های سویا

شکل ۹ – کمبود منیزیم دربرگ‌های کلزا

شکل ۱۰ – کمبود منیزیم دربرگ آفتابگردان (راست) و گیاه بدون کمبود (چپ)

شکل ۱۱ – کمبود منیزیم دربرگ چغندر قند (راست) و گوجه فرنگی (چپ)

۲-۶- اثر عوامل محیطی (دما، نور، خشکی و شوری) بر بروز کمبود منیزیم

شدت بروز علائم کمبود به شدت نور تابیده شده نیز بستگی دارد و شدت نور زیاد باعث افزایش بروز کلروز بین رگبرگی با تعدادی نقاط قرمز در پهنک برگ می‌گردد. به نظر می‌رسد گیاهانی که در شدت نور زیاد رشد می‌نمایند به مقدار بیشتری منیزیم نیاز دارند. اگرچه نقش حیاتی منیزیم مشخص شده ولی فعالیت تحقیقاتی اندکی در خصوص نقش منیزیم در تغذیه و کیفیت گیاهان انجام شده است. به همین دلیل منیزیم به عنوان "عنصر فراموش شده" درنظر گرفته می‌شود.

مقدار زیاد غلظت منیزیم در محلول خاک، دلیل شرکت جریان انبوه در تغذیه منیزیم گیاه را توجیه می‌نماید. مقدار مورد نیاز خاص گونه‌های گیاهی و نوع سیستم ریشه آنها

نیز مؤثر است. در شرایط تنش، مثل تنش خشکی، سیستم فراهمی منیزیم به گیاه ممکن است مختل گردد که در نتیجه، کاهش انتقال منیزیم به سطح ریشه ایجاد می‌گردد (گرانسی و فورز، ۲۰۱۳). نقش منیزیم در رشد ریشه ممکن است در جذب سایر عناصر و آب اثر گذار باشد (ککمک و یازیچی، ۲۰۱۰).

۲-۷- اثر متقابل منیزیم و یون‌های دیگر

مصرف مقادیر زیاد کودهای پتاسیمی و یا بالا بودن میزان پتاسیم، آمونیوم و کلسیم در خاک می‌تواند منجر به کاهش میزان منیزیم گیاه گردد. در بسیاری از خاک‌ها جذب منیزیم بیشتر تابع حلالیت پتاسیم می‌باشد تا مقدار خاص منیزیم در خاک. برخی از محققین بر این اعتقادند که اثر کاهش جذب منیزیم توسط پتاسیم به دلیل واکنش‌های رخ داده در محلول خاک می‌باشد. چرا که منیزیم ممکن است در مکان‌های غیر قابل دسترس در میان لایه‌های رس ۱:۲ به دام انداخته شود. قابلیت استفاده منیزیم در خاک تنها وابسته به قدرت ذخیره و رهاسازی خاک نیست. بلکه بیشتر از روی نسبت کاتیون‌ها در سایت‌های تبادلی تعیین می‌شود که عدم تعادل آنها ممکن است باعث کمبود منیزیم گردد. یونهای محلول خاک ممکن است با هم برای مکان‌های جذب رقابت کنند یا یک یون ممکن است جذب یون دیگر را به وسیله فرایندهای داخلی گیاه تحت تأثیر قرار دهد.

خاک‌های با pH بیش از ۷ و مقدار زیاد پتاسیم و کلسیم به طور معمول دارای مقدار کمتر منیزیم هستند. اگرچه با مصرف کودهای پتاسیمی مقدار عملکرد محصول افزایش می‌یابد ولی به دنبال آن مقدار نیاز به منیزیم نیز بیشتر می‌گردد. پتاسیم همچنین دارای اثر آنتاگونیستی بر جذب منیزیم می‌باشد. علائم کمبود منیزیم در گوجه‌فرنگی زمانی بروز می‌نماید که مقدار غلظت منیزیم در برگ‌های تازه بالغ شده ۰/۳ -۰/۳۲ درصد باشد. تیسدل و همکاران (۱۹۸۵) نسبت مناسب پتاسیم به منیزیم در بافت‌های گیاهان زراعی را ۵ و برای سبزیجات و چغندرقند ۳ گزارش نمودند.

در صورتی که خاک نیاز به اضافه نمودن هر دو عنصر پتاسیم و منیزیم را دارا باشد، اضافه نمودن یکی از دو عنصر باعث ایجاد کمبود عنصر دیگر خواهد شد. اثرات آنتاگونیستی بین پتاسیم و منیزیم در گیاهان گندم، خانواده براسیکا و کاساوا گزارش شده

است (تیسدل و همکاران، ۱۹۸۵). تأثیر غلظت زیاد پتاسیم در محیط ریشه بر کاهش انتقال منیزیم از ریشه به اندام هوایی، بیشتر از تأثیر آن بر جذب منیزیم در ریشه است (هوانگ و همکاران، ۱۹۹۰). گوپتا (۲۰۰۳) گزارش نمود که در خاک‌های آهکی که با آب آبیاری دارای بیکربنات زیاد آبیاری می‌گردند ممکن است کمبود منیزیم بروز نماید.

افزایش سطوح پتاسیم معمولا سرعت جذب منیزیم را کاهش می‌دهد، بخصوص در مواردی که مقدار منیزیم در خاک کم باشد. در حالیکه پتاسیم در جذب منیزیم تأثیر زیادی دارد، تأثیر متقابل منیزیم در جذب پتاسیم خیلی ناچیز است. نسبت کلسیم به منیزیم در خاک نبایستی بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ باشد (قادری و ملکوتی، ۱۳۷۸). منیزیم همچنین می‌تواند با عناصر سدیم، روی و آهن، دارای اثرات متقابل باشد. بنا به نظر پراساد و همکاران (۲۰۱۶) بین روی و منیزیم اثر متقابل مثبت وجود دارد و در خاک‌های مواجه با کمبود روی، کاربرد منیزیم باعث افزایش روی در درخت جلا[1] شد و کاربرد روی نیز باعث افزایش جذب منیزیم شد. منیزیمی که در pH کمتر از ۶ قابل تبادل است در pH بیش از ۶/۵ غیر قابل تبادل می‌گردد که این امر می‌تواند در ارتباط با اثر متقابل منیزیم، یون هیدروژن و آلومینیوم باشد (سن بایرام و همکاران، ۲۰۱۶). انتظار بر این است که اثر متقابل مثبت بین فسفر و منیزیم وجود داشته باشد زیرا منیزیم فعال‌کننده آنزیم کیناز است که اغلب واکنش‌های دخیل در انتقال فسفر را فعال می‌نماید. کاتیون‌ها از جمله منیزیم همچنین نقش اساسی در تنظیم جذب منگنز توسط گیاه دارند. این کاتیون‌ها در شرایطی که منگنز دچار کمبود است، سبب افزایش جذب و در شرایط زیادی منگنز، سبب کاهش جذب آن می‌گردند. رابطه ضدیت بین منیزیم و آهن نیز گزارش شده است (فاگریا، ۲۰۰۱).

۲-۸- منیزیم و کیفیت محصولات گیاهی

اگرچه منیزیم عنصری ضروری برای گیاه می‌باشد ولی اهمیت آن در کیفیت محصولات کشاورزی نادیده گرفته شده است. در گیاهان و سبزیجات صیفی جات، نسبت منیزیم به کلسیم و پتاسیم و نه مقدار خالص منیزیم به عنوان شاخص قابل اعتماد کیفیت

1 - Aleurites fordii Hemsl

در نظر گرفته می‌شود. مقدار منیزیم در مقادیر کمتر از حد مورد نیاز برای عملکرد بهینه به ندرت در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی اثرگذار است (گراندس و فورز، ۲۰۱۳).

کاربرد منیزیم در زمین‌هایی که دارای کمبود منیزیم هستند باعث افزایش وزن هزار دانه گندم و جو خواهد شد که در ارتباط با تجمع نمک‌های فیتیک کلسیم و منیزیم است. این امر در شرایطی ایجاد خواهد شد که مقدار منیزیم در خاک بیش از حد مورد نیاز عملکرد بیشینه باشد. مقدار پروتئین و گلوتن خام نیز در دانه گندم با کاربرد منیزیم افزایش خواهد یافت (گراندس و فورز، ۲۰۱۳). در سیب‌زمینی، منیزیم باعث افزایش استحکام غده در برابر ضربات زمان برداشت و نیز افزایش نشاسته آن می‌گردد. همچنین وزن تازه سیب‌زمینی ذخیره شده در انبار کمتر کاهش خواهد یافت. محلول-پاشی (۵ در صد سولفات منیزیم) در گیاه چغندرقند باعث افزایش میزان قند غده و بهبود خصوصیات تکنولوژیکی آن خواهد شد. در گیاهان دانه روغنی، غلظت منیزیم بر مقدار روغن اندام روغنی این گیاهان تأثیر دارد. در گیاه پالم، کاربرد ۰/۴ تا ۰/۸ کیلوگرم اکسید منیزیم در هر گیاه باعث افزایش نسبت روغن به خوشه به نسبت ۱ تا ۱/۸ شد. در گیاه دانه روغنی کلزا نیز اگرچه ممکن است در مناطقی کاربرد منیزیم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد نگردد ولی باعث افزایش درصد روغن آن خواهد شد (گراندس و فورز، ۲۰۱۳). در گیاه سویا فراهمی منیزیم در مرحله پیش از گلدهی برای دستیابی به عملکرد دانه و روغن مناسب ضروری است. بهبود خصوصیات کیفی در حبوبات نیز مشاهده شده است (گراندس و فورز، ۲۰۱۳).

۲-۹- روش‌های مقابله با کمبود منیزیم

مقدار منیزیم آزاد شده از مواد معدنی خاک عموماً در مقایسه با مقدار مورد نیاز برای حفظ عملکرد و کیفیت محصول کافی نیست. علاوه بر این، شرایط خاک مانند کم یا زیادی pH، خشکسالی و مقدار زیاد کاتیون‌های رقیب (مانند K^+، NH_4^+ و Ca^{2+}) می تواند در دسترس بودن منیزیم برای گیاه را علی‌رغم غلظت زیاد آن در محلول خاک، محدود کند (ملکوتی و طهرانی، ۱۳۷۸). بنابراین، در خاک با منیزیم قابل دسترس

محدود، کاربرد کود برای تولید محصول مناسب، بسیار مهم است. نتایج تجزیه خاک و نیازهای خاص هر محصول باید برای مدیریت دقیق کود در نظرگرفته شود. به برخی از حدود کفایت غلظت منیزیم در خاک و گیاه در قسمت‌های قبل اشاره شد با این حال، تحقیقات بیشتری در این زمینه مورد نیاز است. منابع کودی مناسب برای تأمین منیزیم گیاه وجود دارد. کودهای معمول حاوی منیزیم به طور کلی به دو دسته تقسیم می-شوند: منابع محلول و منابع نیمه محلول. کودهای محلول را می‌توان به صورت پخش سطحی استفاده کرد اما منابع نیمه محلول را باید با خاک مخلوط کرد. مواد معدنی مانند دولومیت به عنوان منابع منیزیم نیمه محلول شناخته می‌شود. این مواد اغلب به عنوان کود معدنی با حداقل تغییر استفاده می‌شوند. از سوی دیگر، چندین ماده معدنی طبیعی (مانند کیسرایت) حاوی منیزیم در فرم هیدراته ($MgSO_4$) از زمین استخراج شده و به عنوان کود حاوی منیزیم استفاده می‌شوند. این کود شامل منیزیم سولفات با یک یا هفت ملکول آب است. میزان آزادسازی منیزیم به محلول خاک از کودهای مختلف توسط ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها، مانند اندازه ذرات و حلالیت آنها، تعیین می‌شود. میزان حلالیت کود منیزیم عمدتاً بستگی به ترکیب شیمیایی آن (اکسید، سولفات، کربنات، نیترات، کلرید، فسفات و یا سیلیکات) دارد. منابع تأمین کننده منیزیم و حلالیت آنها در جدول ۳ آورده شده است. منابع کودی که حاوی منیزیم به شکل سولفات هستند، کاملا در آب محلول بوده و برای برطرف کردن کمبود منیزیم کاملا مناسب هستند. از سوی دیگر کود سولفات منیزیم ساخته شده توسط فرآیندهای شیمیایی نیز در دسترس است. این کود از واکنش اکسید منیزیم با اسید سولفوریک بدست می‌آید (سن بایرام و همکاران، ۲۰۱۶). در ایران به دلیل ارزان قیمت بودن و حلالیت مناسب، مهم‌ترین منبع کودی مورد استفاده، سولفات منیزیم است و از سایر منابع کودی، کمتر استفاده می‌شود.

جدول ۳- منابع کودی حاوی منیزیم و میزان حلالیت آنها در ۲۰ درجه سانتیگراد

(سن بایرام و همکاران،۲۰۱۵)

نوع کود	فرمول	درصد منیزیم	حلالیت (گرم در لیتر)
کیسرایت	$MgSO_4.H_2O$	۱۷	۳۴۲
اپسوم	$MgSO_4.7H_2O$	۹	۳۵۷
استروایت	$MgNH_4PO_4.H_2O$	۱۰	۱۶۹
دولومیت	$CaMg(CO_3)_2$	۶-۲۰	۰/۰۱
کاینایت	$MgSO_4 . KCl. 3H_2O$	۹	متغیر
لانگبینایت	$MgSO_4 . K_2SO_4$	۱۱	۲۴۰
مگنزیت	$MgCO_3$	۲۸	۱۷
هیدروکسید منیزیم	$Mg(OH)_2$	۴۱	۹
اکسید منیزیم	MgO	۵۶	۶
نیترات منیزیم	$Mg(NO_3)_2 . 6H_2O$	۹	۱۲۵۰
کلرید منیزیم	$MgCl_2$	۲۵	۵۶۰
کود دامی	متغیر		متغیر

کودهای حاوی منیزیم را علاوه بر مصرف خاکی می‌توان با کود آبیاری و محلول پاشی استفاده کرد. گزارش‌هایی مبنی بر مؤثر بودن استفاده از کودهای حاوی منیزیم به روش محلول پاشی وجود دارد. افزایش عملکرد و میزان کلروفیل برگ در اثر محلول‌پاشی منیزیم گزارش شده است (سن‌بایرام و همکاران، ۲۰۱۵). تحقیقات بیشتری در زمینه پاسخ گیاهان و ارقام مختلف به محلول‌پاشی این عنصر نیاز است. تحت تنش خشکی، جذب مواد مغذی از برگ به علت بسته شدن روزنه‌ها یا تغییر در مرفولوژی برگ (برگ-های ضخیم تر یا پوشیده از واکس) محدوداست. در سیستم‌های کشاورزی که با خطر تنش خشکی روبرو هستند، استفاده از کودهای حاوی منیزیم، به ویژه در ترکیب با سایر عناصر غذایی سبب افزایش کارایی مصرف کود می‌شود. در مورد کودهای محلول می‌توان از روش کود آبیاری استفاده کرد که منجر به افزایش کارایی مصرف کود می‌شود.

میزان مصرف کودهای حاوی منیزیم بستگی به میزان منیزیم خاک، شرایط خاک، نوع گیاه و مرحله رشد دارد.

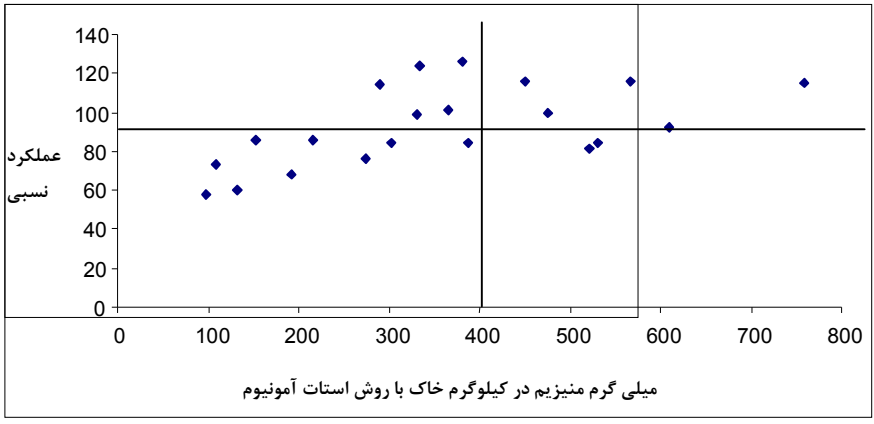
۲-۱۰- روش‌های اندازه‌گیری منیزیم در گیاه

برای اندازه‌گیری منیزیم در نمونه‌های گیاهی می‌توان از روش هضم تر (اسید سولفوریک + اسید سالیسیلیک + آب اکسیژنه و سلنیم) و یا خشک (سوزاندن خشک و استفاده از اسید کلریدریک) استفاده نمود. غلظت منیزیم ($mg\ g^{-1}$) در عصاره تهیه شده با دستگاه اتمیک قابل اندازه‌گیری است. میزان جذب در طول موج ۲۸۵/۲ نانومتر اندازه-گیری می‌گردد. برای جلوگیری در تداخل عناصری مثل فسفر وآلومینیوم در قرائت منیزیم در محلول تهیه شده از ترکیب جداکننده مثل لانتانیوم با غلظت ۱ گرم در لیتر استفاده می‌گردد (والینگا و همکاران ۱۹۸۹; المر و کان ۱۹۸۲).

۳- مروری بر تحقیقات انجام شده درخصوص منیزیم در ایران

در مورد حد بحرانی منیزیم در خاک تحقیقات پراکنده‌ای انجام شده است. قادری و ملکوتی (۱۳۷۸) کاربرد سولفات منیزیم را در خاک‌هایی که منیزیم تبادلی (با عصاره گیر استات آمونیوم) آن کمتر از ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم است برای گیاهان زراعی و باغی ضروری می‌دانند و مقدار مطلوب آن را ۱۰ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی اعلام نموده‌اند و در گیاه نسبت مناسب منیزیم: کلسیم: پتاسیم را ۴:۲:۱ می‌دانند. آنها مصرف سولفات منیزیم را در خاک‌هایی که میزان منیزیم تبادلی و محلول آنها با روش استات آمونیوم کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک باشد، برای کلیه محصولات باغی و زراعی توصیه می‌کنند. از سوی دیگر در بررسی ملاحسینی (۱۳۹۶) در گلخانه‌های خاک کشت استان اصفهان، حد بحرانی منیزیم تبادلی خاک برای خیار گلخانه‌ای با استفاده از روش کیت نلسون و واسنجی چشمی ۱۵ درصد ظرفیت تبادل کاتیونی برآورد گردید.

ملکوتی و رضایی (۱۳۸۰) نیز حد بحرانی منیزیم در خاک‌های زراعی کشور را با روش استات آمونیوم، ۷۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند. نیرومند (۱۳۸۹) این مقدار را با روش کیت نلسون، برای گندم ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نمود (شکل ۱۲).



شکل ۱۲ - تعیین حد بحرانی منیزیم

بنا به نظر شایگان و شیرین فکر (۱۳۸۰) در زمانی که در خاک مقدار منیزیم تبادلی کمتر از ۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و در شاخه‌های جوان به کمتر از ۰/۱۲ درصد برسد، بروز علائم کمبود در گیاه چای بیشتر می‌گردد و اگر علائم کمبود بروز ننماید بر کمیت و کیفیت چای تولیدی اثر خواهد داشت. در صورتی که مقدار منیزیم تبادلی در خاک بیشتر از ۱۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، نیاز به کاربرد منیزیم نیست. همان‌طور که مشاهده می شود در مورد محصولات و مناطق مختلف حدود بحرانی متفاوت است.

در آزمایشات کودی انجام شده در مورد منیزیم در محصولات و مناطق مختلف نیز پاسخ‌های متنوعی گزارش شده است. افضلی (۱۳۸۹) در منطقه دشت ناز مازندران ۵۰ کیلوگرم گوگرد تلقیح شده با تیوباسیلوس همراه با ۱۰۰ کیلوگرم سولفات منیزیم را برای افزایش عملکرد کلزا در این منطقه ضروری دانست. در بررسی حامدی (۱۳۸۵) بر روی گیاه گلرنگ رقم محلی اصفهان، نسبت‌های مختلف سولفات پتاسیم به سولفات منیزیم در منطقه ماهیدشت کرمانشاه استفاده شد. بهترین تیمار در میانگین دو سال، کاربرد ۱۰۰ کیلو سولفات پتاسیم و ۵۰ کیلو سولفات منیزیم بود که نسبت به شاهد حدود ۱۲ درصد افزایش عملکرد داشت. رمضانپور (۱۳۸۹) اثر مقادیر مختلف سولفات آمونیوم، کلرور و سولفات پتاسیم و سولفات منیزیم را بر گیاه موز در شرایط گلخانه‌ای در ساری بررسی نمود. عملکرد مناسب از تیمار ترکیبی ۶۵۰ گرم سولفات آمونیوم+ ۱۵۰ گرم سولفات پتاسیم+ ۴۵۰ گرم کلرور پتاسیم + ۱۰۰ گرم سولفات منیزیم برای هر بوته موز حاصل شد.

خویی (۱۳۷۶) تأثیر محلول‌پاشی دو درصد سولفات منیزیم و کاربرد خاکی یک کیلوگرم سولفات منیزیم در سایه انداز نارنگی انشو را بر عملکرد گیاه در مازندران بررسی نمود. دو بار محلول پاشی و کاربرد خاکی سولفات منیزیم در رفع علائم کمبود مؤثر بود. نحوه مدیریت مزرعه از بابت آب و کود در شدت بروز علائم و نیز عملکرد به دست آمده مؤثر بود. بنا به نظر ایشان اولین مورد گزارش شده از کمبود منیزیم در باغات مرکبات مازندران مربوط به گزارش‌های سال ۱۳۵۹ می‌باشد.

صفاری و افضلی (۱۳۹۰) اثر کاربرد خاکی، محلول پاشی و کود آبیاری منیزیم را بر گندم بررسی کردند. در منطقه دشت ناز مازندران بیشترین عملکرد از مصرف خاکی ۴۰ کیلو گرم سولفات منیزیم همراه با آب آبیاری و بدون محلول‌پاشی حاصل شد که

اختلاف معنی‌دار با شاهد داشت. در منطقه کرج، تیمار ترکیبی مصرف خاکی ۴۰ کیلو منیزیم و ۱۰ در هزار کود آبیاری و ۳ در هزار محلول‌پاشی، بیشترین عملکرد را داشت که با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد.

قادری و خادمی (۱۳۸۹) بیشترین عملکرد گندم در منطقه ماهیدشت را از کاربرد ۴۵۰ کیلو سولفات پتاسیم همراه با ۱۵۰ کیلو سولفات منیزیم گزارش کردند. در این تیمار نسبت پتاسیم به منیزیم در دانه ۲/۸۳۳ بود. جدول ۴ تغییرات عملکرد گندم در استان‌های مختلف پس از مصرف منیزیم را نشان می‌دهد:

جدول ۴- اثر مصرف سولفات منیزیم در هفت استان کشور بر عملکرد گندم آبی

(کیلوگرم در هکتار)

استان	شاهد	سولفات منیزیم	سولفات منیزیم-پتاسیم
زنجان	۵۱۰۰	-	۵۷۰۰
همدان	۷۲۰۰	۷۸۰۰	۷۵۰۰
خراسان	۴۱۷۰	۴۳۸۰	۴۴۶۰
ایلام	۳۱۷۰	۴۹۵۰	۵۷۰۰
کرمانشاه	۴۴۰۰	-	۵۸۰۰
اصفهان	۵۶۵۰	۶۰۰۰	۶۱۵۰
کرمان	۴۵۰۰	-	۵۳۰۰

ملکوتی و رضایی (۱۳۸۰) نتیجه‌گیری نمودند که با مصرف ۵۰ کیوگرم در هکتار سولفات منیزیم در زراعت پنبه در مزارع ری، اشتهارد و ورامین، عملکرد این محصول ۵ درصد افزایش یافت. اسدی (۱۳۸۰) در مغان در بررسی خود بر روی محصول پنبه، با کاربرد سولفات منیزیم به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار به تیمار حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، افزایشی در عملکرد مشاهده ننمود ولی در تیمار ترکیبی حاوی منیزیم با عناصر میکرو و گوگرد، افزایش عملکرد معنی‌دار گردید. با اضافه نمودن سولفات پتاسیم به تیمار حاوی نیتروژن و فسفر نیز افزایش عملکرد معنی‌دار نشد.

نتایج به دست آمده به وسیله نیرومند (۱۳۸۹) نشان داد که افزودن سطوح مختلف منیزیم، در مرحله رشد رویشی (۵۵ روز پس از کشت) در کشت گلخانه‌ای هیچ تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی گندم، غلظت و جذب منیزیم نداشت ولی در مرحله رشد زایشی بین سطوح مختلف منیزیم، تفاوتی معنی‌دار مشاهده شد.

مجیدی و خوارزمی (۱۳۸۶) گزارش کردند در منطقه خوی بهترین عملکرد علوفه یونجه از کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار سولفات منیزیم حاصل شد.

منتظری (۱۳۸۸) اثرات کاربرد سه سطح سولفات منیزیم (۰،۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و ۴ سطح پتاسیم (صفر، بر اساس آزمون، ۵۰ درصد بیشتر از آزمون و دو برابر آزمون خاک) را بر گیاه گوجه فرنگی در منطقه کهریز آذربایجان غربی بررسی نمود. مقدار منیزیم و پتاسیم قابل جذب در سال اول به ترتیب ۲۲۸ و ۱۸۰ میلی گرم در کیلوگرم و در سال دوم به ترتیب ۱۵۰ و ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم و در سال سوم به ترتیب ۱۴۴ و ۱۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در سال اول آزمایش به دلیل بالا بودن منیزیم خاک نسبت به پتاسیم، بیشترین عملکرد از تیمار ۳۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم یعنی دو برابر آزمون خاک به دست آمد. در سال دوم با توجه به برابر بودن مقدار منیزیم و پتاسیم و مقدار متوسط آنها در خاک، بهترین عملکرد از کاربرد ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار سولفات منیزیم و سولفات پتاسیم حاصل شد. با توجه به کمتر بودن مقدار منیزیم در سال سوم کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم سولفات منیزیم باعث افزایش عملکرد شد ولی تفاوت با ۱۰۰ کیلو گرم معنی‌دار نبود. در ادغام ۳ ساله بیشترین عملکرد از کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم سولفات منیزیم و بالاترین سطح پتاسیم یعنی ۲ برابر آزمون خاک (۳۰۰ کیلو سولفات پتاسیم) حاصل شد. این تحقیق از آن لحاظ جالب است که توانسته در طی ۳ سال خاک‌هایی انتخاب نماید که نسبت‌های مختلفی از K/Mg داشته است. به همین دلیل باید برای هر سال نیز تفسیر جداگانه‌ای انجام شود.

درسال‌های اخیر نیز گزارش‌هایی مبنی بر مشاهده علایم کمبود منیزیم در باغ‌های مرکبات مناطق مختلف کشور و پاسخ مثبت این محصولات به کاربرد خاکی و محلول پاشی این عنصر وجود دارد (اسدی کنگر شاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

۴- جمع‌بندی مطالب

منیزیم هشتمین عنصر فراوان پوسته زمین است. منشأ منیزیم در خاک تجزیه سنگ-های مادری دارای منیزیم است. منیزیم در خاک به شکل‌های موجود در ساختمان کانی‌ها، تبادلی، محلول و موجود در جزء آلی خاک وجود دارد. مهمترین منبع منیزیم مورد استفاده گیاه، منیزیم محلول، تبادلی و مقداری از منیزیم غیر تبادلی است که در طول فصل رشد به صورت محلول یا تبادلی در آمده و قابل استفاده گیاه گردیده است. هنگامی که برداشت منیزیم از خاک بیشتر از آزاد شدن آن از منابع معدنی در خاک و افزودن کود باشد، غلظت منیزیم در محلول خاک و مکان‌های تبادلی کم می‌شود. برای پایداری کشاورزی، تعادل بین برداشت و اضافه شدن منیزیم به خاک باید وجود داشته باشد. راه‌های تأمین منیزیم در خاک، استفاده از کودهای حاوی این عنصر و آزاد شدن در اثر هوادیدگی است. جذب توسط گیاه، تلفات توسط شستشو از خاک و فرسایش، سبب کم شدن میزان منیزیم در خاک می‌شوند.

آنچه از ارزیابی روش‌های آزمون خاک در مورد منیزیم می‌توان نتیجه گرفت این است که معمولا ارتباط ضعیفی بین میزان منیزیم عصاره‌گیری شده از خاک و پاسخ‌های گیاهی بویژه در مورد خاک‌های آهکی وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که توجه تنها به مقدار خاص این عنصر بدون درنظر گرفتن مقدار سایر عناصر ازجمله پتاسیم باعث خطا در تجزیه و تحلیل نتایج آزمون خاک و توصیه کودی اشتباه خواهد شد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک اکثر مناطق در ایران و آهکی بودن خاک و فراوانی منیزیم در این خاک‌ها و اینکه کمبود منیزیم معمولا در این خاک‌ها مشاهده نمی‌شده است، بررسی‌های محدودی در مورد وضعیت منیزیم در خاک‌های ایران انجام گرفته است و در این زمینه نیاز به بررسی‌های بیشتر وجود دارد تا در سری‌های غالب خاک کشور و برای محصولات عمده زراعی و باغی نسبت مناسب منیزیم به پتاسیم با عصاره گیر استات آمونیوم مشخص گردد و روابط همبستگی شاخص‌های خاک با عملکرد محصولات مشخص گردد.

بسیاری از واکنش‌های متابولیکی، فیزیولوژیکی و حیاتی در گیاهان تحت تأثیر منیزیم قرار دارد. مقدار کفایت منیزیم در گیاهان از ۰/۱۲-۰/۲۵ تا ۰/۲۵-۱ متفاوت است. محصولات حساس به کمبود منیزیم عبارت‌اند از مرکبات، نیشکر، دانه‌های روغنی، پنبه،

سیب‌زمینی، انگور و ذرت. اختلال (بازداشتن) شدیدی در انتقال قند ساکروز در زمان کمبود منیزیم اتفاق می‌افتد. در زمان کمبود، شدت نور زیاد باعث افزایش بروز کلروز بین رگبرگی می‌گردد. مصرف مقادیر زیاد کودهای پتاسیمی و یا بالا بودن میزان پتاسیم، آمونیوم و کلسیم در خاک می‌تواند منجر به کاهش میزان منیزیم گیاه گردد. نحوه جذب از محلول خاک از سیستم توده‌ای تبعیت می‌نماید.

در ایران تحقیقات معدودی در خصوص منیزیم در گیاهان گندم، کلزا و مرکبات انجام شده است که در این میان تحقیقات انجام شده در گیاه گندم بیشتر است. بهینه سازی توصیه‌های کودی منیزیم برای گیاهان زراعی و باغی کشور در خصوص منیزیم لازم است انجام گیرد و در این میان خصوصیات خاص گیاهان در ارتباط با منیزیم باید دقیق‌تر مدنظر قرار گیرد. یافته‌های جدید درخصوص فیزیولوژی جذب منیزیم به وسیله گیاهان و نقش منیزیم در فیزیولوژی تنش (خشکی، گرما، تابش شدید، pH خاک و سمیت عناصر) لازم است با جزییات بیشتری مشخص گردد و در توصیه های کودی به صورت دقیق برای هر منطقه استفاده گردد.

منابع

۱. اسدی جلودار، ا. ۱۳۷۹. بررسی اثرات مصرف کود منیزیم، گوگرد و عناصر ریز مغذی بر خواص کمی و کیفی پنبه. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۲. اسدی کنگرشاهی، ع. و ن. اخلاقی امیری. ۱۳۹۳. تغذیه پیشرفته و کاربردی مرکبات، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

۳. افضلی، م. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر استفاده از گوگرد پودری تلقیح شده با تیوباسیلوس همراه با منیزیم در عملکرد و درصد روغن و گلیکوزینولات کلزا. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۴. توفیقی، ح. ۱۳۷۸. مقایسه چهار عصاره‌گیر شیمیایی پتاسیم برای برآورد پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری شمال ایران. مجله علوم کشاورزی ایران. ۶۴۸- ۶۳۱: ۳۰.

۵. حامدی، ف. ۱۳۸۵. بررسی اثرات کاربرد مقادیر مختلف پتاسیم و منیزیم بر خواص کمی و کیفی گلرنگ بهاره. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۶. خادمی، ز.م.، ح. مسیح آبادی.، ح. رضایی.، م.م. طهرانی.، ک. بازرگان.، م.ر. بلالی و ا. سپهر. ۱۳۸۴. شناسایی و انتخاب هدفمند مکان‌های مطالعاتی در خاکهای تحت کشت گندم. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۷. خویی، س. ۱۳۷۶. بررسی تأثیر مصرف منیزیم در خاک و محلول‌پاشی در رفع کمبود منیزیم درمرکبات. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۸. دهقانی، ف. ۱۳۹۲. بررسی اثر نسبت کلسیم به منیزیم آب آبیاری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و رشد پسته در شرایط شور. رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۹. رمضانپور، م.ر. ۱۳۸۹. بررسی اثرات کاربرد مقادیر مختلف ازت، پتاسیم و منیزیم در تولید موز گلخانه‌ای. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۱۰. سپهر، ا. ۱۳۸۶. تأثیر سطوح مختلف پتاسیم و منیزیم بر کمیت و کیفیت آفتابگردان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

۱۱. سپهر، ا. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۹. ضرورت مصرف بهینه کود برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت آفتابگردان، وزارت کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۱۰۲، کرج، ایران.
۱۲. شایان، ش. و ا. شیرین فکر (مترجمین).۱۳۸۰. تأثیر پتاسیم و منیزیم در تولید چای بهتر. سازمان چای کشور، معاونت ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
۱۳. شهبازی، ک. ۱۳۸۷. تهیه بانک اطلاعات مکاندار حاصلخیزی خاک در کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران
۱۴. صفاری، ح. و م. افضلی.۱۳۹۰. بررسی تأثیر مقادیر و روش های مختلف مصرف کودهای منیزیمی در افزایش عملکرد و پروتئین دانه گندم. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۱۵. علی احیایی، م. ۱۳۷۶. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد دوم). نشریه شماره ۱۰۲۴، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۱۶. قادری، ج. و ز. خادمی. ۱۳۸۹. تعیین بهترین نسبت پتاسیم به منیزیم بر عملکرد گندم آبی. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۱۷. قادری، ج. و م.ج. ملکوتی. ۱۳۷۸. نقش منیزیم در افزایش عملکرد کمی و کیفی گندم و سایر محصولات کشاورزی. نشریه فنی شماره۶۳، نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.
۱۸. طهرانی، م.م.، ف. مشیری.، م.ن. غیبی.، ح. رضایی.، پ. کشاورز.، م.ح. داوودی.، ع. ضیائیان.، ف. نورقلی‌پور.، ع. مجیدی.، س. حسینی.، س. سعادت.، ه. اسدی رحمانی.، ز. خادمی.، م.ر. بلالی و م. مستشاری. ۱۳۹۳. برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه (جلد دوم)، دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه برای محصولات زراعی راهبردی. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۱۹. ملکوتی، م.ج. و س.ع. ریاضی همدانی (مترجمین). ۱۳۷۰. کودها و حاصلخیزی خاک. مرکز نشر دانشگاهی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲۰. ملکوتی، م.ج. و م.م. طهرانی. ۱۳۷۸. نقش ریزمغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی (عناصر خرد با تأثیر کلان). شماره ۴۳، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲۱. ملکوتی، م.ج. و ح. رضایی. ۱۳۸۰. نقش گوگرد، کلسیم و منیزیم در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی، کرج، ایران.

۲۲. مجیدی، ع. و ک. خوارزمی. ۱۳۸۶. بررسی اثرات پتاسیم و منیزیم بر کمیت و کیفیت گوجه فرنگی. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۲۳. ملاحسینی،ح. ۱۳۹۶. تعیین حد بحرانی منیزیم تبادلی خاک برای خیار گلخانه‌ای. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۲۴. منتظری، ع. ۱۳۸۸. بررسی اثرات پتاسیم و منیزیم برعملکرد کمی و کیفی گوجه فرنگی. گزارش نهایی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
۲۵. نیرومند، ن .۱۳۸۹. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی عصاره‌گیرهای منیزیم قابل جذب گندم در بعضی از خاک‌های آهکی ایران و تعیین پراکنش این عنصر در خاک‌های تحت کشت گندم کشور. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
26. Bower, C.A., R.F. Reitemeier and M. Fireman. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science. 73: 251-261.
27. Brennan, R. and C .Scanlan. 2017. Monitoring plant nutrition levels (online). Available at: https://www.agric.wa.gov.au/mycrop/monitoring-plant-nutrition-levels
28. Broadley, M.R., J.P. Hammond., G.J. King., D. Astley., H.C. Bowen., M.C. Meacham., A. Mead., D.A. Pink., G.R. Teakle and R.M. Hayden. 2008. Shoot calcium and magnesium concentrations differ between subtaxa, are highly heritable, and associate with potentially pleiotropic loci in *Brassica oleracea*. Plant Physiology.146(4): 1707-1720.
29. Cakmak, I. and A.M. Yazici. 2010. Magnesium: a forgotten element in crop production. Better Crops. 94(2): 23-25.
30. Christenson, D. and E. Doll .1973. Release of magnesium from soil clay and silt fractions during cropping. Soil Science. 116(1): 59-63.
31. Ding, G., L. Shi., H. Zhao., H. Cai., K. Liu and F. Xu .2013. Genetic analysis of seed mineral accumulation affected by phosphorus deprivation in *Brassica napus*. Euphytica. 193(2): 251-264.
32. Elmer, P. and N. Conn. 1982. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Perkin Elmer, Norwalk, CT.
33. Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition. 24(8): 1269-1290.
34. Farhat, N., A. Elkhouni., W. Zorrig., A. Smaoui., C. Abdelly and M. Rabhi. 2016. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. Acta physiologiae plantarum. 38(6):1-10.
35. Gerendás, J. and H. Führs. 2013. The significance of magnesium for crop quality. Plant and Soil, 368(1-2): 101-128.

36. Gransee, A. and H. Führs. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil. 368(1-2): 5-21.
37. Grzebisz, W. 2011. Magnesium food and human health. Journal of Elementology. 16: 299–323.
38. Guo, W., H. Nazim., Z. Liang and D. Yang .2016. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. The Crop Journal. 4(2): 83-91.
39. Gupta, P.K. 2003. Handbook of soil, fertilizer and manure, Agrobios (India).
40. Hermans, C. and N. Verbruggen .2005. Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. Journal of Experimental Botany.56(418): 2153-2161.
41. Hermans, C., J. Chen., F. Coppens., D. Inzé and N. Verbruggen .2011. Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure. New phytologist, 192(2): 428-436.
42. Hooper, L.J. 1967. The uptake of magnesium by herbage and its relationship with soil analysis data. P. 160-173. In Soil potassium and magnesium. Tech. Bull. 14. Her Majesty's stationary office, London.
43. Huang, J., D. Grunes and R. Welch .1990. Magnesium, nitrogen form, and root temperature effects on grass tetany potential of wheat forage. Agronomy journal. 82(3): 581-587.
44. Kaiser, D.E., C.J. Rosen and J.A. Lamb. 2016. Magnesium for crop production (online). Available at: .https://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/secondary-macronutrients/magnesium-for-crop-production-in-minnesota/docs/magnesium-for-crop-production.pdf
45. Maguire, M.E. and J.A. Cowan .2002. Magnesium chemistry and biochemistry. Bio Metals. 15:203–210.
46. Marschner, H . 2012. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Elsevier
47. Maynard, D.N. and G.J. Hochmuth. 2007. Knott's handbook for vegetable growers. John Wiley & Sons.
48. Mehlich, A .1948. Determination of cation- and anion-exchange properties of soils. Soil Science. 66: 429–446
49. Metson, A.J. 1974. Magnesium in New Zealand soils. I. Some factors governing the availability of soil magnesium: a review. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 2:277-391.
50. Moamo, T., C. Ritcher and B. Heiligtag. 1996. Comparison of extractants for the determination of available phosphorus, potassium, calcium, magnesium and sodium in some Ethiopian and German soils. Communication in Soil Science Plant analysis. 27(9&10):2197-2212.
51. Normandin, V., J. Kotuby-Amacher and R. O-Miller. 1998. Modification of the ammonium acetate exctractant for the determination of exchangeable cations

in calcareous soils. Communication in Soil Science Plant analysis. 29(11-14):1785-1791.

52. Ortas, I., N. Güzel and H. Ibrikçi. 1999. Determination of potassium and magnesium of soils using different soil extraction procedures in the upper part of Mesopotamia (in the Harran plain). Communication in Soil Science Plant analysis. 30:2607–2625.
53. Polemio, M. and J.D. Rhodes. 1977. Determining cation exchange capacity: A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Soil Science Society American Journal. 41:524-528.
54. Prasad, R., Y.S. Shivay and D., Kumar. 2016. Interactions of Zinc with Other Nutrients in Soils and Plants-A Review. Indian Journal of Fertilizers. 12, 16-26.
55. Schulte, E.E. and K.A. Kelling. 2004. Soil magnesium to calcium ratios-should you be concerned? Cooperative extension publications, Wisconsin university.
56. Senbayram, M., A. Gransee., V. Wahle and H. Thiel. 2016. Role of magnesium fertilizers in agriculture: plant–soil continuum. Crop and Pasture Science. 66:(12), 1219-1229.
57. Simson, C.R., R.B. Corey and M. E. Sumner. 1979. Effect of varying Ca: Mg ratios on yield and composition of corn (*Zea mays*) and alfalfa (*Medicago sativa*). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 10(1-2), 153-162.
58. Soltanpour, P.N. and S. Workman. 1979. Modification of the NH_4 HCO_3-DTPA soil test to omit carbon black. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 11: 1411-1420.
59. Staugaitis, G. and R, Rutkauskienė. 2010. Comparison of magnesium determination methods as influenced by soil properties. Agriculture (Žemdirbystė), 97:105–116.
60. Sumner, M.E. 1999. Handbook of soil science, CRC press.
61. Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D. Beaton .1985. Soil fertility and fertilizers, Collier Macmillan Publishers.
62. Walinga, I., W. Van Vark., V. Houba and J. Van der Lee. 1989. Soil and plant analysis. Wageningen Agric. Univ. Wageningen, Netherland.
63. Welte, E., W. Werner and E.A. Niederbudde. 1960. A textbook of soil chemical analysis. CBS Publishers and distributors. New Delhi.

Islamic Republic of Iran

MINISTRY OF AGRICULTURE – JAHAD

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Soil and Water Research Institute

Magnesium: A Forgotten Element in Agriculture

Fereydoon Nourgholipoor and Seyed Ali Ghaffari Nejad

2019