ارزیابی چند عصاره‌گیر برای تعیین آهن قابل استفاده ذرت (*Zea mays* L.) و حد بحرانی آن در تعدادی از خاک‌های آهکی

حمیدرضا متقیان*، مرتضی شیرمحمدی و علیرضا حسین‌پور[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰)

چکیده

آهن عنصر کم‌مصرف ضروری برای گیاهان است و معمولاً کمبود آن در خاک‌های آهکی گزارش می‌شود. انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای تعیین مقدار آهن قابل استفاده و حد بحرانی آن در خاک‌های آهکی به نوع گیاه و خاک بستگی دارد. هدف این پژوهش، ارزیابی چند عصاره‌گیر شیمیایی در برآورد آهن قابل استفاده ذرت و حد بحرانی آن در خاک‌های آهکی استان چهارمحال و بختیاری بود. مقدار آهن قابل استفاده با روش‌های DTPA-TEA، AB-DTPA، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، مهلیچ ۲ و مهلیچ ۳ تعیین شد. در پایان دوره کشت، ذرت برداشت و وزن خشک، غلظت آهن در گیاه و مقدار جذب آهن توسط ذرت تعیین شد. آهن عصاره‌گیری شده با همه عصاره‌گیرهای مورد استفاده با شاخص‌های ذرت همبستگی معنی‌داری داشتند. بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های ذرت و مقدار آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA-TEA (۰/۹۴ – ۰/۳۲) و AB-DTPA (۰/۹۶ – ۰/۴۳) به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های DTPA-TEA و AB-DTPA مناسب‌ترین عصاره‌گیرهای برآورد کننده آهن قابل استفاده خاک برای ذرت در این خاک‌های آهکی بودند و حد بحرانی آهن با استفاده از این دو عصاره‌گیر به‌ترتیب ۲/۸۱ و ۳/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آهن قابل استفاده، حد بحرانی، ذرت، عصاره‌گیر شیمیایی

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Motaghian.h@yahoo.com

مقدمه

آهن بیشتر از سایر عناصر کم‌مصرف برای گیاهان مورد نیاز است و نقش مهمی در رشد و تکامل گیاهان دارد (۲۵). این عنصر در فرایندهایی مانند فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌های مؤثر در تنفس، ساخت کلروفیل، ساخت DNA و متابولیسم نیتروژن نقش دارد. کمبود آن باعث کاهش رشد، کاهش عملکرد و کاهش میزان پروتئین‌های ضروری در گیاهان می‌شود (۳۸). در خاک‌های آهکی معمولاً زیست‌فراهمی آهن برای گیاهان بسیار کم است. درصد زیاد آهک، pH زیاد خاک، گنجایش تبادل کاتیونی کم و مقدار مواد آلی کم در خاک از دلایل عمده کمبود آهن در خاک‌های کشاورزی است (۲۵). اغلب خاک‌های ایران آهکی‌اند و مقدار آهک آنها بیش از ۱۰ درصد است و در برخی مناطق از ۶۰ درصد نیز بیشتر است (۱۹). وجود درصد زیاد کربنات کلسیم، pH قلیایی و وجود کربنات و بی‌کربنات در آب‌های آبیاری خاک‌های آهکی ایران باعث شده تا کمبود آهن در مزارع وجود داشته باشد (۲۹).

آزمون خاک اطلاعات سودمندی درباره مقدار آهن قابل استفاده گیاه در خاک در جهت استفاده بهینه از کود و کاهش آسیب کمبود آهن ارائه می‌کند. برای تعیین مقدار قابل استفاده عناصر از عصاره‌گیرهای شیمیایی استفاده می‌شود. عصاره‌گیری روش‌های شیمیایی هستند که عنصر غذایی قابل استفاده گیاه با دقت و بدون تداخل عناصر دیگر از خاک استخراج می‌شود. هر عصاره‌گیر شیمیایی باید قادر باشد بخش قابل دسترس عنصر غذایی را از خاک استخراج کند و همچنین روش عصاره‌گیری باید سریع، تکرارپذیر و مقرون به صرفه باشد (۸).

قابلیت استفاده آهن تحت تأثیر عوامل خاکی و گیاهی است و مناسب بودن یک عصاره‌گیر به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد؛ لذا یک عصاره‌گیر نمی‌تواند برای همه خاک‌ها عصاره‌گیر مناسبی باشد (۵). انتخاب عصاره‌گیر مناسب که توانایی پیش‌بینی آهن قابل استفاده گیاهان را داشته باشد بسیار مهم است و عصاره‌گیر انتخابی باید با توجه به شرایط ویژه هر خاک نزدیک‌ترین رفتار را به جذب گیاه داشته باشد. برای ارزیابی توانایی عصاره‌گیرهای مختلف در برآورد مقدار آهن قابل استفاده گیاه از ضریب همبستگی بین مقدار آهن عصاره‌گیری توسط عصاره‌گیر مورد نظر و مقدار آهن جذب شده توسط گیاه استفاده می‌شود (۵).

با وجود اینکه در پژوهش‌های متعددی به تعیین عصاره‌گیر مناسب و یا حد بحرانی آهن پرداخته شده است (۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۰)، اما معرفی عصاره‌گیر مناسب و تعیین حد بحرانی به نوع خاک و نوع گیاه وابسته است. خلخال و همکاران (۲۰) به ارزیابی روش‌های مختلف عصاره‌گیری آهن قابل استفاده گیاه ذرت در ۲۱ خاک آهکی استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده، روش‌های DTPA-TEA و AB-DTPA بیشترین ضریب همبستگی را با وزن خشک شاخساره (۰/۷۲– ۰/۶) و مقدار آهن شاخساره (۰/۷۵ – ۰/۷۱) داشتند. ایشان روش AB-DTPA را به‌دلیل ضریب همبستگی بیشتر نسبت به روش DTPA-TEA و عصاره‌گیری همزمان چند عنصر به‌عنوان عصاره‌گیر برتر انتخاب کردند. المصطفی و همکاران (۶) به بررسی توانایی ۵ روش عصاره‌گیری شیمیایی در برآورد آهن قابل استفاده گیاه سورگوم در خاک‌های آهکی عربستان پرداختند. در این مطالعه آهن عصاره‌گیری شده با AB-DTPA بیشترین همبستگی را با جذب آهن توسط گیاه نشان داد. آدیل‌اوغلو (۲) در خاک‌های ترکیه به بررسی عصاره‌گیر مناسب از بین ۸ روش عصاره‌گیری آهن برای گیاه جو پرداخت. نتایج آنها نشان داد که مقدار آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA و AB-DTPA بیشترین ضریب همبستگی را با وزن ماده خشک، غلظت آهن، جذب آهن و عملکرد نسبی داشتند. همچنین، آدیل‌اوغلو و همکاران (۴) به بررسی توانایی ۵ روش عصاره‌گیری شیمیایی در برآورد آهن قابل استفاده گیاه گندم در خاک‌های منطقه تراکیا ترکیه پرداختند. نتایج آنها نشان داد بیشترین ضریب همبستگی بین عملکرد وزن خشک، غلظت آهن و جذب آهن و مقدار آهن عصاره‌گیری شده از خاک‌ها مربوط به عصاره‌گیرهای DTPA-TEA و AB-DTPA بود. لذا آنها پیشنهاد کردند که این

دو روش عصاره‌گیری مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی وضعیت آهن قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی ترکیه هستند. امامی و دردی‌پور (۱۱) عصاره‌گیرهای DTPA-TEA، AB-DTPA، هیدروکسیل آمین هیدروکلراید و مهلیچ ۱ را به منظور انتخاب عصاره‌گیر مناسب برای استخراج آهن قابل جذب درختان هلو در استان گلستان مورد ارزیابی قرار دادند. آنها عنوان کردند که با توجه به ضرایب همبستگی بین جذب آهن و غلظت آهن در اندام هوایی گیاه با آهن استخراجی به وسیله عصاره‌گیرها، AB-DTPA به‌عنوان عصاره‌گیر مناسب برای استخراج آهن قابل استفاده هلو در استان گلستان معرفی می‌شود.

ذرت در ایران از نظر کل سطح برداشت غلات بعد از گندم، جو و برنج در رتبه چهارم قرار دارد. از طرفی تاکنون عصاره‌گیر مناسبی برای تعیین آهن قابل استفاده ذرت و حد بحرانی آن در خاک‌های استان چهارمحال و بختیاری معرفی نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت عنصر آهن و کمبود آن در خاک‌ها و همچنین تحقیقات بسیار اندکی که به ارزیابی عصاره‌گیر مناسب و حد بحرانی این عنصر پرداخته‌اند، این تحقیق انجام شد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

برای انجام این پژوهش، ۳۰ نمونه خاک از خاک‌های آهکی استان چهارمحال و بختیاری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۲ میلی متری، ۱۰ نمونه خاک بر اساس دامنه گسترده درصد رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار آهن عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، برای انجام تحقیق انتخاب شدند. pH در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب مقطر به خاک (۴۱)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره صاف شده سوسپانسیون‌های با نسبت ۲ به ۱ آب مقطر به خاک (۳۶)، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون خنثی‌سازی با اسید کلریدریک ۱ نرمال (۲۶)، درصد کربن آلی خاک به‌روش اکسایش تر (۳۴)، گنجاش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم ۱ مولار در۷= pH (۴۰)، توزیع اندازه ذرات به‌روش هیدرومتر (۱۵) و آهن قابل استفاده با پنج روش عصاره‌گیری شیمیایی (جدول ۱) تعیین شد.

کشت گلخانه‌ای

برای ارزیابی پاسخ گیاه ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴)، آزمایش گلدانی با ۱۰ نمونه خاک در قالب طرح کاملاً تصادفی دارای دو تیمار با و بدون کود آهن در سه تکرار انجام شد. در این بخش، ۴/۵ کیلوگرم خاک در گلدان‌های پلاستیکی ریخته و دو سطح صفر و ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک (از منبع سکوسترین ۱۳۸) تیمار شدند. به‌دلیل اینکه سایر عناصر غذایی باید به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گیرند، بر اساس نتایج تجزیه خاک به هر گلدان ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره به‌صورت تقسیط در سه مرحله، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر از منبع مونوکلسیم‌فسفات به هر گلدان افزوده شد. همچنین ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و مس نیز به خاک‌ها افزوده شد.

برای کشت گیاه، بذرهای ذرت درون آب قرار داده و در کاغذ صافی جوانه زدند. پس از آن ۳ بذر در هر گلدان کشت و در طول دوره رشد گیاه سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه ثابت نگه‌داشته شود. برای این منظور، مقدار رطوبتی که با رسیدن مقدار آب گلدان‌ها به آن، آبیاری انجام شد با درنظر گرفتن ۳۰ درصد تخلیه مجاز (یا نسبت آب سهل‌الوصول) و بر اساس درصد وزنی رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و ظرفیت زراعی تعیین شد (۱۴). سپس، از طریق توزین گلدان‌ها (دو روز یک‌بار) آب مورد نیاز گلدان‌ها افزوده و سعی شد از تغییرات رطوبت در طول دوره رشد جلوگیری شود. دمای گلخانه در روز ۲۰ تا ۲۵ و در شب ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. هشت هفته پس از جوانه زدن، گیاهان برداشت شدند. اندام هوایی گیاه با آب مقطر شسته شده و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک

جدول ۱. روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی مورد استفاده در تعیین آهن قابل استفاده

عصاره‌گیر	ترکیب عصاره‌گیر	خاک : عصاره‌گیر	زمان تکان دادن (دقیقه)	منبع
DTPA-TEA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۰۱ مولار CaCl2 + ۰/۱ مولار TEA (pH=۷/۳)	۱:۲	۱۲۰	۲۴
AB-DTPA	۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۱ مولار NH4HCO3 (pH=۷/۶)	۱:۲	۱۵	۳۹
مهلیچ ۲	۰/۲ مولار NH4Cl + ۰/۰۱۵ مولار NH4F + ۰/۰۱۲ مولار HCl + ۰/۲ مولار CH3COOH	۱:۱۰	۵	۳۰
مهلیچ ۳	۰/۰۱۵ مولار NH4F + ۰/۲۵ مولار NH4NO3 + ۰/۰۱۳ مولار HNO3 + ۰/۲ مولار CH3COOH + ۰/۰۰۱ مولار EDTA	۱:۱۰	۵	۳۱
کلرید کلسیم	۰/۰۱ مولار CaCl2	۱:۱۰	۱۲۰	۱۸

و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. غلظت آهن در اندام هوایی با روش خاکستر خشک (۹) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی دارای حد تشخیص ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر (GBC, 932 ساخت استرالیا) تعیین و آهن جذب شده توسط اندام هوایی از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

(۱) عملکرد خشک (کیلوگرم در گلدان) × غلظت آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم) = جذب آهن (میلی‌گرم در گلدان)

تجزیه و تحلیل آماری

ضریب همبستگی (r) بین شاخص‌های ذرت (عملکرد خشک، غلظت آهن و جذب) و مقدار آهن قابل استفاده خاک تعیین و عصاره‌گیر یا عصاره‌گیرهای مناسب بر اساس معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی انتخاب شدند. برای مقایسه میانگین پاسخ ذرت به مصرف آهن از آزمون t جفت شده در سطح احتمال ۵ درصد و نرم‌افزار Statistica 6 استفاده شد. برای پیش‌بینی پاسخ ذرت با استفاده از مقدار آهن عصاره‌گیری شده و خصوصیات خاک‌های مورد مطالعه، از رگرسیون گام به گام پیش‌رونده و نرم‌افزار Statistica 6 استفاده شد. همچنین حد بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه با استفاده از روش میچرلیخ با درنظر گرفتن عملکرد نسبی ۸۵ درصد تعیین شد (۱).

$$\log(100-y)=2-Cx \quad (۲)$$

که در آن y عملکرد نسبی (درصد)، C ضریب متغیر و x مقدار آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف است.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این نتایج، pH خاک‌ها در دامنه ۷/۵ تا ۸/۱ (میانگین ۷/۹)، هدایت الکتریکی خاک‌ها در دامنه ۰/۱۲ تا ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر (میانگین ۰/۱۷ دسی‌زیمنس بر متر) و مقدار کربنات کلسیم معادل خاک‌ها در دامنه ۱۱/۳ تا ۴۱ درصد (میانگین ۲۷/۵ درصد) به‌دست آمد. همچنین دامنه تغییرات مقدار رس خاک‌ها ۲۵ تا ۵۵ درصد (میانگین ۴۴/۱ درصد)، کربن آلی خاک‌ها ۰/۳ تا ۱/۱۹ درصد (میانگین ۰/۷۳ درصد) و گنجایش تبادل کاتیونی ۱۱/۵ تا ۲۲/۵ سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم (میانگین ۱۸/۱۷ سانتی‌مول‌بار بر کیلوگرم) بود. مقدار آهن

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رس	سیلت	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	pH	هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	آهن قابل استفاده
	(٪)					($dS\ m^{-1}$)	($cmolc\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)
۱	۵۵	۴۰	۲۸/۷	۰/۷۲	۷/۸	۰/۱۳	۲۰/۹	۴/۸۸
۲	۵۳	۴۴	۳۵/۶	۰/۳۰	۸/۱	۰/۱۳	۱۹/۳	۲/۱۵
۳	۴۹	۳۹	۲۹/۴	۰/۵۱	۷/۹	۰/۱۲	۲۲/۵	۴/۸۰
۴	۴۶	۴۲	۲۶/۴	۰/۷۱	۷/۸	۰/۱۴	۲۱/۶	۱/۴۰
۵	۴۱	۴۲	۳۲/۲	۰/۵۴	۸/۱	۰/۱۳	۱۶/۰	۱/۱۶
۶	۳۷	۴۴	۳۲/۵	۰/۸۰	۷/۶	۰/۱۶	۱۵/۶	۳/۹۷
۷	۲۵	۳۳	۴۱/۰	۰/۴۷	۷/۷	۰/۲۱	۱۱/۵	۴/۵۰
۸	۳۸	۵۵	۲۳/۱	۱/۱۹	۸/۱	۰/۲۴	۱۷/۹	۶/۲۰
۹	۴۸	۴۶	۱۱/۳	۱/۱۶	۷/۸	۰/۲۵	۱۸/۵	۱/۷۰
۱۰	۴۹	۴۶	۱۴/۸	۰/۹۷	۷/۹	۰/۲۳	۱۷/۹	۵/۸۸
ضریب تغییرات (CV)	۲۰/۴	۱۳/۲	۳۳/۱	۴/۰	۱۵/۰	۳۰/۱	۱۷/۹	۵۱/۸

عصاره‌گیری شده با روش DTPA-TEA در دامنه ۱/۱۶ تا ۶/۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار داشت.

مقدار آهن عصاره‌گیری شده به‌روش‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. مقدار آهن استخراج شده با روش‌های مختلف در یک خاک متفاوت به‌دست آمد که این امر نشان‌دهنده مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج آهن است. شرایط مختلف عصاره‌گیرها مانند نسبت محلول به خاک، pH محلول، مدت زمان عصاره‌گیری و نوع شکل استخراج شده آهن، باعث می‌شود که مقادیر متفاوتی از آهن توسط عصاره‌گیرها استخراج شود. در هر عصاره‌گیر نیز مقدار آهن عصاره‌گیری شده در خاک‌ها اختلاف زیادی داشت که این مسئله می‌تواند به‌دلیل ویژگی‌های متفاوت خاک‌ها و تفاوت در اجزای معدنی آهن در خاک‌های مختلف باشد. به‌طور کلی مقدار آهن استخراج شده توسط روش‌های عصاره‌گیری در خاک‌های مورد مطالعه به‌صورت زیر بود:

مهلیچ۳ > AB-DTPA > DTPA-TEA > مهلیچ ۲ > کلرید کلسیم

عصاره‌گیرهای مختلف شامل اسیدهای رقیق، نمک‌ها یا عوامل کلات کننده هستند که بسته به روش عصاره‌گیری مورد استفاده مقدار متفاوت آهن قابل استفاده را استخراج می‌کنند. استخراج مقدار آهن قابل استفاده بیشتر توسط عصاره‌گیر مهلیچ ۳ نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند به‌دلیل وجود اسیدهای رقیق و کلات کننده اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) در این عصاره‌گیر باشد. وجود اسیدهای رقیق در عصاره‌گیر مهلیچ ۳ باعث افزایش فعالیت عناصر کم‌مصرف در فاز محلول شده به‌دلیل انحلال کربنات‌ها و حضور کلات کننده (EDTA) باعث تشکیل کمپلکس با آهن و افزایش استخراج آن می‌شود (۳۲). عصاره‌گیر EDTA در بسیاری از خاک‌ها به‌عنوان عصاره‌گیری موفق برای عناصر کم‌مصرف کاتیونی معرفی شده است (۲۲). عصاره‌گیر EDTA قادر است عناصر کم‌مصرف پیوند شده با اکسیدها، مواد آلی و بخشی از عناصر موجود در کانی‌های رسی را استخراج کند و در مقایسه با کلات کننده DTPA به‌دلیل داشتن pH کمتر مقدار بیشتری از عناصر کم‌مصرف خاک را عصاره‌گیری می‌کند (۳۷). همچنین ثابت تشکیل ($\log K^{c}_{0.1}$) واکنش $Fe(III)+L \rightleftharpoons FeOHL+H^{+}$ در

جدول ۳. مقدار آهن استخراج شده (میلی‌گرم در کیلوگرم) توسط عصاره‌گیرهای مختلف در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	DTPA-TEA	AB-DTPA	مهلیچ ۲	مهلیچ ۳	کلرید کلسیم
۱	۴/۸۸	۵/۲۷	۱/۲۸	۹/۵۱	۰/۲۰
۲	۲/۱۵	۳/۶۱	۰/۹۱	۵/۱۳	۰/۱۸
۳	۴/۸۰	۶/۲۰	۱/۷۷	۸/۹۰	۰/۳۴
۴	۱/۴۰	۱/۹۸	۰/۷۸	۴/۸۰	۰/۱۲
۵	۱/۱۶	۱/۶۸	۰/۶۲	۳/۶۱	۰/۱۶
۶	۳/۹۷	۴/۴۸	۱/۲۶	۵/۲۴	۰/۴۸
۷	۴/۵۰	۶/۱۹	۱/۷۰	۶/۸۰	۰/۱۷
۸	۶/۲۰	۶/۶۰	۱/۴۲	۸/۸۶	۰/۴۳
۹	۱/۷۰	۲/۲۹	۰/۴۵	۲/۷۵	۰/۱۸
۱۰	۵/۸۸	۶/۱۶	۱/۳۱	۸/۸۸	۰/۶۵
میانگین	۳/۶۶	۴/۴۵	۱/۱۵	۶/۴۵	۰/۲۹

حضور EDTA برابر با ۱۷/۱۵ و در حضور DTPA برابر با ۱۶/۸۶ است (۲۳). بنابراین آهن با EDTA کمپلکس پایدارتری نسبت به DTPA تشکیل می‌دهد (۲۳).

روش عصاره‌گیری AB-DTPA نسبت به روش DTPA-TEA مقدار آهن بیشتری عصاره‌گیری کرد. روش عصاره‌گیری AB-DTPA دارای قدرت یونی بیشتر و همچنین در اثر حضور بی‌کربنات در این عصاره‌گیر منجر به تشکیل کربنات کلسیم شده و از فعالیت کلسیم در محلول کاسته و بنابراین تشکیل کمپلکس کلسیم – DTPA کاهش یافته و امکان ایجاد کمپلکس با آهن فراهم می‌شود (۶، ۷ و ۲۷). همچنین روش عصاره‌گیری DTPA-TEA دارای pH بافر شده با استفاده از تری اتانول آمین و همچنین محتوی کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار است که از حل شدن کربنات کلسیم و آزاد شدن آهن محبوس شده در این ترکیب جلوگیری می‌کنند (۲۴). به‌علاوه یون NH_4^+ موجود در روش AB-DTPA می‌تواند جایگزین برخی کاتیون‌های فلزی شود (۲۳). هاولین و سلطان‌پور (۱۶) به‌منظور ارزیابی وضعیت آهن خاک‌های کلرادو روش AB-DTPA را مورد آزمایش قرار دادند و گزارش کردند که عصاره‌گیر AB-DTPA همانند روش DTPA برای پیش‌بینی قابلیت استفاده آهن در خاک‌های کلرادو موفق بود. هاینس و سوئیفت (۱۷) گزارش کردند که روش AB-DTPA به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقدار آهن بیشتری نسبت به روش DTPA-TEA عصاره‌گیری می‌کند. روش عصاره‌گیری کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار کمترین مقدار آهن را عصاره‌گیری کرد. کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار آهن تبادلی را از طریق جانشینی استخراج می‌کند. برای تعیین مقدار آهن قابل استفاده در خاک‌های قلیایی روش‌های اسید و نمک (مانند کلرید کلسیم) به‌خاطر استخراج کمترین مقدار آهن مناسب نیستند و استفاده از روش‌های کلات و کلات به‌علاوه نمک در این نوع خاک‌ها پیشنهاد می‌شود (۳).

شاخص‌های گیاه ذرت

شاخص‌های گیاه ذرت در ۱۰ خاک مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج این جدول نشان می دهد کاربرد ۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک گیاه، جذب کل آهن و غلظت آهن در گیاه شد. نتایج مشابهی توسط نبوی‌مقدم و همکاران (۳۳) و اتینگ و همکاران (۱۳) مشاهده شده است. نبوی‌مقدم و همکاران (۳۳) گزارش کردند که مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار

جدول ۴. شاخص‌های گیاه ذرت در خاک‌های مورد مطالعه تحت تاثیر کاربرد کود آهن

شماره خاک	خاک‌های تیمار نشده (بدون مصرف آهن)			خاک‌های تیمار شده (۱۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم خاک)			عملکرد نسبی (٪)
	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده خشک (گرم در گلدان)	جذب(میلی‌گرم در گلدان)	غلظت (میلی‌گرم در کیلوگرم)	ماده خشک (گرم در گلدان)	جذب (میلی‌گرم در گلدان)	
۱	۳۵۲/۲۰	۷/۴۱	۲/۶۰	۳۸۴/۲۳	۱۱/۰۰	۴/۲۲	۶۷/۰۰
۲	۲۰۹/۱۷	۶/۰۶	۱/۲۷	۲۶۶/۸۰	۱۰/۰۰	۲/۶۲	۶۲/۰۰
۳	۲۷۲/۶۰	۱۰/۵۳	۲/۸۶	۳۰۳/۱۰	۱۱/۳۳	۳/۳۴	۹۲/۳۳
۴	۱۲۹/۵۳	۶/۳۳	۰/۸۲	۱۹۲/۶۰	۶/۰۹	۱/۷۴	۶۹/۳۳
۵	۱۲۷/۸۰	۶/۵۰	۰/۸۳	۱۶۸/۳۰	۷/۶۶	۱/۲۸	۸۴/۶۶
۶	۲۱۵/۷۳	۱۰/۹۳	۲/۳۵	۳۰۹/۳۳	۱۱/۳۳	۳/۵۰	۹۶/۳۳
۷	۳۰۶/۵۳	۱۱/۶۶	۳/۵۷	۳۴۱/۷۷	۱۲/۵۰	۴/۲۷	۹۳/۳۳
۸	۳۴۵/۸۷	۱۱/۶۶	۴/۰۳	۳۸۴/۹۳	۱۳/۱۶	۵/۰۷	۸۸/۳۳
۹	۱۲۸/۵۷	۶/۳۶	۰/۸۱	۲۵۰/۱۷	۸/۶۶	۲/۱۶	۷۳/۳۳
۱۰	۳۲۲/۵۳	۱۲/۰۰	۰/۸۷	۳۲۷/۶۰	۱۳/۰۰	۴/۲۶	۹۲/۰۰
میانگین*	۲۴۱/۰۵[b]	۸/۹۴[b]	۲/۳۰[b]	۲۹۲/۸۸[a]	۱۰/۷۷[a]	۳/۲۵[a]	۸۱/۸۶

* حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین هر شاخص در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون t هستند.

کود آهن (سولفات آهن) در خاک‌های استان خراسان جنوبی باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک، وزن بلال و عملکرد ذرت رقم سینگل‌کراس شد. همچنین، اتینگ و همکاران (۱۳) گزارش کردند که مصرف ۱۲ کیلوگرم در هکتار کود آهن (سولفات آهن) در خاک‌های جنوب شرقی نیجریه باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک ذرت، جذب کل آهن و غلظت آهن در ذرت شد.

ضریب همبستگی بین مقادیر آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف و شاخص‌های ذرت در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که بین غلظت آهن، ماده خشک و جذب آهن گیاه با آهن عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۳ و مهلیچ ۲ همبستگی معنی‌داری وجود داشت. همبستگی بین آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف با عملکرد نسبی معنی‌دار نبود. بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و مقدار آهن عصاره‌گیری شده از خاک‌ها مربوط به دو عصاره‌گیر DTPA-TEA و AB-DTPA بود. امامی و دردی‌پور (۱۲) نیز در مطالعه خود عنوان کردند که با توجه به ضرایب همبستگی بین جذب آهن و غلظت آهن در اندام هوایی گیاه با آهن استخراجی به‌وسیله عصاره‌گیرها و نیز درنظر گرفتن عوامل سادگی، سرعت و اقتصادی بودن، عصاره‌گیر AB-DTPA را به‌عنوان عصاره‌گیر مناسب برای استخراج آهن قابل استفاده هلو در استان گلستان معرفی کردند. مشابه با تحقیق حاضر، آدیل‌اوغلو (۲) گزارش کرد که در خاک‌های استان ادیرنیه ترکیه مقدار آهن عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA و AB-DTPA دارای بیشترین ضریب همبستگی با وزن ماده خشک، غلظت آهن، جذب آهن و عملکرد نسبی بودند. بنابراین، روش‌های DTPA و AB-DTPA را بهترین روش‌های عصاره‌گیری آهن در

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین آهن استخراج شده از خاک توسط عصاره‌گیرها و شاخص‌های ذرت (n=۱۰)

شاخص‌های ذرت / عصاره‌گیر	غلظت آهن	جذب آهن	ماده خشک	عملکرد نسبی
AB-DTPA	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۸۶**	۰/۵۳ns
DTPA-TEA	۰/۹۴**	۰/۹۷**	۰/۸۶**	۰/۵۳ns
مهلیچ ۳	۰/۹۳**	۰/۸۵**	۰/۶۳*	۰/۲۸ns
مهلیچ ۲	۰/۸۱**	۰/۷۵*	۰/۶۳*	۰/۵۸ns
کلرید کلسیم	۰/۴۸ns	۰/۶۴*	۰/۵۴ns	۰/۵۷ns

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری است.

خاک‌های مورد مطالعه گزارش کردند. بر خلاف این نتایج، سلیک و کاتکات (۱۰) در مطالعه خود که به ارزیابی روش‌های عصاره‌گیری شیمیایی آهن قابل استفاده درختان هلو در خاک‌های آهکی پرداختند، گزارش کردند که با توجه به ضریب همبستگی بین مقدار آهن برگ‌ها و مقدار آهن عصاره گیری شده توسط عصاره‌گیرها، در خاک‌های آهکی منطقه مورد مطالعه روش‌های عصاره‌گیری H_2SO_4+HCl و EDTA مناسب‌ترین روش برای ارزیابی وضعیت آهن قابل استفاده بودند و عصاره‌گیر DTPA برای تعیین آهن قابل استفاده درختان هلو در خاک‌های آهکی مناسب نبود. المصطفی و همکاران (۶) در مطالعه خود گزارش کردند که آهن عصاره‌گیری شده با AB-DTPA بیشترین همبستگی را با جذب آهن توسط گیاه سورگوم داشت و عصاره‌گیر AB-DTPA نسبت به سایر عصاره‌گیرها روش مناسب‌تری برای ارزیابی آهن قابل استفاده سورگوم در خاک‌های آهکی عربستان بود. آدیل‌اوغلو و همکاران (۴) نیز گزارش کردند که بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های گیاهی گندم (عملکرد وزن خشک، غلظت آهن و جذب آهن) و مقدار آهن عصاره گیری شده از خاک‌ها مربوط به عصاره‌گیرهای DTPA-TEA و AB-DTPA بود و این دو روش عصاره‌گیری مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی وضعیت آهن قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی ترکیه بودند.

حد بحرانی آهن

معادله میچرلیخ بر داده‌های هر عصاره‌گیر به‌صورت معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) برازش داده شد. با استفاده از معادله میچرلیخ و با توجه به عصاره‌گیرهای مختلف به‌کار برده شده در مرحله قبل (جدول ۵) حد بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه برای عصاره‌گیرهای مختلف تعیین شد (جدول ۶). حد بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه برای عصاره‌گیرهای مهلیچ ۲، مهلیچ ۳، DTPA-TEA و AB-DTPA به‌ترتیب ۱/۰۰، ۵/۴۹، ۲/۸۱ و ۳/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. بیشترین مقدار حد بحرانی مربوط به عصاره‌گیر مهلیچ ۳ و کمترین میزان حد بحرانی مربوط به مهلیچ ۲ بود. الگالا و همکاران (۱۱) گزارش کردند که حد بحرانی آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA-TEA برای ذرت در خاک‌های رسوبی، شنی و آهکی مصر به‌ترتیب ۵/۶، ۳/۴ و ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. ملکوتی و غیبی (۲۸) حد بحرانی آهن را برای گیاهان گندم و جو در خاک‌های استان آذربایجان شرقی برای عصاره‌گیر DTPA-TEA ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. المصطفی و همکاران (۵) حد بحرانی آهن عصاره‌گیری شده با AB-DTPA را در خاک‌های آهکی عربستان برای گیاه سورگوم، ۴/۸ – ۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. ویژگی‌های خاک از قبیل pH، گنجایش تبادل کاتیونی، مقدار رس، نوع محصول و به‌ویژه روش عصاره‌گیری متفاوت

جدول ۶. حد بحرانی آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) بر اساس معادله میچرلیخ با درنظر گرفتن عملکرد نسبی (۸۵ درصد)

	AB-DTPA	DTPA-TEA	مهلیچ ۳	مهلیچ ۲
مقدار حد بحرانی	۳/۶۷	۲/۸۱	۵/۴۹	۱/۰۰
ضریب تبیین (R^2)	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۷۶**	۰/۷۷**

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

مهم‌ترین دلایل متفاوت بودن مقدار حد بحرانی در مطالعات مختلف است (۲۱).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، بیشترین مقدار آهن عصاره‌گیری شده در خاک‌ها با روش مهلیچ ۳ و کمترین آن با روش کلرید کلسیم استخراج شد. بین غلظت آهن، ماده خشک و جذب آهن با آهن عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA، AB-DTPA، مهلیچ ۳ و مهلیچ ۲ همبستگی معنی‌داری وجود داشت. بر اساس ضرایب همبستگی بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده و شاخص‌های گیاهی می‌توان گفت که دو روش DTPA-TEA و AB-DTPA برای ارزیابی آهن قابل جذب ذرت در این خاک‌ها از دیگر روش‌ها مناسب‌تر هستند. مقدار مواد مورد استفاده در روش DTPA-TEA در مقایسه با عصاره‌گیر AB-DTPA کمتر بود درحالی که زمان عصاره‌گیری بیشتر است، بنابراین عصاره‌گیر DTPA-TEA با توجه به جنبه اقتصادی و ارتباط قابل قبول با شاخص‌های گیاهی برای تعیین آهن قابل استفاده ذرت توصیه می‌شود. همچنین حد بحرانی آهن در خاک‌های مورد مطالعه بر اساس روش میچرلیخ با عصاره‌گیرهای مهلیچ ۲، مهلیچ ۳، DTPA-TEA و AB-DTPA به‌ترتیب، ۱/۰۰، ۵/۴۹، ۲/۸۱ و ۳/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. پیشنهاد می‌شود سطوح بحرانی به‌دست آمده باید بر اساس مطالعات مزرعه‌ای ارزیابی شوند.

منابع مورد استفاده

1. Abdolahi, A., M. J. Malakouti and J. Ghaderi. 2011. Potassium fertilizer recommendations through determination of mitscherlich-bray equation coefficients for irrigated wheat Iranian. *Journal of Soil and Water Research* 42:121-128. (In Farsi).
2. Adiloglu, A. 2002. Determination of suitable chemical extraction methods for available iron content of the soils from Edirne province in Turkey. *Journal of Central European Agriculture* 3(3): 255-262.
3. Adiloglu, A. 2006. Determination of sutiable chemical extraction methods for available iron content of brown forest soils in Turkey. *Eurasian Journal* of *Soil Science* 39(9): 961-967.
4. Adiloglu, A., S. Adiloglu and M. R. Karaman. 2018. Determination of suitable extraction method for the available iron (Fe) content of calcareous soils. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 6(1): 51-54.
5. Allowoy, B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. Blackie and Son Ltd. Glascow and London.
6. Al-Mustafa, W., A. Abdallah and A. Falatah. 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.
7. Barbarick, K. A. and S. M. Workman. 1987. Ammonium Bicarbonate-DTPA and DTPA extractions of sludge-amended soils. *Journal of Environment Quality* 16(2): 125-130.
8. Brown, J. R., T. E. Bales and M. L. Vitosh. 1987. Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and interpretation. Book series No. 21. Soil Science Society of America, Special pub., Madisson, WI., USA.
9. Campbell, C. R. and C. O. Plank 1998. Preparation of plant tissue for laboratory analysis. PP. 37-50. *In:* Kalra, Y. P. (Eds.), Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, CRC Press, Taylor & Francis Group.

10. Celik, H. and A.V. Katkat. 2010. Comparison of various chemical extraction methods used for determination of the available iron amounts of calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 290-300.
11. Elgala, M., A. S. Ismail and M. A. Ossman. 1986. Critical levels of iron, manganese and zinc in Egyptian soils. *Journal* of *Plant Nutrition* 9: 267-280.
12. Emami, M. and E. Dordipour. 2012. Selection of suitable extractant to extract available iron in peach in soils of Golestan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 2(2):89-103. (In Farsi).
13. Eteng, E. U. and D. O. Asawalam. 2015. Evaluation of five extraction methods for predicting available forms of iron in soils of Southeastern, Nigeria. *Journal of Agriculture and Veterinary Science* 8: 2319-2370.
14. Farshi, A. A. and M. Mirlatifi. 2003. On-Farm Irrigation Water Management. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (In Farsi).
15. Gee, G. H. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-409. *In:* Klute, A. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical Properties, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
16. Havlin, J. L. and P. N. Soltanpour. 1981. Evaluation of the NH_4HCO_3-DTPA soil test for iron and zinc. *Soil Science Society of America Journal* 45: 70-75.
17. Haynes, R. J. and R. S. Swift. 1983. An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrients in moderately acid soils. *Plant and Soil* 74: 111-122.
18. Hoyt, P. B. and M. Nyborg. 1971. Toxic metals in acid soil. 2. Estimation of plant available manganese. *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 141-144.
19. Jafari, M. and F. Sarmadian. 2008. Fundamental of Soil Science and Soil Taxonomy. University of Tehran Press. (In Farsi).
20. Khalkhal, K., A. Reyhanitabar and N. Najafi. 2016. Evaluation of some extraction for determination of corn available iron in some soils of East Azerbaijan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(2): 427-437. (In Farsi).
21. Khodshenas, M. A., J. Ghadbeiklou and M. Dadivar. 2017. Critical level of iron for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivation in Markazi Province. *Journal of Water and Soil* 31(4): 1148-1158. (In Farsi).
22. Knezek, B. D. and B. Ellis. 1980. Essential micronutrients, IV. Copper, iron, manganese and zinc. PP. 259-286. *In*: Davies, B. E. (Eds.), Applied Trace Elements. Wiley, New York.
23. Lindsay W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
24. Lindsay, W. L. 1979. Chemical Equilibria in Soils, John Wiley & Sons, NewYork.
25. Lindsay, W. L., and A. P. Schwab. 1982. The chemistry of iron in soils and its availablility to plants. *Journal of Plant Nutrition* 5: 821-840.
26. Loeppert, R. H. and D. L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. *In:* Sparks, D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
27. Mahashabde, J. P. and S. Patel. 2012. DTPA-Extractable micronutrients and fertility status of soil in Shirpur Tahasil region. *International Journal of ChemTech Research* 4: 1681-1685.
28. Malakouti, M. J., and M. M. Tehrani. 1999. Role of microelements on yield and quality of agricultural productions. Tarbiat Modares Publication, Tehran. Iran. (In Farsi).
29. Malakouti, M. J. and M. N. Gheibi. 1999. Determination of Critical Levels of Nutrients in Soil, Plant, and Fruit for the Quality and Yield Improvements in Strategic Crops of Iran. High Concoil for Appropriate Use of Pesticides and Chemical Fertilizers, Ministry of Agriculture. Karaj. Iran. (In Farsi).
30. Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, manganese and zinc. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 9: 477-492.
31. Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15: 1409-1416.
32. Motaghian, H. R. and A. Hosseinpour. 2013. Assessment of several extractants for the determination of zinc bioavailability to bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in calcareous soils amended and unamended with sewage sludge. *Journal of Water and Soil* 27(4): 742-752. (In Farsi).
33. Nabavi Moghadam, R., M. H. Saberi and M. H. Sayyari. 2013. Effect of soil application of iron and manganese sulfate on quantitative and qualitative characteristics of forage maize Hybrid Single Cross 704. *Journal of Agricultural Crops Production* 15(2): 75-86. (In Farsi).
34. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP. 961-1011. *In:* Sparks, D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
35. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Circular, 939 (p. 19). Washington, DC: US Department of Agriculture.
36. Rhoades, J. D. 1996. Salinity, electrical conductivity and total dissolved solids. PP. 417-437. In*:* Sparks, D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

37. Sahuquillo, A., A. Rigol and G. Rauret. 2003. Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends* in *Analytical Chemistry* 22: 152-159.
38. Santiago, de A. and A. Delgado 2006. Predicting iron chlorosis of lupin in calcareouse Spanish soils from iron extracts. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1945-1950.
39. Soltanpour, P. N., and A. P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micronutrients in alkaline soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8: 195-207.
40. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201-1229. *In:* Sparks, D. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
41. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-491. *In*: Sparks D. L. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 2, Summer 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Assessment of Several Extractants for the Determination of Fe Availability to Corn (*Zea mays* L.) and its Critical Level in Some Calcareous Soils

H. Motaghian*, M. Shirmohammadi and A. Hosseinpur[1]

(Received: April 5-2020; Accepted: February 28-2021)

Abstract

Iron (Fe) is an essential micronutrient for plants and its deficiency occurs in calcareous soils. However, a suitable extractant for the estimation of plant-available Fe and its critical level in calcareous soils depends on the type of soil and plant. The objective of the present study was to evaluate several chemical extractants to estimate available Fe and its critical level for corn growing in calcareous soils from Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province. The amount of available Fe was measured by DTPA-TEA, AB-DTPA, 0.01 M calcium chloride, Mehlich II, and Mehlich III extractants. At the end of the experiment, corn was harvested, and dry weight, Fe concentration in the plant, and the amount of Fe uptake by corn were determined. Extracted Fe had a significant correlation with all extractants used with maize indices. . The highest correlation coefficients were determined between the DTPA-TEA (0.32-0.94) and AB-DTPA (0.43–0.96) methods and the plant indices. The results of this research showed that the DTPA-TEA and AB-DTPA methods were the most suitable extractants for predicting available Fe content in these soils and the critical level of Fe extracted by these extractants was 2.81 and 3.67 mg kg^{-1}.

Keywords: Available Fe, Criticlal level, Corn, Soil chemical extractants

1. Soil Science Department, Shahrekord University, Chaharmahal-Va-Bakhtiari, Iran.
Corresponding author, Email: Motaghian.h@yahoo.com