

تعیین سطح بحرانی آهن قابل جذب گیاه ذرت در استان آذربایجان شرقی

کمال خلخال^۱، * عادل ریحانی تبار^۲ و نصرت‌اله نجفی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، دانشجویار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز
تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: اطلاع از سطح بحرانی آهن در خاک و پاسخ‌های گیاه به مصرف آن می‌تواند کمک مؤثری در توصیه بهینه کود آهن باشد. ذرت مصارف زیادی در تغذیه انسان، طیور و دام، صنایع داروسازی، تولید نشاسته، الکل، روغن و غیره دارد. در ایران به دلیل آهکی بودن خاک‌ها، کمبود مواد آلی خاک‌ها، حلالیت کم آهن در pH قلیایی، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب‌های آبیاری و مصرف بالای کود فسفر، کمبود آهن در اغلب مزارع و باغ‌ها عمومیت دارد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کود EDDHA بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت و تعیین سطح بحرانی آهن قابل جذب ذرت با عصاره‌گیرهای DTPA و AB-DTPA توسط روش‌های رایج در خاک‌های استان آذربایجان شرقی بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهشی که در سال ۱۳۹۲ انجام شد، سطح بحرانی آهن قابل جذب گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در ۲۱ نمونه خاک که از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی جمع‌آوری شده بود، تعیین گردید. آزمایش در شرایط گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با کشت گیاه ذرت در دو سطح کودی (صفر و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از منبع EDDHA) با سه تکرار در گلدان‌های حاوی ۴ کیلوگرم خاک هواخشک انجام شد. پس از ۶۰ روز رشد، شاخساره و ریشه ذرت برداشت شد. آهن قابل جذب خاک‌های مورد استفاده توسط دو روش DTPA و AB-DTPA استخراج و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که نوع خاک و سطوح آهن مصرفی بر شاخص‌های رشد ذرت تأثیر معنی‌داری ($P < 0/05$) داشتند، در حالی که اثر متقابل کود و خاک معنی‌دار نبود. سطح بحرانی آهن قابل جذب گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه به روش DTPA برای دست‌یابی به ۹۰ درصد عملکرد نسبی با استفاده از روش‌های ترتیب ستونی پاسخ گیاه، تصویری کیت-نلسون، آماری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری به ترتیب ۱۰/۰۸، ۵، ۱۱/۴ و ۷/۴۴ و با روش AB-DTPA به ترتیب ۶/۱۹، ۴/۴، ۹/۸ و ۴/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد. همچنین سطح بحرانی آهن قابل جذب گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه برای دست‌یابی به ۹۰ درصد غلظت نسبی آهن فعال شاخساره با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون به روش DTPA و AB-DTPA به ترتیب ۶/۸ و ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. میانگین ضرایب C_1 و C_2 معادله میچرلیخ-بری $[\text{Log}(A-Ry) = \log A - (C_1 b + C_2 x)]$ برای روش DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۱۳۴۴ و ۰/۳۵۶ و برای روش AB-DTPA به ترتیب ۰/۲۲۰۷ و ۰/۰۵۵۶ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم آهن بود.

* مسئول مکاتبه: areyhani@tabrizu.ac.ir

نتیجه‌گیری: در این پژوهش روش آماری کیت-نلسون به دلیل ضرایب تبیین بسیار پایین ناموفق بود. همچنین به دلیل کم بودن سطح کودی ضریب C_2 معادله میچرلیخ-بری اکثراً منفی به دست آمد. سطح بحرانی آهن از طریق میانگین‌گیری با استفاده از روش‌های DTPA و AB-DTPA برای ذرت در این مناطق به ترتیب ۷/۳۳ و ۴/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آهن، سطح بحرانی، ذرت، DTPA، AB-DTPA

مقدمه

ذرت گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد به نسبت کوتاه و عملکرد بالاست که قدرت تطابق و سازگاری آن با شرایط اقلیمی گوناگون زیاد بوده و از نظر فتوسنتزی گیاهی چهارکربنه است. بوته‌های ذرت از لحاظ فنوتیپی بسیار گوناگون بوده و از نظر نوع مصرف هم به دندان اسبی، آردی، شیرین، مومی و ... تقسیم‌بندی می‌شوند. ذرت مصارف زیادی در تغذیه انسان، طیور و دام، صنایع داروسازی، تولید نشاسته، الکل، روغن و غیره دارد (۳۹). در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای در کشور حدود ۲۸۲۰۰۰ هکتار برآورد شده که معادل ۲/۲٪ از کل سطح محصولات زراعی و ۲/۵٪ از کل میزان تولید محصولات زراعی و همچنین ۹/۶٪ از کل میزان تولید غلات می‌باشد. از کل تولید ذرت دانه‌ای در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سهم استان آذربایجان شرقی ۴۵۱۲ تن بود (۲).

کمبود آهن به طور اختصاصی در ذرت، گندم، یولاف و دیگر محصولات اصلی گزارش شده است (۲۱). گیاهانی که دچار کلروز آهن هستند، چون قادر به تولید کلروفیل کافی نیستند، بنابراین عمل فتوسنتز به طور کامل انجام نشده و در نتیجه رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (۳۳). رشد ضعیف بیش‌تر گیاهان در خاک‌های آهنکی حتی بدون بروز علائم زردی

واضح هم به دلیل کمبود آهن است که تاکنون نادیده گرفته شده است، گیاهانی که ظاهراً سالم‌اند ولی در واقع از کمبود آهن رنج می‌برند (۲۰). در ایران با داشتن شرایط آهنکی، کمبود مواد آلی در خاک‌ها، حلالیت کم آهن در pH قلیایی، وجود یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب‌های آبیاری و مصرف بالای فسفر، کمبود عناصر غذایی به‌ویژه آهن در اغلب مزارع و باغ‌ها عمومیت دارد (۳۱). خاک‌های آهنکی ظرفیت بالایی برای تثبیت آهن و رسوب به صورت اکسیدهای آهن (III) دارند (۳۰). کم‌ترین حلالیت آهن بین pH های ۷/۴ تا ۸/۵ پدید می‌آید ($10^{-10/4}$ مولار)؛ از آنجایی که pH خاک‌های آهنکی در این محدوده قرار دارد، یکی از علل شیوع کمبود آهن در خاک‌های آهنکی را می‌توان همین ویژگی دانست (۲۶). البته کاشت گونه‌های حساس به کمبود آهن، تراکم بالای محصولات زراعی، استفاده از ارقام با عملکرد بالا مثل سینگل کراس در ذرت، اختلالات فیزیولوژیکی در برگ و ریشه مانند کاهش جذب آهن از آپوپلاست به سیم‌پلاست بر اثر pH بالا همگی باعث بروز علائم کمبود آهن می‌شوند (۳۲).

یکی از الزامات توصیه بهینه کودی، تعیین سطح بحرانی با استفاده از بهترین عصاره‌گیر می‌باشد. عصاره‌گیر DTPA و AB-DTPA برای تعیین سطح بحرانی در خاک‌های آهنکی و خنثی مناسب شناخته

شده است (۲۷، ۴۵). سطح بحرانی هر عنصر غذایی غلظتی است که در کم‌تر از آن، پاسخ گیاه نسبت به مصرف کود مثبت خواهد بود (۳۰). چنانچه غلظت عنصر در خاکی (سطح آزمون خاک) کم‌تر از سطح بحرانی مربوطه باشد، معمولاً آن خاک دچار کمبود آن عنصر فرض می‌شود. سطح بحرانی نه فقط بین گونه‌های گیاهی و خاک‌های مختلف، بلکه برای رقم‌های یک گیاه نیز می‌تواند متفاوت باشد (۴۴). برای تعیین سطح بحرانی عناصر کم‌مصرف می‌توان از روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (۸)، روش تصویری کیت- نلسون (۱۰)، روش آماری کیت- نلسون (۱۱)، روش میچرلیخ- بری (۹) استفاده کرد. سطح بحرانی گزارش شده توسط لیندزی و نورول (۱۹۷۸) با عصاره‌گیر DTPA در خاک‌های کلرادو برای گیاه سورگوم ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۲۷) و سلطان‌پور و شواب (۱۹۷۷) سطح بحرانی آهن برای گیاه ذرت را با استفاده از عصاره‌گیر AB-DTPA در خاک‌های قلیایی کلرادو را ۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۴۵). المصطفی و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که سطح بحرانی آهن در خاک‌های آهکی عربستان سعودی برای گیاه سورگوم به ترتیب با عصاره‌گیرهای AB-DTPA و DTPA به ترتیب در محدوده ۳/۴-۴/۸ و ۲/۹-۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (۵). نتایج آنان نشان داد که ارزیابی وضعیت آهن به وسیله مشخص کردن دامنه کمبود نسبت به یک سطح بحرانی مشخص مفیدتر است (۵). میانگین سطح بحرانی آهن عصاره‌گیری شده با DTPA برای محصولات زراعی از جمله گندم و ذرت در ایالت مهاراشترای هند ۱۳/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۲۸). سطح بحرانی آهن (با استفاده از DTPA و روش تصویری کیت- نلسون) در

خاک‌های تحت کشت گندم دیم کردستان ۳/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای گندم آبی ۴/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۴۷). سطح بحرانی آهن با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون با عصاره‌گیر DTPA برای گندم آبی در خاک‌های دشت ورامین ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۴۳). بلالی و همکاران (۱۹۹۹) در یک بررسی میانگین سطح بحرانی آهن در همه استان‌های کشور برای گندم آبی را ۴/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. بر اساس سطوح بحرانی گزارش شده، مشخص شده است که ۳۷ درصد از اراضی تحت کشت گندم آبی کشور از کمبود شدید آهن رنج می‌برند (۷). سطح بحرانی آهن با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون برای درختان هلو از متوسط دو عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متر در استان گلستان با عصاره‌گیر AB-DTPA برای غلظت آهن کل و غلظت آهن فعال به ترتیب ۱۳ و ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و همچنین برای شاخص کلروفیل برگ‌ها ۱۳ بود (۱۵).

به دلیل شیمی پیچیده آهن در خاک از جمله حضور شکل‌های متفاوت آهن در خاک، ویژگی‌های متفاوت خاک و گیاه، تاکنون گزارشی از روش‌های آزمون خاک برای تعیین سطح بحرانی آهن در گیاه ذرت به طور عام در کشور و به طور خاص در استان آذربایجان شرقی منتشر نشده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کود EDDHA بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت و تعیین سطح بحرانی آهن قابل جذب ذرت با عصاره‌گیرهای DTPA و AB-DTPA توسط روش‌های رایج در خاک‌های استان آذربایجان شرقی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۴۰ نمونه خاک به صورت مرکب از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی متری عبور و ویژگی‌هایی هم‌چون بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (۱۹)، pH در عصاره اشباع (۴۱)، کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر (۳۴)، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراژ کردن با سود (۴)، کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیوم در pH=۹ (۱۴)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع (۴۰)، رطوبت اشباع (SP)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (۶)، تعیین شدند. حضور یا عدم حضور گچ در خاک با روش استاندارد استون آزمون شد (۴۱). رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (EL532-120) در مکش ۳۳ کیلوپاسکال تعیین شد. Zn، Mn و Cu قابل جذب گیاه در خاک‌ها به روش DTPA (۲۷)، فسفر قابل جذب به روش اولسن و همکاران (۱۹۵۴) (۳۷) و پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیوم یک مولار با pH=۷ با نسبت ۱:۲۰ (۲۵) و آهن قابل جذب خاک‌ها توسط روش‌های DTPA (۲۷) و NH_4HCO_3 -DTPA (۴۵) اندازه‌گیری شده‌اند. در نهایت از ۴۰ خاک مذکور، ۲۱ خاک بر اساس دامنه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) طوری انتخاب شدند که از بیش‌ترین ضریب تغییرات^۱ برخوردار باشند. سپس آزمایشی در شرایط گلخانه‌ای به صورت عاملی (فاکتوریل) و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با کشت گیاه ذرت با دو عامل کود آهن در

دو سطح صفر و ۱۰ میلی گرم آهن بر کیلوگرم از منبع سکوسترین آهن^۲ (Fe-EDDHA) و ۲۱ نوع خاک با سه تکرار در گلدان‌های حاوی ۴ کیلوگرم خاک هوا خشک عبور یافته از الک ۴ میلی متری انجام شد. در این گلدان‌ها پنج بذر گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کاشته شد و پس از دو هفته به سه بوته کاهش یافت. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به روش وزنی نگهداشته شد. به غیر از آهن بقیه عناصر غذایی بر طبق آزمون خاک و توصیه‌های رایج کودی مصرف شدند. برای این منظور نیتروژن در سه نوبت به مقدار ۱۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع اوره $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ ، فسفر ۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سوپر فسفات تریپل $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ، پتاسیم ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم (K_2SO_4) ، روی ۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی $(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ و مس ۵ میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات مس $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ مصرف شد. اندازه‌گیری آهن فعال به دو روش اسید کلریدریک یک نرمال (۳۸) و ارتوفناترلین ۱/۵٪ (۲۳) انجام شد. شاخص کلروفیل برگ‌های ذرت با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech، مدل CL-01) در دو مرحله (۴۵ روز بعد از کاشت و دقیقاً قبل از برداشت) تعیین شد. بعد از ۲ ماه رشد، ساقه از محل طوقه قطع شده و با ترازوی دیجیتال با دقت $\pm 0/001$ گرم توزین شد. شاخساره با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و سپس خشک شدند. نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت و بعد از آن وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هضم

۱- $[\times 100] \times (\text{میانگین} / \text{انحراف معیار}) = \text{ضریب تغییرات} [\%]$

۲- اتیلن دی‌آمین دی (ارتو هیدروکسی فنیل استیک اسید)

همبستگی خطی آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA و AB-DTPA با شاخص‌های گیاه ذرت ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA با وزن خشک ریشه و شاخساره، وزن تر ریشه، مقدار جذب آهن و غلظت آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفانتروپین در سطح احتمال ۰/۰۱ و با وزن تر شاخساره و آهن فعال اندازه‌گیری شده با HCl یک نرمال در سطح احتمال ۰/۰۵ و آهن عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA با تمام شاخص‌های ذکر شده معنی‌دار بود. این شاخص‌ها در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار بود، که این به معنی شباهت رفتار این عصاره‌گیرها با ریشه گیاه است. به‌عبارت دیگر DTPA و AB-DTPA عصاره‌گیرهای مناسبی برای خاک‌های مورد مطالعه هستند که این نتایج در بسیاری از خاک‌های آهکی دنیا گزارش شده است. در این پژوهش بین آهن عصاره‌گیری شده در روش DTPA و روش AB-DTPA همبستگی مثبت معنی‌داری به‌دست آمد که به مکانیسم مشابه عصاره‌گیری عناصر در دو روش مذکور برمی‌گردد ($r=0.74$ ، $P<0.01$). آبادیا و همکاران (۱۹۸۰) در خاک‌های آهکی اسپانیا، المصطفی و همکاران (۲۰۰۱) در خاک‌های آهکی عربستان و امامی و دردی‌پور (۲۰۱۲) در خاک‌های استان گلستان نیز بین AB-DTPA و DTPA همبستگی معنی‌داری گزارش کردند (۱، ۵، ۱۵).

نمونه‌های گیاهی با روش خشک‌سوزانی انجام گرفت (۲۲). غلظت آهن کل با دستگاه جذب اتمی (Shimadzo AA-6300) اندازه‌گیری و میزان جذب کل آن توسط ذرت از حاصل‌ضرب غلظت آهن در مقدار ماده خشک حاصل شد. سطح بحرانی آهن با استفاده از روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه (۸)، روش تصویری کیت- نلسون (۱۰)، روش آماری کیت- نلسون (۱۱)، روش میچرلیخ- بری (۹) تعیین شد. همچنین ضرایب C_1 و C_2 در معادله میچرلیخ- بری $[Log (A-Ry) = log A - (C_1 b + C_2 x)]$ تعیین گردید. رسم نمودارها با اکسل و ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (۴۶) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC (۳) و آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ نوع خاک مورد مطالعه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مشکل شوری به‌عنوان یک متغیر ثانویه در این پژوهش مطرح نبود. بافت این خاک‌ها از شن لومی تا رسی متفاوت بود. همچنین خاک‌های منتخب فاقد گچ بودند. در جدول‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب شاخص‌های رشد گیاه ذرت در سطح شاهد و ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک ارائه شده است. در جدول ۴ ضرایب

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the studied soils.

ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	واحد Unit	پارامتر Parameter
51.5	21.54	41.82	86.12	12.56	(g/100g)	شن Sand
50.7	12.85	25.31	53.91	5.37	(g/100g)	رس Clay
36.8	12.11	32.87	53.86	8.51	(g/100g)	سیلت Silt
60	8.10	13.50	26.57	1.74	(g/100g)	کربنات کلسیم معادل CCE
60.8	3.32	5.46	10.83	0.92	(g/100g)	کربنات کلسیم معادل فعال ACCE
54.6	0.52	0.94	2.31	0.16	(g/100g)	کربن آلی OC
25	5.5	22	30	11	(g/100g)	ظرفیت مزرعه FC
25.4	9.98	39.32	53.24	21.67	(g/100g)	رطوبت اشباع SP
1.9	0.16	8.14	8.37	7.80	-	پ.هاش pH
34.7	9.25	26.63	42.53	10.22	(cmol/kg)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC
50.2	0.83	1.65	3.66	0.69	(dS/m)	هدایت الکتریکی EC
87.2	3.91	4.48	14.86	0.77	(mg/kg)	آهن قابل جذب Available Fe
57.2	3.83	6.70	15.37	0.67	(mg/kg)	منگنز قابل جذب Available Mn
22	0.21	0.98	1.45	0.63	(mg/kg)	مس قابل جذب Available Cu
83	0.36	0.44	1.49	0.07	(mg/kg)	روی قابل جذب Available Zn
37.2	125.39	336.6	601.23	141.47	(mg/kg)	پتاسیم قابل جذب Available K
60.85	5.11	8.40	19.62	1.51	(mg/kg)	فسفر قابل جذب Available P

جدول ۲- برخی شاخص‌های زراعی گیاه ذرت کاشته شده در سطح شاهد آهن.

Table 2. Some agronomical traits of corn cultivated in control level of Fe.

ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	واحد Unit	شاخص‌های زراعی ذرت Agronomical traits of corn
30.04	1.9	6.21	10.44	2.09	(g/pot)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
27	17.7	64.65	90.05	21.28	(g/pot)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight
40.78	0.31	0.76	1.40	0.26	(g/pot)	وزن خشک ریشه Root dry weight
49.9	3.23	6.47	13.80	1.38	(g/pot)	وزن تر ریشه Root fresh weight
10.76	9.85	92.21	110.88	71.74	(%)	عملکرد ماده خشک نسبی Relative dry matter yield
11.51	11.74	102	116.67	66.22	(cm)	ارتفاع بوته Plant height
8.9	38.76	434.5	495.55	326.11	(mm)	قطر ساقه Stem diameter
29.8	2.63	8.82	14.41	4.6	-	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
10.94	5.95	54.34	64.83	41.6	(mg/kg dw)	غلظت آهن فعال (HCl) Active Fe Conc. (HCl)
14.5	17.51	120.74	158.59	97.41	(mg/g dw)	غلظت آهن کل شاخساره Total Fe Conc. of shoot
15.22	198.67	1305.5	1742	986.6	(mg/g dw)	غلظت آهن کل ریشه Total Fe Conc. of root
8.6	0.21	2.44	2.94	2.15	(mg/g dw)	غلظت فسفر شاخساره Shoot P Conc.
19.07	0.33	1.73	2.35	1.18	(mg/g dw)	غلظت فسفر ریشه Root P Conc.
12.61	5.23	41.46	48.25	28.28	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم شاخساره Shoot K Conc.
49.4	5.07	10.26	20	2.88	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم ریشه Root K Conc.
69.2	0.36	0.51	1.46	0.19	(mg/g dw)	غلظت سدیم شاخساره Shoot Na Conc.
59.04	4.44	7.52	19.76	1.40	(mg/g dw)	غلظت سدیم ریشه Root Na Conc.

جدول ۳- برخی شاخص‌های زراعی ذرت کاشته شده در سطح ۱۰ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک.

Table 3. Some agronomical traits of corn cultivated in level of 10 mg/kg applied Fe.

ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	واحد Unit	شاخص‌های زراعی ذرت Agronomical traits of corn
35.47	2.37	6.68	11.8	2	(g/pot)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
31.48	22.12	70.25	112.11	19.57	(g/pot)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight
47.5	0.39	0.82	1.75	0.2	(g/pot)	وزن خشک ریشه Root dry weight
52.69	3.62	6.87	13.46	1.52	(g/pot)	وزن تر ریشه Root fresh weight
6.06	5.5	90.64	96.13	79.19	(%)	عملکرد ماده خشک نسبی Relative dry matter yield
10.08	10.71	106.23	120.45	62.67	(cm)	ارتفاع بوته Plant height
12.21	53.47	437.72	526.11	300	(mm)	قطر ساقه Stem diameter
17.72	2.13	12.02	16.75	7.99	-	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
12.65	7.45	58.87	72.78	46.06	(mg/kg dw)	غلظت آهن فعال (HCl) Active Fe Conc. (HCl)
19.97	24.67	123.49	211.18	94.52	(mg/g dw)	غلظت آهن کل شاخساره Total Fe Conc. of shoot
18.06	265.87	1471.85	2273.37	1104.59	(mg/g dw)	غلظت آهن کل ریشه Total Fe Conc. of root
12.25	0.25	2.40	2.97	2.03	(mg/g dw)	غلظت فسفر شاخساره Shoot P Conc.
23.21	0.39	1.68	2.43	0.91	(mg/g dw)	غلظت فسفر ریشه Root P Conc.
16.26	6.75	41.51	50.4	27.46	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم شاخساره Shoot K Conc.
64.89	6.97	10.74	30.53	2.41	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم ریشه Root K Conc.
103	0.6	0.58	2.81	0.15	(mg/g dw)	غلظت سدیم شاخساره Shoot Na Conc.
50.58	4.31	8.52	20.23	2.15	(mg/g dw)	غلظت سدیم ریشه Root Na Conc.

جدول ۴- ضرایب همبستگی خطی (r) بین آهن (mg kg^{-1}) عصاره‌گیری شده با DTPA و AB-DTPA و شاخص‌های رشد ذرت.

Table 4. Linear correlation coefficients (r) between extracted Fe by DTPA and AB-DTPA with agronomical traits of corn.

آهن عصاره‌گیری شده با AB-DTPA AB-DTPA extractable Fe	آهن عصاره‌گیری شده با DTPA DTPA extractable Fe	واحد Unit	شاخص‌های زراعی ذرت Agronomical traits of corn
0.61**	0.58**	(g/pot)	وزن تر ریشه Root fresh weight
0.66**	0.59**	(g/pot)	وزن خشک ریشه Root dry weight
0.67**	0.53*	(g/pot)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight
0.72**	0.6**	(g/pot)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
0.75**	0.71**	(mg/pot)	مقدار جذب آهن Iron uptake from soil
0.7**	0.55**	(mg/kg FW)	آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانترولین O-Ph-extractable Fe
0.56**	0.54*	(mg/kg DW)	آهن فعال اندازه‌گیری شده با اسید هیدروکلریک HCl-extractable Fe
0.84**	0.81**	-	شاخص کلروفیل Chlorophyll index

چون آهن به میزان زیاد و کافی مصرف شده بود بنابراین اثر متقابل را غیرمعنی‌دار کرده است. در جدول ۷ مشاهده می‌شود مصرف آهن نتوانست باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه و شاخساره، قطر ساقه و غلظت آهن کل شاخساره شود ولی در ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل برگ‌ها، غلظت آهن فعال و غلظت آهن کل ریشه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در حالی‌که داهیا و سینگ (۱۹۸۲) در گیاه یولاف و چاکرال‌حسینی و همکاران (۲۰۰۳) در گیاه سویا در خاک‌های آهکی گزارش کردند که مصرف آهن باعث کاهش معنی‌دار غلظت فسفر شد و اظهار کردند این کاهش فسفر احتمالاً به دلیل تشکیل فسفات آهن یا فسفات هیدروکسید آهن بوده است (۱۲، ۱۳). رومی‌زاده و کریمیان (۱۹۹۶) گزارش کردند که مصرف

جدول‌های ۵ و ۶ تجزیه واریانس تأثیر سطوح آهن و نوع خاک بر شاخص‌های رشد گیاه ذرت را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در شرایط این آزمایش تأثیر بلوک در برخی صفات معنی‌دار بود که با دلایلی هم‌چون دوری و نزدیکی به کولر و پنجره اتاق رشد و در نتیجه توزیع نامساوی نور این موضوع قابل توجیه است. تأثیر آهن مصرفی در ارتفاع بوته و شاخص کلروفیل شاخساره برگ‌ها، غلظت آهن فعال و غلظت آهن کل ریشه معنی‌دار بود. در مقابل اثر نوع خاک بر تمام شاخص‌های گیاه ذرت غیر از غلظت فسفر ریشه معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر متقابل خاک و کود آهن معنی‌دار نبود. دلیل عدم معناداری اثر متقابل به سطح کم آهن مصرفی برمی‌گردد که فقط دو سطح بود. و در سطح دومی

و نور که عامل نور علاوه بر تأثیر بر تجزیه نوری کیلیت، به‌ویژه در شرایط گلخانه بر میزان رشد گیاه و در نتیجه میزان نیاز گیاه به آهن به‌شدت مؤثر است، سطوح آهن مصرفی، کیفیت کود مصرفی، رقابت عناصری مانند کلسیم با آهن بر سر ترکیب با کیلیت، مصرف یا عدم مصرف سایر عناصر به‌ویژه مس که می‌تواند ضمن خارج کردن آهن از کمپلکس کیلیت جایگزین آن شده و باعث رسوب و تأثیر اندک کیلیت آهن مصرفی شود (۳۵، ۴۹). همه عوامل ذکر شده ضمن برهمکنش با همدیگر باعث پیچیدگی شیمی آهن در خاک می‌شوند.

آهن به‌صورت Fe-EDDHA سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن کل در سویا شد (۴۲). ویرسما (۲۰۰۷) گزارش کرد که در شرایط کمبود ملایم تا متوسط آهن، مصرف خاکی کیلیت آهن (Fe-EDDHA) در سویا سبب کاهش شدت علائم کمبود آهن در گیاه در اوایل دوره رشد شد، اما تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و غلظت آهن دانه نداشت (۴۸). اختلاف نتایج به‌دست آمده از تأثیر کوددهی آهن بر گیاه، می‌تواند به دلایل متعددی از جمله تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک مانند جمعیت و ماهیت جامعه میکروبی که بر تجزیه زیستی کیلیت مصرفی مؤثر هستند، جنس و گونه گیاه، شرایط رشد گیاه به‌ویژه دما

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر سطوح آهن و نوع خاک بر برخی شاخص‌های زراعی رشد ذرت.

Table 5. Analysis of variance of Fe levels and soil type on some agronomical traits of corn.

میانگین مربعات Mean squares						درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییر Source of variation
قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant height	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight		
231383.5*	3999.2*	531.3*	5.67 ^{ns}	23423.7**	206.8 ^{ns}	2	بلوک (Block)
329.09 ^{ns}	581.57*	5.09 ^{ns}	0.099 ^{ns}	986.76 ^{ns}	6.79 ^{ns}	1	آهن (Iron)
9799.43**	668.3**	57.57**	0.59**	2063.44**	26.16*	20	خاک (Soil)
3287.4 ^{ns}	89.21 ^{ns}	13.12 ^{ns}	0.15 ^{ns}	353.73 ^{ns}	2.75 ^{ns}	20	آهن × خاک (Fe×Soil)
32.09 ^{ns}	84.1 ^{ns}	15.36 ^{ns}	0.16 ^{ns}	288.03 ^{ns}	3.76 ^{ns}	82	خطای آزمایشی (Error)

^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

^{ns} not significant, * Significant at the 0.05 probability level and ** Significant at the 0.01 probability level.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر سطوح آهن و نوع خاک بر غلظت برخی عناصر غذایی ذرت.

Table 6. Analysis of variance of Fe levels and soil type on some nutrient concentration of corn.

میانگین مربعات Mean squares						درجه آزادی Degree of freedom	منبع تغییر Source of variation
غلظت فسفر ریشه Root P Conc.	غلظت فسفر شاخساره Shoot P Conc.	غلظت آهن کل ریشه Total Fe Conc. of root	غلظت آهن کل شاخساره Total Fe Conc. of shoot	غلظت آهن فعال HCl-extractable Fe (HCl)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index		
224736*	167725 ^{ns}	103185*	1575.8 ^{ns}	115.2*	6.5 ^{ns}	2	بلوک (Block)
84734.56 ^{ns}	34520.31 ^{ns}	872401.9*	237.09 ^{ns}	648.09**	322.83**	1	آهن (Iron)
687173.72 ^{ns}	262295.1**	214998.3*	1925.67**	218.44**	31.83**	20	خاک (Soil)
101415 ^{ns}	70706.99 ^{ns}	115013.5 ^{ns}	820.25 ^{ns}	54.17 ^{ns}	2.66 ^{ns}	20	آهن × خاک (Fe×Soil)
119.16 ^{ns}	86.17 ^{ns}	126.03 ^{ns}	62.4 ^{ns}	32.13 ^{ns}	2.48 ^{ns}	82	خطای آزمایشی (Error)

^{ns} غیر معنی دار، * معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ** معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

^{ns} not significant, * Significant at the 0.05 probability level and ** Significant at the 0.01 probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی شاخص‌های رشد گیاه ذرت در دو سطح آهن (شاهد و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم).

Table 7. Mean comparison of main effect of agronomical traits of corn in two Fe levels (control and 10 mg/kg).

سطح کودی 10 mg Fe/kg soil	سطح شاهد Control	واحد Unit	صفت زراعی Agronomical trait
6.68	6.21	(g/pot)	وزن خشک شاخساره Shoot dry weight
70.25	64.65	(g/pot)	وزن تر شاخساره Shoot fresh weight
0.82	0.76	(g/pot)	وزن خشک ریشه Root dry weight
6.87	6.47	(g/pot)	وزن تر ریشه Root fresh weight
106.22	101.93	(cm)	ارتفاع بوته Plant height
437.72	434.49	(mm)	قطر ساقه Stem diameter
12.02 ^b	8.82 ^a	-	شاخص کلروفیل Chlorophyll index

ادامه جدول ۷-

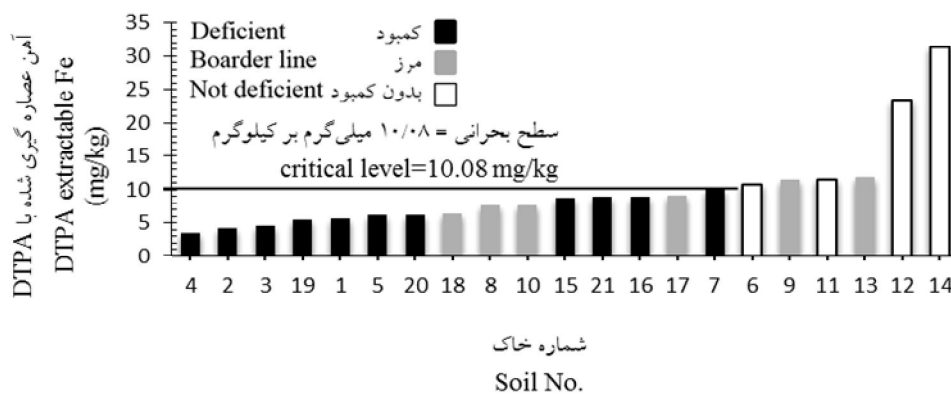
Continue Table 7.

سطح کودی 10 mg Fe/kg soil	سطح شاهد Control	واحد Unit	صفت زراعی Agronomical trait
58.87 ^b	54.34 ^a	(mg/kg dw)	غلظت آهن فعال HCl-extractable Fe (HCl)
123.48	120.74	(mg/kg dw)	غلظت آهن کل شاخساره Total Fe Conc. of shoot
1471.85 ^b	1305.43 ^a	(mg/kg dw)	غلظت آهن کل ریشه Total Fe Conc. of root
2.4	2.44	(mg/g dw)	غلظت فسفر شاخساره Shoot P Conc.
1.68	1.73	(mg/g dw)	غلظت فسفر ریشه Root P Conc.
41.51	41.46	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم شاخساره Shoot K Conc.
10.74	10.26	(mg/g dw)	غلظت پتاسیم ریشه Root K Conc.
0.58	0.5	(mg/g dw)	غلظت سدیم شاخساره Shoot Na Conc.
8.52	7.52	(mg/g dw)	غلظت سدیم ریشه Root Na Conc.

تعیین سطح بحرانی

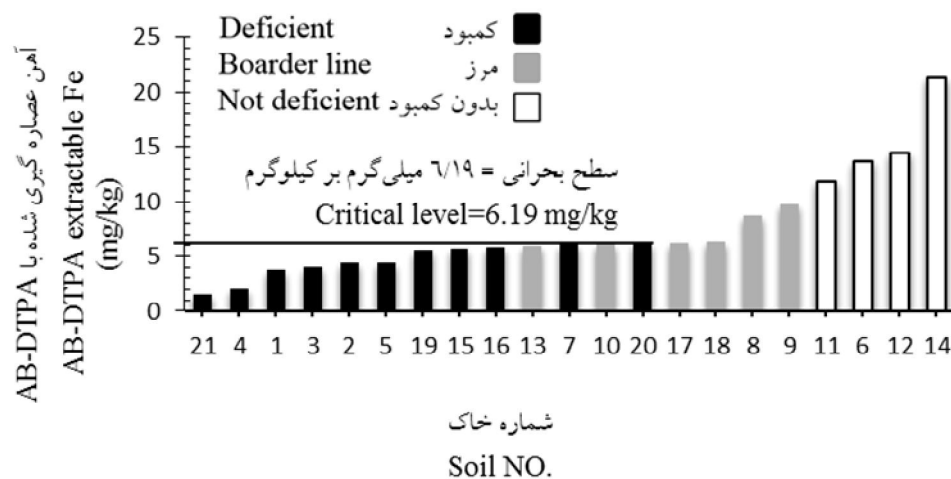
روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه یا بازرسی چشمی: سطح بحرانی آهن با روش‌های DTPA و AB-DTPA در خاک‌های مورد مطالعه برای ذرت به ترتیب ۱۰/۰۸ و ۶/۱۹ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک به دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). فیضی‌اصل (۲۰۰۸) در خاک‌های زیر کشت گندم دیم در غرب

و شمال غرب کشور سطح بحرانی آهن را با روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه یا بازرسی چشمی ۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد (۱۶). این روش به دلیل داشتن مشکلات توصیه کودی در منطقه انتقالی (۲۴) چندان مورد توجه پژوهش‌گران علم تغذیه گیاهی قرار نگرفته است.



شکل ۱- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه و DTPA.

Figure 1. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by plant response column order procedure and DTPA.



شکل ۲- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه و AB-DTPA.

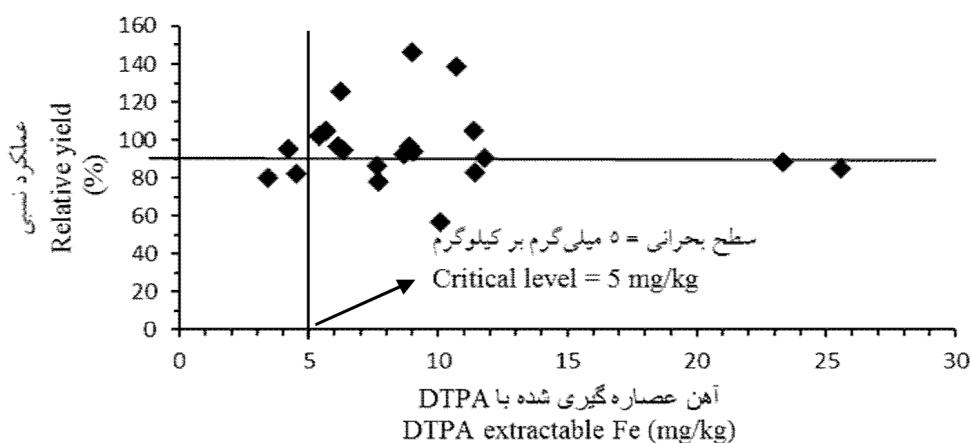
Figure 2. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by plant response column order procedure and AB-DTPA.

فیضی‌اصل و همکاران (۲۰۰۳a) سطح بحرانی آهن با استفاده از DTPA و روش تصویری کیت-نلسون در خاک‌های تحت کشت گندم دیم در غرب و شمال غرب کشور را ۵/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۱۷). ملکوتی و غیبی (۲۰۰۰) سطح بحرانی را برای گندم و جو در استان آذربایجان شرقی با استفاده از عصاره‌گیر DTPA، ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آوردند (۲۹). توشیخ و همکاران (۲۰۰۳) سطح بحرانی آهن با استفاده از DTPA و روش

روش تصویری کیت-نلسون: شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ سطح بحرانی آهن توسط روش کیت-نلسون با DTPA و AB-DTPA را نشان می‌دهند. سطح بحرانی آهن توسط روش DTPA با درصد عملکرد نسبی و غلظت نسبی آهن فعال به‌ترتیب ۵ و ۶/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین سطح بحرانی آهن توسط روش AB-DTPA با درصد عملکرد نسبی و غلظت نسبی آهن فعال به‌ترتیب ۴/۴ و ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد.

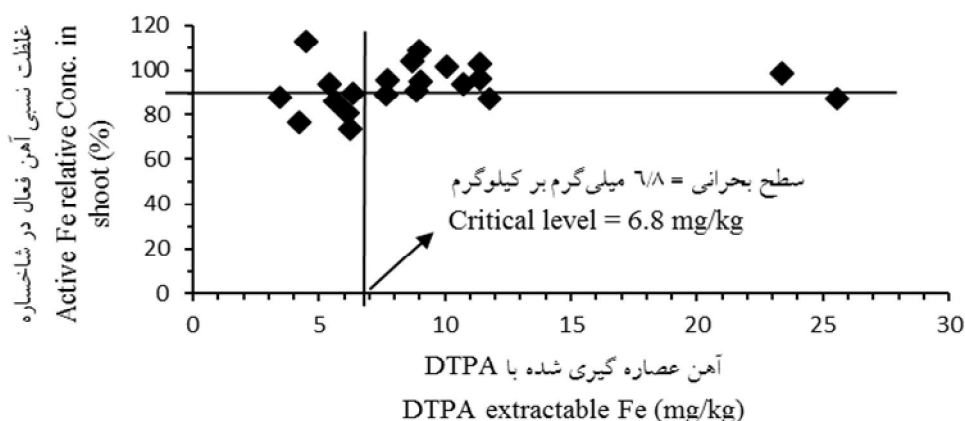
عصاره‌گیر AB-DTPA برای غلظت آهن کل و غلظت آهن فعال به ترتیب ۱۳ و ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم و همچنین برای شاخص کلروفیل برگ‌ها ۱۳ بود (۱۵). بلالی و همکاران (۱۹۹۹) میانگین سطح بحرانی آهن را در همه استان‌های کشور که در بیش از ۱۰۰۰ مزرعه (گندم آبی) انجام شده بود، ۴/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند، که مقدار به‌دست آمده در این پژوهش نزدیک است (۷).

تصویری کیت- نلسون در خاک‌های تحت کشت گندم دیم و آبی در کردستان را به ترتیب ۳/۹۲ و ۴/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۴۷). سیلسپور (۲۰۰۶) سطح بحرانی آهن با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون برای گندم آبی در خاک‌های دشت ورامین را ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد (۴۳). سطح بحرانی آهن با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون برای درختان هلو از متوسط دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر در استان گلستان با



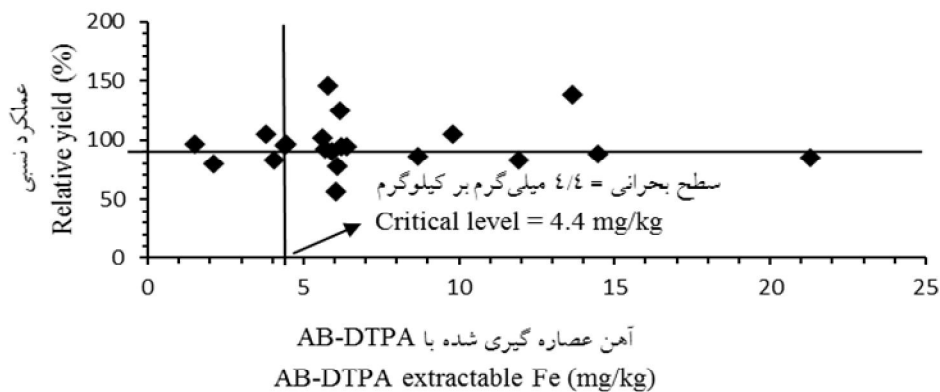
شکل ۳- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش تصویری کیت- نلسون و DTPA.

Figure 3. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by Graphical Cate-Nelson methods and DTPA.



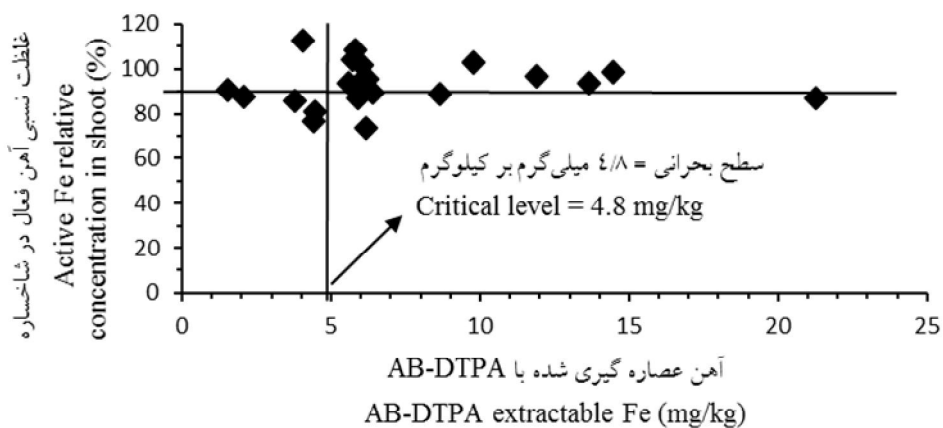
شکل ۴- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش تصویری کیت- نلسون و DTPA براساس غلظت آهن فعال.

Figure 4. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by Graphical Cate-Nelson methods and DTPA based on the concentration of active iron.



شکل ۵- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش تصویری کیت- نلسون و AB-DTPA.

Figure 5. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by Graphical Cate-Nelson methods and AB-DTPA.



شکل ۶- نمودار پراکنش و تعیین سطح بحرانی آهن در خاک با روش تصویری کیت- نلسون و AB-DTPA براساس غلظت آهن فعال.

Figure 6. The scatter plot and Fe critical level determination in soil by Graphical Cate-Nelson methods and AB-DTPA based on the concentration of active iron.

بروش آماری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری: با توجه به جدول ۸ سطح بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه برای گیاه ذرت توسط روش DTPA و AB-DTPA با روش میچرلیخ- بری برای دست‌یابی به ۹۰ درصد عملکرد به ترتیب ۷/۴۴ و ۴/۵۳ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک به دست آمد. در جدول ۹ ضرایب C_1 و C_2 معادله میچرلیخ- بری ارائه شده است. این ضرایب برای روش DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۱۳۴۴ و ۰/۰۳۵۶ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم آهن و برای روش AB-DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۲۲۰۷ و ۰/۰۵۵۶ کیلوگرم خاک

بروش آماری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری: با توجه به جدول ۸ سطح بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه برای گیاه ذرت توسط روش DTPA و AB-DTPA با روش میچرلیخ- بری برای دست‌یابی به ۹۰ درصد عملکرد به ترتیب ۷/۴۴ و ۴/۵۳ میلی‌گرم آهن بر کیلوگرم خاک به دست آمد. در جدول ۹ ضرایب C_1 و C_2 معادله میچرلیخ- بری ارائه شده است. این ضرایب برای روش DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۱۳۴۴ و ۰/۰۳۵۶ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم آهن و برای روش AB-DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۲۲۰۷ و ۰/۰۵۵۶ کیلوگرم خاک

$$\text{DTPA} \quad (1)$$

$$\text{Log}(A - Ry) = \text{log } A - (0.1344b + 0.0356x)$$

$$\text{AB-DTPA} \quad (2)$$

$$\text{Log}(A - Ry) = \text{log } A - (0.2207b + 0.0556x)$$

سطح بحرانی آهن برای دستیابی به ۹۰ درصد حداکثر عملکرد دانه با استفاده از معادله میچرلیخ برای گندم دیم در مناطق غرب و شمال غرب کشور (آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان و کرمانشاه) را ۸/۸ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند (۱۸).

که در آن‌ها، A حداکثر عملکرد (۱۰۰ درصد)، Ry درصد عملکرد نسبی، b میزان آهن عصاره‌گیری شده در خاک به واحد میلی گرم آهن بر کیلوگرم خاک و X میزان کود آهن مصرفی به واحد میلی گرم آهن بر کیلوگرم خاک می‌باشد. فیضی اصل و همکاران (۲۰۰۳b)

جدول ۸- سطح بحرانی آهن توسط روش میچرلیخ-بری.

Table 8. Fe critical level by Micherlich-Bray method.

سطح بحرانی آهن با روش DTPA Fe critical level by DTPA	سطح بحرانی آهن با روش AB-DTPA Fe critical level by AB-DTPA (mg/kg)	عملکرد نسبی Relative yield (%)
6.13	3.73	85
7.44	4.53	90
9.68	5.9	95

جدول ۹- ضرایب C₁ و C₂ معادله میچرلیخ با عصاره‌گیرهای DTPA و AB-DTPA.

Table 9. Mitscherlich-Bray equation coefficients, C₁ and C₂, by DTPA and AB-DTPA extractants.

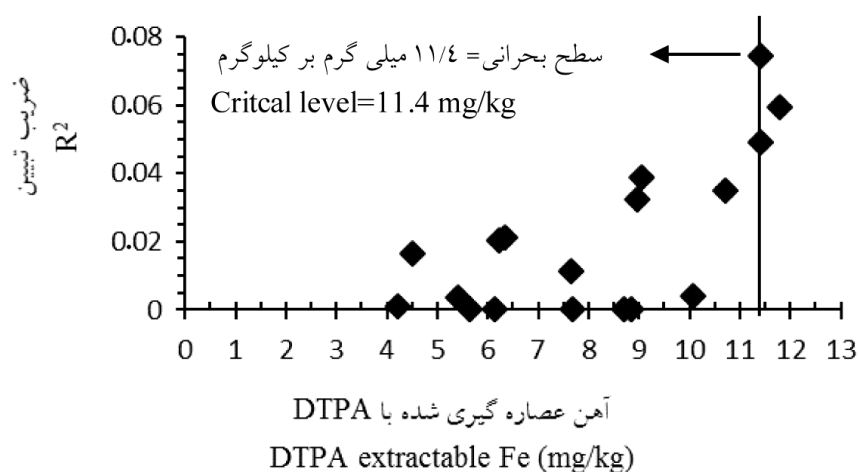
Fe-AB-DTPA (mg/kg)	AB-DTPA		Fe-DTPA (mg/kg)	DTPA		شماره خاک Soil NO.
	C ₂ (mg/kg)	C ₁ (mg/kg)		C ₂ (mg/kg)	C ₁ (mg/kg)	
3.80	**	**	5.65	**	**	1
4.41	0.0332	0.296002	4.22	0.07374	0.30892	2
4.04	***	0.186062	4.51	0.014565	0.16666	3
2.09	0.023946	0.335065	3.43	0.024091	0.204616	4
4.46	0.053059	0.339723	6.15	0.06887	0.246406	5
13.63	**	**	10.71	**	**	6
6.06	***	0.05969	10.08	***	0.035877	7
8.67	***	0.099517	7.66	***	0.112738	8
9.79	**	**	11.40	**	**	9
6.10	***	0.107499	7.69	***	0.085167	10
11.9	***	0.063918	11.41	***	0.06664	11
14.48	***	0.064858	23.35	***	0.040212	12
5.92	***	0.174137	11.78	***	0.087607	13
21.28	***	0.038762	25.56	***	0.032277	14
5.7	***	0.199505	8.69	***	0.130925	15
5.8	**	**	8.98	**	**	16
6.24	***	0.195997	9.04	0.000788	0.135222	17
6.4	***	0.196189	6.35	0.040275	0.197736	18
5.6	**	**	5.42	**	**	19
6.19	**	**	6.23	**	**	20
1.53	0.111915	0.953533	8.86	0.02655	0.164308	21
7.34	0.05553	0.220697	9.39	0.035554	0.134351	میانگین

** عملکرد نسبی بیش از ۱۰۰ درصد و *** عدد منفی.

** Relative yield over 100% and *** Negative number.

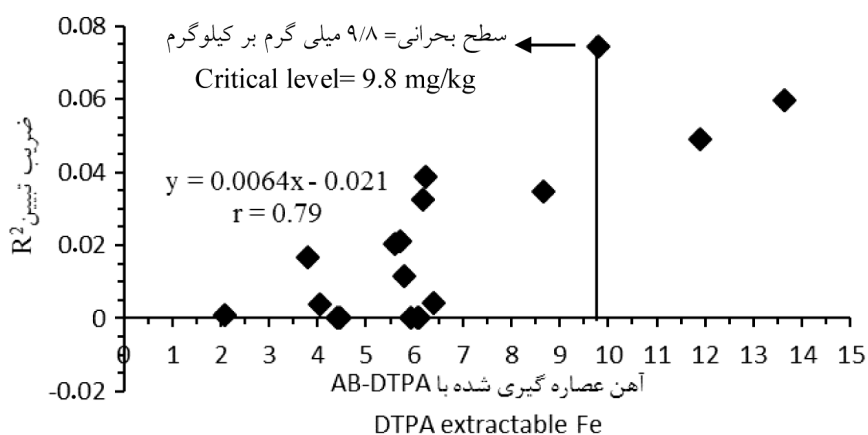
در شکل‌های ۷ و ۸ سطح بحرانی به‌دست آمده با روش آماری کیت-نلسون توسط عصاره‌گیرهای DTPA و AB-DTPA تعیین شده است و جایی که بیش‌ترین R^2 به‌دست آمده به‌عنوان سطح بحرانی معرفی شده است. این سطح بحرانی برای عصاره‌گیر DTPA، $11/4$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای عصاره‌گیر AB-DTPA، $9/8$ به‌دست آمد. لازم به ذکر است که R^2 های به‌دست آمده از این روش خیلی کم بوده به همین دلیل روش آماری کیت-نلسون در این پژوهش ناموفق بود.

در این پژوهش برای به‌دست آوردن ضریب C_2 ، در ابتدا ضریب C_1 را برای هر خاک به‌دست آورده و از آن‌ها میانگین گرفته سپس از طریق میانگین ضریب C_1 ، ضریب C_2 هر خاک به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش‌تر C_2 ها ستاره‌دار بودند که یکی از دلایل این امر کم بودن سطوح کودی است. با دو سطح نمی‌توان تأثیر واقعی کود مصرفی را به‌دست آورد. برای یافتن دقیق ضریب C_2 حداقل ۴ یا ۵ سطح کودی باید مصرف شود؛ بنابراین، این نتیجه دور از پیش‌بینی نبود.



شکل ۷- تعیین سطح بحرانی آهن به روش آماری کیت-نلسون با عصاره‌گیر DTPA.

Figure 7. Fe critical level determination by statistical Cate-Nelson method with DTPA extractant.



شکل ۸- تعیین سطح بحرانی آهن با روش آماری کیت-نلسون با عصاره‌گیر AB-DTPA.

Figure 8. Fe critical level determination by statistical Cate-Nelson method with AB-DTPA extractant.

نتیجه‌گیری کلی

سطح بحرانی آهن قابل جذب با استفاده از DTPA با روش ترتیب ستونی پاسخ گیاه، برای دستیابی به ۹۰ درصد عملکرد نسبی ذرت با استفاده از روش‌های تصویری کیت- نلسون و میچرلیخ- بری و همچنین برای دستیابی به ۹۰ درصد غلظت نسبی آهن فعال در شاخساره با استفاده از روش تصویری کیت- نلسون به ترتیب ۱۰/۰۸، ۵، ۷/۴۴ و ۶/۸ و برای عصاره‌گیر AB-DTPA به ترتیب ۶/۱۹، ۴/۴، ۴/۵۳ و ۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. روش آماری کیت- نلسون به دلیل ضرایب تبیین بسیار پایین ناموفق بود. میانگین ضرایب C_1 و C_2 معادله میچرلیخ- بری برای روش DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۱۳۴۴ و ۰/۰۳۵۶ و برای

روش AB-DTPA به‌طور میانگین به ترتیب ۰/۲۲۰۷ و ۰/۰۵۵۶ کیلوگرم خاک بر میلی‌گرم آهن بود. در این پژوهش به دلیل کم بودن سطح کودی ضریب C_2 اکثراً منفی به دست آمد. سطح بحرانی آهن از طریق میانگین‌گیری روش‌های مذکور با استفاده از DTPA و AB-DTPA برای ذرت در این مناطق به ترتیب ۷/۳۳ و ۴/۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تامین هزینه این پژوهش تشکر می‌شود. همچنین از همه داوران مقاله به دلیل ارائه نقطه‌نظرات ارزشمند خویش سپاسگزاریم.

منابع

1. Abadia, J., Millan, E., Montanes, L., and Heras, L. 1980. DTPA and NH_4HCO_3 -DTPA extractable Fe, Mn and Zn levels in the Ebro Valley. *Anales de la Estacion Experimental de Aula Dei*. 15: 1-2. 181-193.
2. Agricultural Statistics. 2013. The first volume of agricultural crops, 2011-2012. Ministry of Agricultural Jihad, Vice Chancellor for of Planning and Economic, Center of Information and Communication Technology. Downloaded from <http://www.maj.ir>.
3. Alizadeh, B., and Tarinejhad, A.A. 2000. Application of MSTATC Software in Statistical Analysis. Sotudeh press, 260p. (In Persian)
4. Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonate. P 1379-1396, In: C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
5. Al-Mustafa, W., Abdallah, A., and Falatah, A. 2001. Assessment of five extractants for their ability to predict iron uptake and response of sorghum grown in calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32: 5-6. 907-919.
6. Bawer, C.A., Reitemeier, R.F., and Fireman, M. 1952. Exchangable cation analysis of saline and alkali soil. *Soil Science*. 73: 251-261.
7. Belali, M.R., Malakouti, M.J., Mashyehki, H.H., and Khademi, Z. 1999. Effect of micro-nutrients to enhance performance and to determine the critical level in soil under wheat cultivation in Iran. *J. Soil Water*. 12: 6. 111-119. (In Persian)
8. Black, C.A. 1992. *Soil fertility evaluation and control* Lewis publisher, Boca Raton, Florida, USA, 746p.
9. Bray, R.H. 1958. The correlation of a phosphorus soil test with the response of wheat through a modified Mitscherlich equation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 22: 314-317.
10. Cate, R.B., and Nelson, L.A. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data. *North Carolina Agric. Exp. Stn. International Soil Testing Series, Tech. Bull. No.1*.
11. Cate, R.B., and Nelson, L.A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 35: 660-658.

12. Chakerolhosseini, M.R., Ronaghi, A., Maftoun, M., and Karimian, N. 2003. Response of Soybean to Phosphorus and Iron in a Calcareous Soil. JWSS - Isfahan University of Technology. 6: 4. 91-102. (In Persian)
13. Dahiya, S.S., and Singh, R. 1982. Effect of soil application of CaCO_3 and Fe on dry matter yield and nutrient uptake in oats. Plant and soil. 65: 79-86.
14. Drouineau, G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol: Nouvelles donne'es sur la separation et la nature des fractions calcaires. Ann. Agronomy. 12: 441-450.
15. Emami, M., and Dordipour, E. 2012. Selection of suitable extractant to extract available iron in peach in soils of Golestan Province. J. Soil Manage. Sust. 2: 2. 89-103.
16. Feiziasl, V. 2008. Comparison of different methods for interpreting the results of a soil test to determine the critical level of soil iron under dryland wheat cultivation in the province of North West of Iran. Agricultural Knowledge. 18: 4. 65-80. (In Persian)
17. Feiziasl, V., Toshieh, V., Taliee, A.E., and Belson, V. 2003a. Determination of critical levels of soil iron, manganese, zinc, copper and boron in dryland wheat in the North West of Iran. 8th congress of Soil Science, Iran, Rasht, Pp: 461-463. (In Persian)
18. Feiziasl, V., Valizadeh, Gh.R., Toshieh, V., Taliee, A.E., and Belson, V. 2003b. Determination of critical levels of soil micronutrients for dryland wheat in the North West of Iran. Iran. J. Crop Sci. 5: 4. 236-249. (In Persian)
19. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 201-214, In: H.D. Jacob and G. Clarke Topp (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
20. Gruber, B., and Kosegarten, H. 2002. Depressed growth of nonchlorotic vine grown in calcareous soil is an iron deficiency symptom prior to leaf chlorosis. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165: 111-117.
21. Hansen, N.C., Hopkins, B.G., Ellsworth, J.W., and Jolley, V.D. 2006. Iron nutrition in field crops. Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms, Springer, Pp: 23-59.
22. Jones, B.J.Jr. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis, (First ed.). New York: CRC press, Pp: 203-205.
23. Katyal, J.C., and Sharma, B.D. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. Plant and Soil. 55: 105-119.
24. Keisling, T.C., and Mullinix, B. 1979. Statistical considerations for evaluation micronutrient tests. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43: 1181-1184.
25. Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. P 225-246, In: A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of American, Madison, WI, USA.
26. Lindsay, W.L., and Schwab, A.P. 1982. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. J. Plant Nutr. 5: 4-7. 821-840.
27. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Amer. J. 42: 3. 421-428.
28. Mahashabde, J.P., and Patel, S. 2012. DTPA-Extractable micronutrients and fertility status of soil in Shirpur Tahasil region. Inter. J. Chem. Tech. Res. 4: 4. 1681-1685.
29. Malakouti, M.J., and Gheibi, M.N. 2000. Determination of critical levels of nutrients in the soil, plants and fruit in order to increase the qualitative and quantitative yield strategic products. Agricultural Education Press, Iran, Karaj, Pp: 33-34. (In Persian)
30. Malakouti, M.J., Keshavarz, P., and Karimian, N.A. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modarres University Press, Iran, 755p. (In Persian)
31. Malkouti, M.J., and Tehrani, M.M. 1999. The role of micronutrients in enhancing performance and improving the quality of agricultural products. Tarbiat Modarres University Press. Iran, 328p. (In Persian)

32. Mengel, K. 1994. Iron availability in plants tissues-iron chlorosis on calcareous soils. *Plant and Soil*. 165: 275-283.
33. Miller, G.W., Pushnik, J.C., and Welkie, G.W. 1984. Iron chlorosis, a worldwide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *J. Plant Nutr.* 7: 1-22.
34. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic Chemical methods. P 961-1010, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, G.T. Johanson and M.E. Summer (Eds.), *American Society of Agronomy*. Madison, WI.
35. Norvell, W.A. 1991. Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. P 115-138, In: J.J. Mortedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer. J. Inc., Madison, WI.
36. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA, Cire. 939, U. S. Gover. Prin. Office, Washington DC.
37. Oserkowsky, J. 1933. Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. *Plant Physiology*. 8: 3. 449.
38. Peoples, M.B., Beilharz, V.C., Waters, S.P., Simpson, R.J., and Dalling, M.J. 1980. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*. 149: 3. 241-251.
39. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. P 417-436, In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3-Chemical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
40. Richards, L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. USDA Handbook. no, 60, U. S. Government printing office: Washington, DC, 84p.
41. Roomizadeh, S., and Karimian, N. 1996. Manganese-iron relationship in soybean grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 19: 397-406.
42. Seilsepour, M. 2006. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. *Pajouhesh and Sazandegi*. 76: 123-133. (In Persian)
43. Singh, V., and Agrawal, H. 2007. Development of DRIS norms for evaluating nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur requirements of rice crop. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 55: 3. 294-303.
44. Soltanpour, P.N., and Schwab, A.P. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro-nutrients in alkaline soils 1. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 8: 3. 195-207.
45. SPSS, Inc. 1998. SPSS for windows, release 9.0 SPSS, Inc.
46. Toshieh, W., Sadri, M.H., and Rezaei, L. 2003. Determination of the Critical level of iron, zinc, manganese, copper and boron in soils under rainfed wheat in Kurdistan. 8th congress of Soil Science. Pp: 251-252.
47. Wiersma, J.V. 2007. Iron Acquisition of Three Soybean Varieties Grown at Five Seeding Densities and Five Rates of Fe-EDDHA. *J. Agron.* 99: 1018-1028.
48. Wiersma, J.V. 2005. High Rates of Fe-EDDHA and Seed Iron Concentration Suggest Partial Solutions to Iron Deficiency in Soybean. *J. Agron.* 97: 924-934.



Determination of soil Iron critical level for corn plant in East Azerbaijan province

K. Kalkhal¹, *A. Reyhanitabar² and N. Najafi²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz,

²Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tabriz

Received: 04/13/2015; Accepted: 12/13/2015

Abstract

Background and Objectives: Knowledge about the iron (Fe) critical level and plant response to application of Fe can effectively help proper use of this element. Corn is used in human nutrition, poultry and livestock in pharmaceuticals, starch and alcohol and oil production. Because of the calcareous soils, low organic matter content, low solubility of iron in alkaline pH, carbonate and bicarbonate ions present in irrigation water and phosphorus over fertilization, Fe deficiency is common in most fields and gardens. The aim of this study was to investigate the effect of Fe-EDDHA on corn growth indices and determination of Fe critical level in some calcareous soils of East Azerbaijan province using DTPA and ABDTPA by conventional methods.

Materials and Methods: In this research, Fe critical level for corn (*Zea mays* L.) was determined in 21 soils from corn fields of East Azerbaijan province during 2014-2015. Corn plant was cultivated in two level of Fe (zero and 10 mg Fe kg⁻¹ as Fe-EDDHA) as a factorial experiment in a randomized complete blocks design with three replications in pots containing 4 kg air-dried soil. After 60 days, the plant growth parameters were measured. Fe available in the studied soils were extracted by DTPA and ABDTPA methods and measured by atomic absorption spectroscopy (AAS).

Results: The results showed that soil type had a significant effect on the growth indices of corn and the effect of applied Fe levels was significant in some of growth indices while the fertilizer and soil interaction was not significant. Critical level of soil Fe for corn with DTPA-Fe, based on 90% relative yield, was determined 10.08, 5, 11.4 and 7.44 mg Fe kg⁻¹ soil by using plant response column order procedure, graphical Cate-Nelson, Cate-Nelson analysis of variance and Mitscherlich-Bray, respectively and for AB-DTPA method was 6.19, 4.4, 9.8 and 4.53 (mg Fe kg⁻¹ soil) respectively. As well as to achieve a 90% relative concentration of active Fe in shoot by using graphical Cate-Nelson and DTPA and AB-DTPA methods, critical soil Fe level were 6.8 and 4.8 mg Fe kg⁻¹ soil, respectively. Mitscherlich-Bray equation coefficients, C₁ and C₂, for DTPA-Fe were 0.1344 and 0.0356 kg soil mg⁻¹Fe, respectively and for AB-DTPA-Fe were 0.2207 and 0.0556 kg soil mg⁻¹Fe.

Conclusion: In this study, statistical Cate-Nelson's method due to very low coefficient of determination was unsuccessful. Also, due to the low level of applied Fe fertilizer, C₂ factor of Mitscherlich-Bray equation was mostly negative. Iron critical levels derived by averaging and using DTPA and AB-DTPA methods for corn in these areas, are suggested as 7.33 and 4.98 mg kg⁻¹, respectively.

Keywords: AB-DTPA, Corn, Critical level, DTPA, Iron

* Corresponding Authors; Email: areyhani@tabrizu.ac.ir

