



نقش عناصر ریز مغذی در تغذیه گیاهان زراعی

نویسندگان:
فرهاد دهقانی، ابوالفضل دهقانی

حوزه ترویج و نظام بهره‌برداری یزد

مشخصات نشریه:

نقش عناصر ریزمغذی در تغذیه گیاهان زراعی

نویسندگان:

فرهاد دهقانی عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد

ابوالفضل دهقانی کارشناس مرکز ترویج و خدمات جهاد کشاورزی رکن اباد

ناظر: سید محمد رضوی بافقی

صفحه آرایی: دفتر طراحی یزد ۱۱۰

ویراستار: مرضیه آنتیک

طرح جلد: زهرا زحمتکش

ناشر: حوزه ترویج و نظام بهره‌برداری یزد

نوبت چاپ: چاپ اول

سال نشر: ۱۳۸۶

شمارگان: ۲۰۰۰ جلد

شماره استان و مرکز چاپ: ۸۶/۹۰

نشریه شماره ۱۱۱

مکاتبات نشریه

کارشناسان کشاورزی
کشاورزان پیشرو
دانشجویان رشته‌های زراعت و خاکشناسی

* * *

مقدم از انتشار نشریه

این مجموعه با اشاره به عملکرد عناصر
زیر مغذی در گیاهان، به بررسی نقش
و اثر عناصر کم مصرف و نیاز گیاهان
زراعی به آنها می‌پردازد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵	مقدمه:
۸	آهن (Fe):
۱۴	روی (Zn):
۱۵	روی در گیاه:
۱۶	مصرف روی:
۱۸	منگنز (Mn):
۱۸	منگنز در گیاه:
۲۲	بور (B):
۲۶	مس (Cu):
۲۸	مولیبدن (Mo):
۳۰	سیلیسیم (Si):
۳۱	کلر (Cl):
۳۲	نیکل (Ni):

مقدمه

گیاهان مانند سایر جانداران از ترکیبات متنوعی ساخته شده‌اند که درصد بالایی از آنها را آب تشکیل می‌دهد. بخش دیگر ساختمان گیاهان از عناصر مختلف تشکیل شده که در این قسمت به برخی از آنها اشاره می‌گردد. اهمیت بررسی ویژه این عناصر نیز به علت نقش تعیین کننده آنها در رشد و عملکرد محصولات مختلف است (شکل شماره ۱).

لازم به ذکر است از کلیه عناصر مغذی موجود در خاک آن عناصری از منظر حاصلخیزی اهمیت دارند که از لحاظ گیاه ضروری تشخیص داده شوند.

یک عنصر معدنی وقتی برای رشد و توسعه گیاه ضروری تشخیص داده می‌شود که دارای دو شرط اساسی باشد:

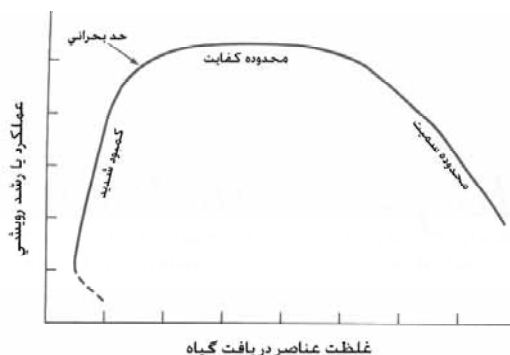
الف) در فعالیت‌های متابولیکی نقش منحصر به فرد داشته باشد، بطوریکه عنصر دیگری نتواند این نقش را به عهده بگیرد.

ب) گیاه بدون حضور این عنصر نتواند چرخه زندگی خود را کامل کند.

۱۶ عنصر تاکنون به عنوان عناصر ضروری رشد گیاه تشخیص داده شده‌اند که اشکال قابل جذب و میانگین نسبی غلظت آنها در گیاهان برای مقایسه در جدول شماره یک آورده شده است.

عناصر ضروری گیاهان را از دو طریق گروه‌بندی می‌کنند. اول از نظر میزان وجود آنها در گیاه و دوم از لحاظ نقش فیزیولوژیکی که در گیاه ایفا می‌کنند.

از لحاظ میزان حضور عناصر غذایی در گیاهان می‌توان عناصر ضروری را عموماً به دو گروه اصلی عناصر پر مصرف و کم مصرف تقسیم بندی کرد.



شکل شماره ۱: ارتباط بین غلظت عناصر غذایی ضروری و عملکرد گیاه

جدول شماره یک: عناصر ضروری رشد گیاه

علامت	نام عنصر	اشکال قابل جذب به وسیله گیاه	میانگین در گیاهان	تحرک در گیاه
H	هیدروژن	H_2O	۶ %	
O	اکسیژن	H_2O, O_2	۴۵ %	
C	کربن	CO_2, HCO_3^-	۴۵ %	
N	ازت	NH_4^+, NO_3^-	۱/۵ %	متحرک ^(۱) (پویا)
K	پتاسیم	K^+	۱ %	متحرک ^(۱) (پویا)
Ca	کلسیم	Ca^{2+}	۰/۵ %	بدون تحرک ^(۳)
Mg	منیزیم	Mg^{2+}	۰/۲ %	تحرک متغیر ^(۲)
P	فسفر	$HPO_4^{--}, H_2PO_4^-$	۰/۲ %	متحرک ^(۱) (پویا)
S	گوگرد	SO_4^{--}	۰/۱ %	تحرک متغیر ^(۲)
Cl	کلر	Cl^-	۱۰۰ ppm	متحرک ^(۱) (پویا)
Fe	آهن	Fe^{2+}, Fe^{3+}	۱۰۰ ppm	تحرک متغیر ^(۲)
B	بر	$B_2O_3^-$	۸۰ ppm	تحرک متغیر ^(۲)
Mn	منگنز	Mn^{2+}	۵۰ ppm	بدون تحرک ^(۳)
Zn	روی	Zn^{2+}	۲۰ ppm	تحرک متغیر ^(۲)
Cu	مس	Cu^+, Cu^{2+}	۶ ppm	تحرک متغیر ^(۲)
Mo	مولیبدن	MoO_4^{--}	۰/۱ ppm	تحرک متغیر ^(۲)

۱- انتقال از برگهای پیر به بخشهای جوان گیاه تحت هر شرایطی،

۲- انتقال از برگهای پیر به بخشهای جوان گیاه تنها تحت برخی شرایط،

۳- انتقال از برگهای پیر به بخشهای جوان گیاه تحت هیچ شرایطی وجود ندارد.

این دیدگاه ارتباط با اهمیت و نقش عناصر در گیاه ندارد و اولین عنصر و آخرین آنها از لحاظ اهمیت در متابولیسم و ضرورت برای ادامه حیات گیاه یکسان هستند و تنها میزان نیاز گیاهان به آنها متفاوت است.

این مجموعه به بررسی نقش و اثر عناصر کم مصرف و نیاز گیاهان به آنها می‌پردازد. نکته مهم اینکه برخی از عناصر دیگر نیز با پیشرفت تحقیقات علمی در شرف اضافه شدن به موارد فوق هستند که در بخش آخر این مجموعه مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این عناصر شامل سدیم، کالت، وانادیم، نیکل و سلسیم است که حداقل برای تعدادی از گیاهان ضروری هستند.

نکته قابل توجه اینکه عناصر موجود در گیاهان محدود به عناصر ذکر شده نیست به طوری که بیش از ۶۰ نوع عنصر در گیاهان مختلف شناسایی شده‌اند که بسیاری از آنها ضروری نیستند. با خاکستر کردن گیاهان کلیه عناصر ضروری به استثنای C، H، O، N و S که به صورت گاز خارج می‌شوند در داخل آن باقی می‌مانند.

نکته مهم دیگر اینکه میزان عناصر در داخل گیاه به عوامل مختلف دیگری علاوه بر نوع گیاه نیز بستگی دارد. این عوامل شامل خاک، اقلیم و مدیریت زراعی است.

قابلیت دسترسی عناصر کم مصرف در خاک:

بسیاری از فاکتورهای خاکی بر روی قابلیت دسترسی عناصر غذایی از جمله عناصر کم مصرف اثر می‌گذارند که pH محلول خاک و میزان مواد آلی از مهمترین این عوامل هستند. pH یا اسیدیته کنترل کننده نوع یونهای عناصر کم مصرف و حلالیت یا رسوب ترکیبات مختلف این عناصر در خاک است که اثر آن را بر هر عنصر به طور جداگانه بررسی خواهیم کرد.

ترکیبات حاصل از تجزیه مواد آلی و تولیدات موجودات ریز در خاک باعث ترکیبات پیچیده ولی محلول از عناصر ریز مغذی می‌شود که بسادگی بوسیله ریشه گیاه جذب می‌شوند. با توجه به ترکیبات فوق حرکت همراه با جریان آب و پخشیدگی دو روش اصلی رسیدن عناصر کم مصرف به سطح ریشه است.

آهن (Fe):

آهن در حدود ۵ درصد از وزن پوسته زمین را تشکیل می دهد که چهارمین عنصر در لیتوسفر (پوسته) است و کانی های مختلفی را مانند الیون، پیریت و شامل می شود. این میزان در خاک می تواند کمتر یا بیشتر باشد به طوری که میزان آهن کل خاک از ۰/۷ تا ۵۵ درصد متغیر است.

میزان آهن در محلول خاک بسیار کمتر از سایر کاتیونها است که بستگی کامل به pH دارد به طوری که با افزایش یک واحد pH میزان یون Fe^{3+} ۱۰۰۰ و Fe^{2+} ۱۰۰ برابر کاهش پیدا می کند. ولی به هر حال در محدوده pH های موجود خاک کل آهن محلول خاک برای برطرف کردن نیاز گیاهان کافی نیست (حتی در خاکهای اسیدی). پس مکانیزم های دیگری نیز در تأمین نیاز گیاهان دخیل است.

تشکیل کلات با ترکیبات آلی خاک باعث افزایش آهن قابل جذب می شود. ترکیبات مصنوعی کلات کننده آهن نیز همین اثر مثبت را دارد. این ترکیبات آلی کلات کننده که همین عمل را با سایر عناصر کم مصرف نیز انجام می دهند شامل مواد حاصل از تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم ها و مواد حاصل از خود موجودات ریز خاک و بالاخره ترکیبات خارج شده از ریشه می باشد.

با توجه به اینکه این روند در مورد کلیه عناصر ریز مغذی تکرار می شود در این قسمت به طور خلاصه کلات را تعریف می کنیم. کلات به ترکیبات آلی محلول تلقی می شود که پیوندهایی با فلزات مختلف تشکیل داده، حلالیت آنها را زیاد کرده و برای ریشه قابل جذب می شوند. از طرف دیگر عناصر کلات شده کمتر به شکل های نامحلول در خاک در می آیند.

در مورد کلاتها گفته شد که کلاتهای مصنوعی نیز در خاک مانند کلاتهای طبیعی عمل می کنند. بنابراین به عنوان کودهای مفید مصرف می شوند. چون کلات کننده های مصنوعی بسیار متنوع هستند باید گفت که کلاتهای مناسب برای تولید کود به عنصر کم مصرف مورد نظر و پایداری کلات در خاک بستگی دارد. پایداری کلات به این معنی است که بعد از ورود آن به داخل خاک و قرار گرفتن در معرض تغییر pH، ساختمان آن عوض نشده و کاتیونهای دیگر جایگزین آن نشود.

مثلاً در مورد آهن، کلات آن با EDDHA در محدوده وسیعی از pH خاک می تواند آهن را در اختیار گیاه قرار دهد. میزان مطلوب آهن در خاک برابر با ۵ میلی گرم در کیلوگرم است که با وجود مقادیر زیاد آهن کل در خاک، در اکثر شرایط (pH بالاتر از ۴) خاک توانایی تامین آن را ندارد و همانگونه که ذکر شد با کمک سایر ترکیبات آلی این میزان تامین می شود. البته نقش ریشه در تغییر شرایط اطراف خود به نفع جذب آهن نیز موثر است.

خاکهای آهنی که درصد بالایی از خاکهای ایران را نیز تشکیل می دهد بیشترین علائم کمبود را نشان می دهد که دلیل اصلی آن مقادیر بالای یون بیکربنات در محلول خاک است. آبیاری سنگین، فشردگی خاک و کاهش تهویه باعث زیاد شدن یون بیکربنات می شود. این یون می تواند جذب و انتقال آهن را کاهش داده و یا اینکه باعث غیر فعال شدن مقادیر بالایی از آهن در داخل برگها شود.

آهن نقش های متعددی در گیاهان ایفا می کند که عموماً ناشی از توانایی آن در تغییر ظرفیت خود می باشد ولی مهمترین نتیجه کمبود آن را میتوان کاهش ساخت کلروفیل (سبزینه) در گیاه و بوجود آمدن کلروز یا زردی در برگهای جوان دانست. این مسئله کاهش فتوسنتز و گل آغازی در بسیاری از گیاهان را به دنبال دارد.

همچنین آهن به شدت به بافتها متصل شده، در داخل گیاه به عنوان عنصر غیر متحرک محسوب می شود و ۸۰ درصد آن در کلروپلاست برگهای سبز قرار دارد که کمبود آن زردی برگهای جوان را باعث می شود. البته زردی در بین رگبرگها بوده و خود رگبرگها سبز باقی می ماند.

درختان میوه بیشترین حساسیت را نسبت به کمبود آهن نشان می دهند (جدول شماره دو). این تفاوت در حساسیت حتی در بین واریته ها و ارقام مختلف یک گیاه دیده می شود که مربوط به توانایی ریشه در جذب آهن است.

در اکثر گیاهان اگر میزان آهن کمتر از ۵۰ ppm باشد علائم کمبود مشاهده می شود ولی مقادیر کافی این عنصر را نمی توان در گیاهان مختلف بیان کرد. در برخی مواقع میزان این عنصر حتی بیشتر از حد نرمال است ولی با اینحال علائم کمبود مشاهده می شود که بدلیل غیر فعال شدن آهن در داخل گیاه است. پس در بسیاری از موارد اندازه گیری آهن در برگ برای تشخیص کافی نیست.

بهترین راه حل های مبارزه و پیشگیری از کمبود آهن و زردی ناشی از آن را می توان به

صورت زیر خلاصه کرد:

- ☐ کاشت گیاهان مقاوم به کمبود.
- ☐ آبیاری سبک و با دفعات بیشتر و بالا بردن تهویه خاک.
- ☐ کاهش رفت و آمد ماشین آلات در مزرعه.
- ☐ افزودن مواد آلی به خاک.
- ☐ مصرف کودهای شیمیایی مناسب (استفاده از سولفات آمونیم در باغات دارای کمبود آهن).
- ☐ استفاده از اصلاح کننده های خاک و کمک به کاهش موضعی pH خاک.
- ☐ استفاده از کودهای آهن مناسب (برگ پاشی و مصرف خاکی).
- ☐ کاهش بیکربنات آب آبیاری با مصرف اسید.

جدول شماره دو - حساسیت محصولات مختلف نسبت به کمبود آهن

مقاوم	نیمه مقاوم	حساس
یونجه	یونجه	توت
جو	جو	پرتقال
ذرت	ذرت	باقلا
پنبه	پنبه	کتان
کتان	باقلا	سورگوم علوفه‌ای
ارزن	نخود	درختان میوه
سیب زمینی	لگوم‌ها	سورگوم دانه‌ای
برنج	درختان میوه	انگور
سویا	سورگوم دانه‌ای	نعناع
چغندر قند	علوفه	گیاهان زینتی
سبزیجات	گیاهان زینتی	بادام زمینی
گندم	برنج	سویا
	سویا	سبزیجات
	سبزیجات	گردو
	گندم	

برخی از گیاهان به علت تفاوت در مشخصات خاک، شرایط رشد و تفاوت ارقام در دو گروه قرار می‌گیرند.

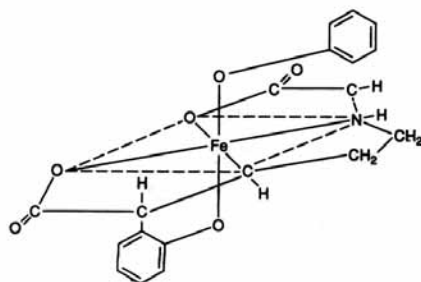
در جدول زیر کودهای رایج آهن به همراه میزان آن قابل دسترس است.

جدول شماره سه- کودهای رایج برای رفع کمبود آهن

نام کود	فرمول	درصد تقریبی آهن
سولفات آهن (فرو)		۱۹
سولفات آهن (فریک)		۲۳
آمونیم پلی فسفات آهن		۲۲
کلاتهای آهن	NaFeEDTA	۵-۱۴
	NaFeHEDTA	۵-۹
	NaFeEDDHA	۶
	NaFeDTPA	۱۰
مواد آلی		۵-۱۰

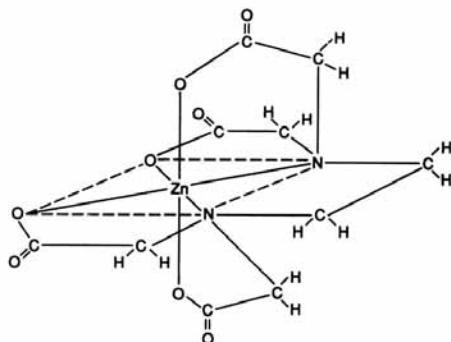


شکل شماره ۲: علائم کمبود آهن در گندم و سیب زمینی



(a)

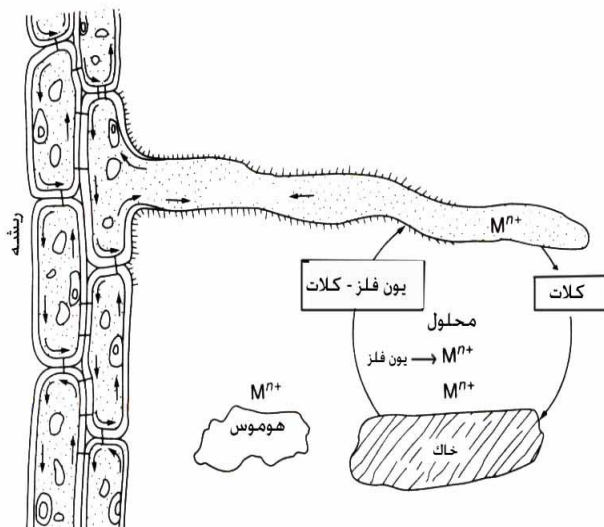
(الف)



(ب)

شکل شماره ۳

الف) ساختمان کلات Fe-EDDHA (ب) کلات روی



شکل شماره ۴

چرخه کلاتهای عناصر کم مصرف در خاک - محلول خاک - ریشه گیاه



شکل شماره ۵: علائم کمبود آهن در گوجه



شکل شماره ۶: علائم کمبود آهن در ذرت

روی (Zn)

میزان روی در پوسته زمین حدود ۸۰ و در خاک بین ۱۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم است که کانی‌های مختلفی از آن در خاک وجود دارد.

کمبود روی در اکثر قسمتهای دنیا دیده می‌شود که خاکهای شنی و اسیدی، خاکهای آهکی، خاکهای با pH زیاد، برخی خاکهای آلی و خاکهای فرسایش یافته شامل این نوع خاکها هستند. در ایران آهکی بودن خاکها، pH بالا، مواد آلی کم، بیکربناته بودن آب آبیاری و مصرف نامتعادل کودها از عوامل اصلی کمبود روی در خاکهای کشاورزی هستند که pH با زیاد کردن جذب روی بر روی اجزای خاک از دلایل اصلی تعیین کننده قابلیت جذب آن است.

روی در خاک به شکل محلول، جذب شده بر روی ذرات رس، مواد آلی و کربناتها، کمپلکس شده با مواد آلی و موجود در کانی‌ها مشاهده می‌شود.

با افزایش pH میزان روی قابل دسترس بسرعت کاهش می‌یابد و بنابراین کمبود در شرایط خاکهای آهکی بوجود می‌آید بطوریکه روی به صورت کم محلول رسوب می‌کند. به علاوه روی می‌تواند بر سطوح خارجی آهک نیز رسوب کند.

مواد آلی بر مقادیر قابل جذب عنصر روی اثر می‌گذارد که به میزان و نوع مواد آلی بستگی دارد. در خاکهای آلی کمبود روی دیده می‌شود ولی اسیدهای آلی مانند اسید فولیک و اسید هیومیک می‌تواند باعث افزایش حالیت روی قابل دسترس شود که در خاکهای مناطق خشک اهمیت دارد. زیادی سایر عناصر فلزی کاتیونی مانند Fe^{2+} ، Cu^{2+} و منگنز جذب روی را کاهش می‌دهد. وجود مقادیر زیاد فسفر در خاکهایی که میزان روی در مرز کمبود قرار دارد، قابلیت دسترسی روی را نیز کمتر می‌کند. از طرف دیگر در این گیاهان در اثر کمبود روی، گیاه توانایی خود را در تنظیم تجمع فسفر از دست می‌دهد و در نتیجه فسفر در مقادیر زیاد جذب گیاه شده، انتقال می‌یابد و سمیت را بوجود آورده و بنابراین علائم مشابه کمبود روی را در خود نشان می‌دهد. حتی با وجود مقادیر کافی روی در آن مصرف پتاسیم می‌تواند این اثر مضر فسفر را کاهش دهد.

حد بحرانی روی در خاک نسبت به روشهای عصاره گیری و نوع گیاه متفاوت است. مثلاً این حد برای روی در گندم با روش عصاره گیری DTPA از ۰/۷ تا ۰/۹۵ پی پی ام اعلام

گردیده که این میزان به مواد آلی خاک ربط داده شده است. (با افزایش مواد آلی عدد حد بحرانی کاهش یافته است). این عدد برای پنبه حدود ۱/۱ میلی گرم در کیلوگرم گزارش گردیده است. میزان یک میلی گرم روی در کیلوگرم خاک با روش عصاره گیری DTPA برای اکثر محصولات مقادیر مناسبی است.

جدول شماره چهار: حساسیت محصولات مختلف به مقادیر کم روی قابل دسترس

غیر حساس	با حساسیت متوسط	بسیار حساس
مارچوبه	یونجه	باقلا
هویج	جو	پرتقال
علوفه	شیدر	ذرت
شاهی	پنبه	کتان
جو دوسر	سیب زمینی	درختان میوه
نخود فرنگی	سورگوم	انگور
فلفل شیرین	چغندر قند	پیاز
چاودار	گوجه	گردو
گلرنگ	گندم	کاج
		برنج
		سویا
		سودان گراس

روی در گیاه:

گیاهان عمدتاً روی را به صورت کاتیون دو ظرفیتی (Zn^{2+}) جذب می نمایند که نقش اصلی آن شرکت در ساخت برخی از آنزیمها و یا تنظیم کننده آنها می باشد. میزان روی در گیاهان به طور متوسط ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم است. در اکثر گیاهان مقادیر کمتر از ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم باعث کمبود و بالاتر از ۴۰۰ باعث بروز علائم سمیت است. تحرک روی در گیاه نسبتاً کم است، بنابراین علائم کمبود آن اکثراً در بافت های جوان دیده

می‌شود که این علائم در گیاهان مختلف متفاوت است. علائم عمومی کمبود شامل توقف رشد گیاه، ضعف در جوانه زنی، روشن شدن رنگ گیاه، زردی آن و ریز برگ‌ها با ریزش برگ‌های انتهایی شاخه درختان است. چون روی یکی از عناصر ضروری برای ساخته شدن هورمون ایندول استیک اسید (IAA) است، کمبود آن باعث بروز علائم کمبود آن می‌شود که در آن فاصله بین گره‌ها در ساقه کاهش پیدا می‌کند.

مصرف روی:

کاربرد انواع کودهای حاوی روی در خاکهای دارای کمبود روی باعث بهبود رشد و عملکرد شده و حتی مثلاً در باره گندم میزان این عنصر در دانه نیز افزایش یافته و بهبود کیفیت را در پی خواهد داشت.

مصرف Zn مخصوصاً به صورت محلول پاشی باعث کاهش غلظت فسفر در اکثر محصولات و اصلاح وضعیت نسبت Zn/P در گیاه می‌شود.

مصرف خاکی ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در اکثر آزمایشات برای رفع کمبود و افزایش عملکرد گندم مناسب بوده است. البته وضعیت خاکهای ایران تثبیت اکثر کود بکار رفته را در پی دارد. اثر مثبت مصرف روی در خاکهای دارای کمبود در شرایط تنش شوری نیز به اثبات رسیده است. البته در مزارع دارای عملکرد بالا با توجه به هزینه مصرف خاک کودهای روی، محلول پاشی این عنصر می‌تواند مفید باشد. رقم گیاه در قابلیت جذب این عنصر مانند آهن اهمیت و نقش داشته و ارقام را از نظر جذب این عنصر به ارقام کارا و غیر کارا تقسیم می‌کنند.

جدول شماره پنج: برخی از منابع کودی روی

نوع کود	فرمول	درصد روی
سولفات روی (یک ملکول آب)		۳۵
اکسید روی		۷۸
فسفات روی		۵۱
کلاتهای روی	NaZn EDTA	۱۴
	NaZn HEDTA	۹
مواد آلی		۵-۱۰



شکل شماره ۷: علائم کمبود روی در ذرت



شکل شماره ۸: علائم کمبود روی در پنبه

منگنز (Mn):

مقدار منگنز در پوسته زمین حدود ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم است که این میزان در خاکها از ۲۰ تا ۳۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و میانگین ۶۰۰ متغیر است. منگنز در سنگهای حاوی Fe و Mg وجود دارد.

Mn در خاک به صورت پوسته اکسیدها و هیدروکسید روی ذرات خاک مشاهده می شود. نوع سنگ مادری، سن خاکها، مواد آلی و pH از جمله عوامل مؤثر در میزان Mn خاک است.

کمبود Mn در خاک به صورت یون محلول (Mn^{2+})، تبادلی و متصل به مواد آلی نیز دیده می شود و تعادل بین آنها نماینده قابلیت دسترسی این عنصر برای گیاه است. شرایط تهویه، pH و تشکیل ترکیبات پیچیده با مواد آلی در این میان نقش مهمی دارند. Mn در شرایط خاصی می تواند آبشویی شده و از خاک خارج شود.

افزایش pH میزان منگنز محلول و تبادلی را کاهش می دهد و به همین علت مصرف کودهای اسیدزای از ته و گوگردی می تواند باعث بهبود وضعیت حلالیت Mn شود. تهویه نامطلوب و رطوبت زیادی، کاهش O_2 و افزایش Mn محلول را بخصوص در شرایط اسیدی به دنبال دارد که حتی منجر به مسمومیت نیز می شود. خاکهای قلیایی دارای مواد آلی زیاد باعث بوجود آمدن ترکیبات کلاته محلول می شود. البته در شرایطی مانند استان یزد که مواد آلی اندکی دارد اضافه کردن مواد آلی طبیعی مانند کمپوست و یا بقایای گیاهی گندم می تواند میزان Mn قابل استفاده را افزایش دهد.

مقادیر زیاد مس، آهن و روی می تواند جذب Mn را کاهش دهد. ترکیباتی مانند KCl، KNO_3 و حتی NaCl حلالیت و قابلیت جذب Mn را افزایش می دهد.

منگنز در گیاه:

منگنز به صورت کاتیون Mn^{2+} جذب گیاه شده و در فرآیندهای متعددی شرکت می کند. از جمله فعال سازی آنزیم ها و ساخت متابولیست های ثانوی که این خود باعث افزایش مقاومت گیاهان در برابر بیماری ها می شود. Mn در برخی واکنش ها می تواند با Mg جایگزین شود.

بیشترین میزان منگنز در ریشه وجود دارد. گیاهان مختلف حساسیت متفاوتی نسبت به کمبود Mn از خود نشان می‌دهند.

میزان Mn در گیاهان مختلف متفاوت گزارش شده (۲۰ تا ۳۰ میلی گرم در کیلوگرم در اندامهای مختلف) که در جداول مربوطه آمده است. علائم کمبود این عنصر نیز به نوع گیاه بستگی دارد.

این عنصر در داخل گیاه تحرک کمی دارد و کمبود ابتدا در پهنک برگهای جوان به صورت کلروز بین رگبرگی به شکل لکه‌ای درشت و مشبک مانند دیده می‌شود و کلروفیل در این مناطق تجزیه می‌شود.

سمیت منگنز در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۶۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم آن به صورت لکه‌های قهوه‌ای بر روی برگهای پیر مشهود است که به علاوه می‌تواند کمبود عناصری مانند آهن، منیزیم و کلسیم را سبب شود.

جدول شماره شش: حساسیت نسبی گیاهان مختلف نسبت به کمبود منگنز

مقاوم	نسبتاً مقاوم	حساس
جو	جو	یونجه
ذرت	ذرت	پرتقال
پنبه	پنبه	درختان میوه
باقلا	باقلا	جو دو سر
برنج	درختان میوه	
چاودار	سیب زمینی	پیاز
سویا	برنج	سیب زمینی
سبزیجات	سویا	سویا
گندم	سبزیجات	چغندر قند
	گندم	گندم

قرار گرفتن یک محصول در دو یا چند گروه به علت تفاوت در بقیه مشخصات خاک، شرایط رشد و واریته‌های گیاه است.

جدول شماره هفت: کودهای مصرفی حاوی منگنز

نوع کود	فرمول	درصد منگنز
سولفات منگنز	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	۲۶-۲۸
اکسید منگنز	MnO	۴۱-۶۸
مواد آلی		۵-۹
کلاترها	MnEDTA	۵-۱۲

کودها در شرایط کمبود شدید به صورت نواری و در مقادیر بالاتر به صورت پخش سطحی نیز می‌تواند بکار برده شود. میزان ۴۰-۵۰ کیلوگرم سولفات منگنز برای غلات مناسب تشخیص داده شده است.

محلول پاشی در شرایط برطرف نمودن کمبود درختان میوه یا گیاهان زراعی نیز توصیه شده است که معمولاً اقتصادی‌تر و مؤثرتر است. البته اثرات دراز مدت مصرف در خاک را ندارد. بذره‌های غنی شده سبز در رفع کمبود مؤثر است.



شکل شماره ۹: علائم کمبود منگنز در جو و گندم



شکل شماره ۱۰: علائم کمبود منگنز در خیار گلخانه ای



شکل شماره ۱۱: علائم کمبود منگنز در گندم

بور (B) :

بور تنها عنصر غیر فلزی است که جزء عناصر کم مصرف ضروری قرار می گیرد. مقادیر این عنصر در پوسته زمین کم و در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم و در خاک اکثراً در محدوده ۷ تا ۸۰ میلی گرم در کیلوگرم است که کمتر از ۵٪ آن برای گیاه قابل دسترسی است.

تورمالین و سیلیکات بور جزء کانی های مهم کم محلول و مقاوم به هوا دیدگی می باشند و باعث کمبود بور در خاکهای سبک در این مناطق می شوند. ولی در مناطق خشک به علت وجود شرایط قلیائی و نمکهای بورات کمبود این عنصر کمتر دیده می شود. سمیت بور هم در مناطق خشک و یا مناطقی که آب آبیاری حاوی مقادیر زیادی از این عنصر است روی می دهد. بور در خاک به چهار فرم اصلی کانی های اولیه جذب سطحی شده در روی رس و اکسیدهای آهن و آلومینیم، ترکیب با مواد آلی و اسید بوریک در محلول خاک دیده می شود. عوامل موثر بر قابلیت دسترسی بور برای گیاهان به عوامل متعددی بستگی دارد. خاکهای درشت بافت که دارای زهکشی مناسبی است مقادیر بور کمتری داشته و حتی بور اضافه شده در اینگونه خاکها در صورتی که مواد آلی آن کم باشد تا ۸۵ درصد آبشویی می شود. نوع و میزان رس نیز در این میان اهمیت دارد. افزایش pH خاک باعث کاهش دسترسی به بور می شود و این کاهش در pH بالاتر از ۶/۵ شدت می یابد. افزایش مواد آلی در خاکهای معدنی عموماً باعث افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی این عنصر می شود تا حدی که غلظت بور در گیاهان نیز افزایش می یابد.

کمبود Ca در گیاه باعث کاهش مقاومت گیاه در مقابل سمیت بور می شود و با بالا رفتن Ca در گیاه نیاز طبیعی آن به B افزایش می یابد. اثر متقابل این دو عنصر به صورتی است که نسبت Ca/B برگ را برای بررسی B گیاه مورد استفاده قرار می دهند. در سطوح پائین B افزایش K باعث بروز علائم کمبود B می شود. اثر پتاسیم ممکن است از طریق بالا بردن جذب Ca باشد. در مقابل وقتی مقادیر B بالا باشد افزایش پتاسیم می تواند سمیت بور را زیاد کند. حساسیت گیاهان نسبت به بور نیز متفاوت است که مربوط به تفاوت آنها در جذب این عنصر می باشد. با توجه به این نکته مهم که فاصله مقادیر مورد نیاز بور برای گیاهان

و سطوح سمیت در آن به هم نزدیک بوده ، بررسی حساسیت گیاهان به این عنصر اهمیت زیادی دارد.

بور در گیاه نقش‌های متعددی بازی می‌کند. از جمله اثر در جوانه زدن گیاه، تشکیل میوه و انتقال مواد فتوسنتزی، جلوگیری از ریزش میوه، تشکیل و ترمیم بافت‌های آوندی و سایر موارد.

انتقال بور در گیاهان مختلف کاملاً متفاوت است. بور علاوه بر انتقال در سیستم آوند چوبی برای حرکت به سمت برگ‌ها در برخی گونه‌ها در سیستم آوند آبکش نیز منتقل شده و در برخی دیگر از گونه‌ها در سیستم آبکش منتقل نمی‌شود.

جدول شماره هشت: حساسیت گیاهان مختلف به بور

کم نیاز (مقاوم)	میان نیاز (نیمه مقاوم)	پر نیاز (حساس)
چمن	سیب	یونجه
گندم	آلبالو - گیلاس	گل کلم
خیار	ذرت	کرفس
جو	پنبه	شبدر
باقلا	پیاز	مخروطیان
غلات	گلابی	خردل
لیمو	سیب زمینی	بادام زمینی
کتان	اسفناج	انگور
فلفل	گوجه فرنگی	چغندر قند
تمشک	هویج	شلغم
توت فرنگی	کاهو	
	هلو	
	تربچه	

بور به چند شکل $\text{H}_4\text{B}_2\text{O}_7$ ، H_4BO_3 یا BO_3^- می‌تواند جذب شود ولی اغلب به صورت بورات جذب می‌گردد. با توجه به میزان نیاز گیاهان به بور میزان آن در برگها نیز تفاوت می‌کند. مثلاً در گیاهان با تحرک کم بور، میزان آن تا ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم کاهش می‌یابد که این میزان در برگ برخی از گیاهان تا ۱۲۰ نیز می‌رسد (چغندر قند). مقادیر بالاتر از ۲۰۰ معمولاً باعث بروز علائم سمیت در اکثر گیاهان است.

در حالت کمبود، توقف رشد انتهایی از اولین علائم بوده، سپس قاعده برگهای جوان سبز کم رنگ شده و نهایتاً بافتهای جوانه رویشی سیاه می‌شود.

بخشهای گوشتی میوه قهوه‌ای رنگ شده و حالت چوب پنبه‌ای به خود می‌گیرد. علائم سمیت بور در حاشیه برگهای پیر به صورت سوختگی بوجود می‌آید ولی در گیاهانی مانند میوه‌های هسته دار این علامت دیده نشده و سمیت به صورت سوختگی در نوک ساقه‌های جوان و بافتهای چوب پنبه‌ای در ساقه بوجود می‌آید. در مرکبات این علائم مانند زردی حاشیه و بین رگبرگی برگهای جوان و سیاه شدن حاشیه برگها است.

برای رفع سمیت بور می‌توان آنرا آبشویی کرد البته نیاز آبشویی بور سه برابر سایر نمکها است که به دلیل جذب شدن آن به سطح ذرات خاک است. گچ نیز می‌تواند در این راه کمک کند.

انتخاب گیاهان مقاوم برای کاشت نیز از راهکارهای مناسب است. برای رفع کمبود بور می‌توان از مصرف خاکی و یا محلول پاشی استفاده کرد. در مصرف خاکی می‌توان این عنصر را همراه با ازت، فسفر و یا پتاسیم مصرف کرد. یکنواختی توزیع این عنصر در خاک به دلیل نزدیکی مقادیر سمیت و کمبود ضروری است.

جدول شماره نه: منابع اصلی کودهای بور

درصد بور	منابع کودی
۱۱	بوراکس
۱۷	اسید بوریک
۱۴-۱۵	سدیم تترا بورات
۲۰-۲۱	سولوبور

بهترین زمان محلول پاشی برای بور در درختان میوه هنگام متورم شدن جوانه‌ها و در انگور پس از هرس یا متورم شدن جوانه‌ها است. در سیب زمینی و چغندر قند هنگام غده بندی زمان مناسبی است. اسید بوریک با کلرور کلسیم، سولفات آهن و سموم آرسنات دار قابل اختلاط نیست. غلظت محلولپاشی نسبت به زمان آن متغیر است ولی غلظت ۲ در هزار مؤثر است. در محصولاتی که بور در آوند آبکشی حرکت می‌کند می‌توان محلول پاشی را با غلظت بالاتر و تعداد دفعات کمتر مصرف کرد ولی در محصولاتی که این انتقال صورت نمی‌گیرد تعداد دفعات را باید بیشتر نمود و در عوض غلظت را می‌توان کم کرد.



شکل شماره ۱۲: علائم کمبود بور در لوبیا و گوجه و خیار گلخانه ای

مس (Cu)

غلظت مس در پوسته زمین بین ۵۰ تا ۷۰ و در خاک از یک تا ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم با میانگین ۹ است. که کانی‌های گوگردی آن از منابع اصلی این عنصر در خاک است. کمبود این عنصر نسبت به سایر عناصر کم مصرف نامتعارف‌تر می‌باشد و بیشترین کمبود مربوط به خاکهای پست و حاوی مقادیر بالای مواد آلی است. مس در خاک به صورت محلول، تبدلی، رسوب همراه با اکسیدهای مختلف و تثبیت‌شده با مواد آلی مشاهده می‌شود. قابلیت دسترسی و تحرک مس به عواملی مانند بافت خاک، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان مواد آلی بستگی دارد.

همانند بقیه عناصر کم مصرف غلظت مس در محلول خاک با افزایش pH کاهش می‌یابد و بنابراین قابلیت دسترسی آن نیز کاهش می‌یابد. مصرف کودهای K-P-N می‌تواند کمبود Cu را باعث شود. که یکی از دلایل آن افزایش رشد گیاه و نیاز بیشتر به این عناصر است. افزایش ازت از طرف دیگر نیز می‌تواند باعث کاهش تحرک مس در گیاه گردد. غلظت بالای P و Zn، Fe در محلول خاک جذب مس را تحت فشار قرار می‌دهد.

گیاهان مختلف نیز عکس العمل‌های متفاوتی نسبت به کمبود مس نشان می‌دهد. مس به صورت کاتیون دو ظرفیتی و اکثراً به صورت فعال جذب گیاه می‌شود ولی مقدار جذب آن کمتر از روی و منگنز و آهن بوده و در اکثر گیاهان حد کفایت آن بین ۱ تا ۵ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه است. غلظت مس در ریشه‌ها معمولاً زیاده‌تر از اندام هوایی است که این امر نشان دهنده انتقال و پویایی کم و ناچیز این عنصر در گیاه است. مس در داخل گیاه با مواد آلی مانند پروتئین و اسیدهای آمینه پیوند یافته و تحرک آن کم می‌شود. علائم کمبود مس در اندامهای جوان ظاهر می‌شود.

گندم، برنج، یونجه، هویج، کاهو، اسفناج، پرتقال و پیاز از جمله گیاهان حساس به کمبود مس است. جو حساسیت متوسطی دارد. باقلا، نخود، سیب زمینی، جو دوسر، سویا از جمله گیاهان کاملاً مقاومی نسبت به کمبود مس هستند. البته تفاوت بین واریته‌ها در مقاومت گیاه نسبت به کمبود مس می‌تواند به اندازه تفاوت در بین گیاهان باشد.

مس در فعالیت‌های آنزیمی و واکنش‌های اکسایش و کاهش دخالت دارند و در گیاه معمولاً

به صورت پیوند یافته با مواد آلی مشاهده می شود. در اثر کمبود این عنصر فتوسنتز کاهش یافته و علاوه بر رشد رویشی رشد زایشی نیز بطور فزاینده ای کاهش می یابد. به طوری که کمبود مس می تواند باعث عقیمی دانه گرده شود. چوبی شدن دیواره سلولی در اثر کمبود مس کاهش می یابد که باعث پیچیدگی برگ، خم شدن ساقه ها و بدشکل شدن شاخه درختان می شود. این علائم با مصرف ازت تشدید می گردد و مقاومت به بیماریها خصوصاً قارچها نیز کاهش می یابد. مصرف بسیاری از سموم حاوی مس معمولاً باعث رفع کمبود می شود ولی در موارد کمبود شدیدتر مصرف کودهای حاوی مس به صورت خاکی و یا محلول پاشی توصیه می شود.

جدول شماره ده: منابع کودی مس

نام کود	فرمول	درصد مس
سولفات مس	$\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$	۲۵
نیتрат مس	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2, 3\text{H}_2\text{O}$	-
فسفات آمونیم مس	-	۳۲
کلات مس	Na_2CuEDTA	۱۳
کلات مس	$\text{Na}_2\text{CuHEDTA}$	۹



شکل شماره ۱۳: علائم کمبود مس در گندم

مولیبدن (Mo):

میزان مولیبدن در پوسته زمین و خاک بسیار اندک بوده و در حد ۲ تا ۳ میلی گرم در کیلوگرم است که بیشتر به صورت کانی‌های اولیه و ثانویه و یا آنیون تبادلی در خاک یافت می‌شود.

مولیبدن جزء آخرین عناصر کم مصرف کشف شده است. البته میزان آن در گیاه بسیار اندک و در حدود کمتر از یک میلی گرم در کیلوگرم در ماده خشک است. مولیبدن به صورت آنیون مولیبدات (MoO_4^{2-}) جذب گیاه می‌شود و برای سوخت و ساز ازت و فعال کردن ریزوبیومهای همزیست با بقولات (تثبیت ازت) الزامی است. نقش اصلی این عنصر از راه تغییرات ظرفیت اعمال می‌شود.

بر عکس بقیه عناصر کم مصرف با افزایش pH دسترسی گیاه به این عنصر افزایش پیدا می‌کند و معمولاً کمبود این عنصر در pH بالاتر از ۶/۵ اتفاق نمی‌افتد. با توجه به آنیون بودن این عنصر امکان شستشو و از دست رفتن این عنصر نیز وجود دارد.

مصرف کودهای فسفر حلالیت این عنصر را زیاد می‌کند ولی بالا رفتن سولفات خاک از جذب این عنصر می‌کاهد. مس و منگنز جذب Mo را کاهش می‌دهند ولی Mg اثر مثبت بر جذب مولیبدن دارد.

کمبود مولیبدن مانند علائم کمبود ازت خودنمایی می‌کند (زرد شدن و توقف رشد) و این بدلیل نقش این عنصر در تثبیت ازت می‌باشد. مولیبدن در احیاء ازت در داخل گیاه نقش دارد که برای تولید کلروفیل در گیاه ضروری است.

آهن و آلومینیم به سختی با Mo پیوند پیدا کرده و آنرا از دسترس گیاه خارج می‌کند و فراوانی این عنصر می‌تواند باعث کاهش قابلیت دسترسی به Mo شود.

جدول شماره یازده: میزان حساسیت گیاهان به مولیبدن

حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت بالا
جو	کاهو	انواع کلمها
گندم	چغندر قند	یونجه
ذرت	سیب زمینی	شبدر
برنج	سویا و گوجه فرنگی	لگو مها

همانگونه که مورد انتظار است مصرف مولیبدن به صورت کود در مقادیر کم از منابع مولیبدات پتاسیم و یا مولیبدات آمونیم همراه با سایر کودها انجام می‌شود. مصرف این نوع کود در شرایط اسیدی و یا گیاهان تثبیت کننده ازت همراه با بهبود عملکرد بوده است. تفاوت بین غلظت کمبود و سمیت این عنصر بر عکس بزرگوار زیاد است. البته مولیبدن زیادی باعث سمیت و بیماری مولیبدونوز در برخی حیوانات مانند گاو می‌شود. مولیبدات آمونیم با ۴۵ درصد و مولیبدات پتاسیم با ۲۵ درصد مولیبدن از منابع اصلی این کود است که می‌توانند به صورت مصرف خاکی (جدول ۵۰۰ گرم در هکتار)، محلول پاشی (۷۰ تا ۱۰۰ گرم در هکتار) و تیمار بذری (۳۰ تا ۵۰ گرم) بکار رود.



شکل شماره ۱۴: علائم کمبود مولیبدن در گوجه

سیلیسیم (Si)

سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین است (۲۸ درصد) که وجود آن برای برخی گیاهان ضروری و برای اکثر آنها مفید است. جذب این عنصر در گیاهی مانند گندم غیر فعال و در گیاهانی مانند برنج فعال است به صورتی که در این گیاه معادل ازت جذب گیاه می‌شود. سیلیسیم به صورت آنیون سیلیکات جذب سطحی شده و باعث آزاد سازی فسفات می‌شود. سیلیسیم در گیاه باعث کاهش سمیت آلومینیم، آهن و منگنز می‌شود. سیلیسیم کافی باعث بهبود جذب نور و افزایش فتوسنتز شده همچنین می‌تواند باعث افزایش مقاومت گیاهان به آفات، بیماریها و ورس گردد. بهبود شرایط کارایی مصرف آب و افزایش مقاومت به شوری با افزایش جذب K و بهبود وضعیت غشاء سلولی از جمله اثرات سیلیسیم است.

افزایش pH، درصد رس و درصد کربنات کلسیم باعث بهبود و افزایش سیلیسیم قابل استفاده گیاه می‌شود. گیاهان خانواده گرامینه مانند گندم و جو ۱۰ تا ۲۰ برابر لگوم‌ها و دولپه‌ای‌ها سیلیسیم داشته و گیاهان رشد کننده در شرایط غرقابی مانند برنج مقادیر ۷ تا ۱۰ درصد وزن ساقه آنها از سیلیسیم تشکیل می‌شود. نیشکر نیز از جمله محصولات نیازمند به مقادیر کافی سیلیسیم است.

کلر (Cl):

کلر از جمله عناصری است که وجود آن در گیاه مفید است ولی در شرایط آب و هوایی ایران عموماً با مسئله زیادی و سمیت آن روبرو هستیم و به همین دلیل در این جزوه به آن اشاره نمی‌شود. این عنصر برای گیاهان نمک دوست مانند چغندر، اسفناج، کلم و کرفس مفید است. یکی از نقش‌های مفید این عنصر را می‌توان اثر آن بر کنترل برخی از بیماری‌ها دانست.



شکل شماره ۱۵: علائم کمبود کلر در گندم

نیکل (Ni)

نکته:

روشهای زیادی به منظور بررسی وضعیت عناصر غذائی از جمله عناصر کم مصرف وجود دارد که در منابع مختلف به آن اشاره شده و مراحل آنرا میتوان به صورت زیر خلاصه کرد:

□ نمونه برداری (خاک و گیاه)

□ تجزیه نمونه ها

□ تفسیر نتایج

□ توصیه کودی و اصلاحی

به منظور بالا بردن راندمان مصرف کود و کاهش هزینه ها به همراه افزایش کمی و کیفی محصول انجام دقیق مراحل فوق توسط مراجع ذیصلاح با رعایت تمامی جوانب الزامی است.

در بررسی کمبودهای احتمالی گیاه، به طور تلفیقی از علائم ظاهری کمبود، نتایج تجزیه خاک و تجزیه برگ و سابقه کوددهی اراضی استفاده می شود. استفاده به تنهایی از هر کدام از روشهای فوق به طور جدا گانه و بدون در نظر گرفتن سایر موارد می تواند گمراه کننده باشد.

جدول شماره دوازده:
حد کمبود، بحرانی و کفایت برخی از عناصر کم مصرف در خاک
(استخراج با روش DTPA)

گروه بندی	Fe	Zn	Mn	Cu
	ppm (میلی گرم در کیلو گرم)			
کمبود	۰-۲/۵	۰-۰/۵	کمتر از ۱	کمتر از ۰/۲
حد بحرانی	۲/۶-۴/۵	۰/۶-۱/۰	-	-
کفایت	بیشتر از ۴/۵	بیشتر از ۱	بیشتر از ۱	بیشتر از ۰/۲

منابع:

۱. ملکوتی، محمد جعفر و پیمان کشاورز. ۱۳۸۴. نگرشی بر حاصلخیزی خاکهای ایران (شناسایی و بهره‌برداری). انتشارات سنا.
۲. ملکوتی، محمد جعفر و سید جلال طباطبایی. ۱۳۷۸. تغذیه صحیح درختان میوه برای نیل به افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصولات باغی در خاکهای آهکی ایران. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی.
۳. ملکوتی، محمد جعفر و محمد مهدی طهرانی. ۱۳۸۴. نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی «عناصر خرد با تاثیر کلان». چاپ سوم. دانشگاه تربیت مدرس.
4. Tisdale, S., et al., 2003. Soil fertility and fertilizers. Fifth Edition.

