

## کلات های آهن

کمبود آهن یک عامل محدود کننده رشد گیاهان می باشد. اگرچه این عنصر به میزان زیادی در خاک وجود دارد، اما قابلیت جذب آن توسط گیاهان معمولاً پایین است و بنابراین کمبود آهن یکی از مشکلات رایج در تغذیه گیاهی می باشد.

### قابلیت جذب آهن برای گیاهان

اگرچه مقدار زیادی از آهن موجود در پوسته زمین به شکل  $Fe^{3+}$  می باشد، اما شکل  $Fe^{2+}$  از نظر فیزیولوژیکی دارای اهمیت بیش تری برای گیاه می باشد. این شکل از آهن معمولاً محلول بوده اما به سرعت اکسید شده و تبدیل به  $Fe^{3+}$  می شود. در pH خنثی و pH های بالاتر نامحلول بوده و باعث می شود تا آهن در خاک های قلیایی و خاک های آهنی برای گیاه غیر قابل جذب باشد. علاوه بر این، در این نوع خاک ها آهن به راحتی با فسفات ها، کربنات ها، کلسیم، منیزیم و یون های هیدروکسید ترکیب می شود و از دسترس گیاه خارج می گردد.

### جذب آهن توسط گیاه

گیاهان آهن را به صورت های اکسید شده آن جذب می کنند که شامل آهن فروس یا سه ظرفیتی ( $Fe^{3+}$ ) و آهن فریک یا همان دو ظرفیتی ( $Fe^{2+}$ ) می باشد. جذب آهن توسط گیاهان به روش های مختلفی صورت می پذیرد که یکی از این روش ها، کلاته کردن آهن می باشد. در این روش، گیاه ترکیباتی به نام سیدروفور را از ریشه خود در خاک رها می کند که با آهن پیوند داده و حلالیت آن را افزایش می دهند. در این مکانیسم ممکن است باکتری ها نیز دخیل شوند.

مکانیسم دیگری که گیاهان به کمک آن میزان جذب آهن خود را افزایش می دهند، آزاد کردن پروتون ( $H^+$ ) در خاک و در نتیجه کاهش pH در محیط اطراف ریشه است که در نهایت منجر به افزایش میزان حلالیت آهن در خاک می شود. در اینجاست که انتخاب نوع کود نیتروژنه اهمیت بالایی پیدا می کند. شکل آمونیومی نیتروژن باعث افزایش آزاد شدن پروتون از ریشه شده و بنابراین باعث کاهش pH در خاک و افزایش جذب آهن می گردد. در مقابل، شکل نیتراتی نیتروژن موجب افزایش آزادسازی یون های هیدروکسید شده و با افزایش pH خاک منجر به ایجاد تداخل در جذب آهن می گردد.

لازم به ذکر است که ریشه های جوان و تارهای کشنده (ریشه های موین) توانایی بیشتری در جذب آهن دارند و بنابراین داشتن سیستم ریشه ای فعال و سالم از اهمیت بسزایی در تغذیه گیاهی برخوردار می باشد. به

طور خلاصه می توان اینگونه بیان کرد هر عاملی که به رشد، توسعه و سلامت ریشه گیاه صدمه بزند در جذب آهن نیز اختلال ایجاد می کند.

## مقابله با کمبود آهن

هنگامی که علائم کمبود آهن در گیاه مشاهده می شود، می توان با اسپری کردن آهن بر روی برگ های گیاه نسبت به برطرف کردن مشکل در کوتاه مدت اقدام کرد اما باید به یاد داشت که در مورد گیاهان نیز همیشه پیشگیری بهتر از درمان است. بنابراین کشاورز باید دلیل بروز این کمبود را تشخیص داده و آن را برطرف کند تا این مشکل دیگر در آینده پیش نیاید.

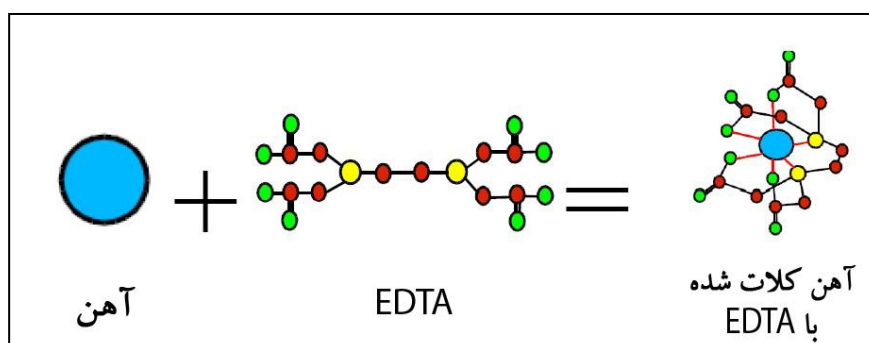
در اغلب موارد، بروز علائم کمبود آهن به معنای ناکافی بودن مقدار آهن در خاک نیست بلکه ممکن است به دلیل شرایطی باشد که دسترسی گیاه به آهن موجود در خاک را محدود می کند. میزان کربنات در خاک، شوری خاک، رطوبت خاک، سرد بودن خاک و میزان سایر عناصر در خاک (به عنوان مثال فسفر، کلسیم و عناصر کم مصرف رقیب) از جمله این شرایط هستند. بررسی این عوامل و برطرف کردن آن ها تا حد ممکن، می تواند از هدر رفت زمان و هزینه برای مصرف کود های آهن که شاید نیازی به آن ها نباشد جلوگیری کند.

## کودهای آهن دار

کودهای آهن دار به دو صورت سولفات آهن و یا شکل های کلاته شده ارائه می شوند.

**سولفات آهن ( $FeSO_4$ )**. این کود معمولا دارای ۲۰٪ آهن می باشد. سولفات آهن کودی ارزان قیمت است که هنگامی که در خاک های نامساعد مصرف شود به سرعت غیر فعال می گردد. این وضعیت در pH های بالای ۷ بحرانی تر است زیرا آهن موجود در کود به سرعت تبدیل به  $Fe^{3+}$  شده و برای گیاه غیر قابل جذب می شود.

**کلات های آهن**. کلات ها ترکیباتی هستند که یون های فلزی (در اینجا آهن) را تثبیت کرده و از اکسید شدن آن ها جلوگیری می کنند. شکل زیر نمای شماتیک کلات را نشان می دهد:



## کلات های آهن از سه جزء تشکیل شده اند:

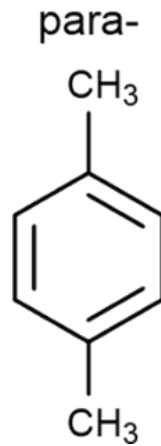
- یون های  $Fe^{3+}$
- یک کمپلکس همچون EDTA، DTPA، EDDHA، اسید های آمینه، اسید های هیومیک- فولویک و سترات
- سدیم ( $Na^+$ ) و یا آمونیوم ( $NH_4^+$ )

کلات های مختلف می توانند یون های آهن را در pH های مختلف با قدرت های متفاوتی نگه دارند. همچنین حساسیت آن ها به جایگزینی یون های رقیب با یون آهن نیز متفاوت است. به عنوان مثال، هنگامی که غلظت یون های کلسیم یا منیزیم زیاد باشد ممکن است این یون ها به جای آهن کلات شده بنشینند.

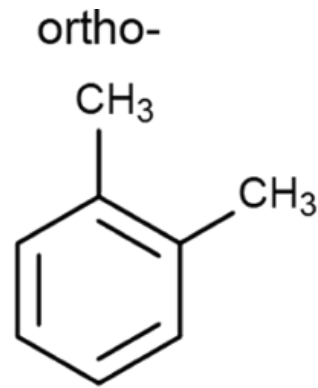
**Fe-EDTA.** این کلات آهن در pH کمتر از ۶ با ثبات بوده اما در pH بالاتر از ۶/۵ حدود ۵۰٪ آهن آن برای گیاه غیر قابل دسترسی می شود. بنابراین مشخص است که این کلات در خاک های قلیایی غیر قابل استفاده می باشد. همچنین این کلات میل ترکیبی زیادی با کلسیم دارد و به همین دلیل توصیه می شود تا از مصرف آن در خاک ها و یا آب هایی که مقدار کلسیم آن ها بالا است خودداری گردد. لازم به ذکر است که EDTA یک کلات بسیار پایدار برای عناصر غذایی کم مصرف، به جز آهن است که می تواند pH های بسیار بالا را نیز تحمل کند.

**Fe-DTPA.** این کلات ثبات خود را تا pH حدود ۷ حفظ کرده و حساسیت آن به جایگزین شدن کلسیم به جای آهن کمتر می باشد.

**Fe-EDDHA.** این کلات آهن حتی تا pH های بیشتر از ۱۱ نیز با ثبات بوده و به همین دلیل نیز گران ترین نوع کلات آهن موجود در بازار می باشد. کلات های EDDHA ممکن است به دو صورت اورتو-اورتو و یا اورتو-پارا باشند. هرچه میزان اورتو-اورتو در یک کلات آهن EDDHA بیشتر باشد، آن کود آهن مرغوب تر بوده، پایداری کلات آن بیشتر است و به طبع گران تر نیز می باشد. شکل های زیر آرایش فضایی اورتو-اورتو و اورتو-پارا را نشان می دهند.

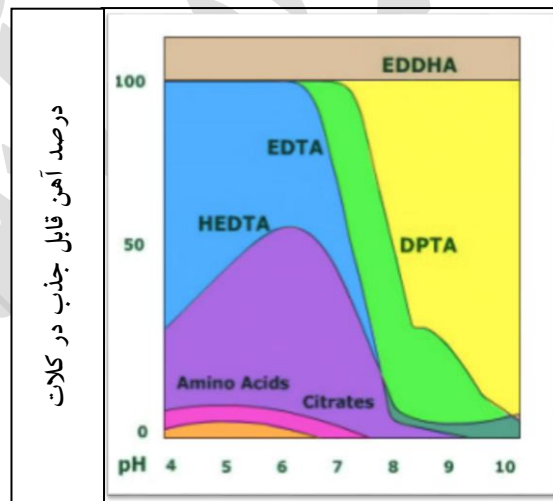


حالت پارا  
(شکننده)



حالت اورتو  
(دارای پایداری زیاد)

در کشت های بدون خاک و هیدروپونیک، کنترل pH آب و محیط کشت بسیار راحت تر از خاک می باشد. هنگامی که بررسی های منظم انجام شده و pH تحت کنترل باشد، می توان از کلات های ارزان تر استفاده نمود. از طرف مقابل در خاک های آهکی و قلیایی که کاهش pH چندان امکانپذیر نیست، ناچار به استفاده از کلات های پایدار تر و گرانبه تر همچون EDDHA هستیم.



واکنش کلات های مختلف به افزایش pH

ترجمه و تهیه شده در واحد تحقیق و توسعه