

## ارزیابی روش‌های عصاره‌گیری تعیین آهن قابل‌استفاده گیاه ذرت در خاک‌های آهکی استان آذربایجان شرقی

کمال خلخال<sup>۱</sup>، عادل ریحانی تبار<sup>۲\*</sup> و نصرت اله نجفی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

این تحقیق برای ارزیابی روش‌های عصاره‌گیری آهن قابل‌استفاده گیاه ذرت در خاک و اندازه‌گیری آهن فعال گیاه کشت شده در ۲۱ نوع خاک آهکی سطحی از استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. در یک آزمایش گلخانه‌ای در خاک‌های مورد مطالعه با سه تکرار گیاه ذرت (*Zea mays L.*) رقم سینگل کراس ۷۰۴ کشت شد. پس از ۶۰ روز شاخساره و ریشه ذرت برداشت شد. نتایج نشان داد که آهن عصاره‌گیری شده از خاک توسط روش‌های DTPA و AB-DTPA بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص‌های رشد ذرت مانند وزن تر و خشک، غلظت آهن فعال در شاخساره، شاخص کلروفیل برگ‌ها، مقدار جذب آهن شاخساره و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها داشتند. روش AB-DTPA به دلیل ضریب همبستگی بالاتر نسبت به روش DTPA و عصاره‌گیری هم‌زمان چندین عنصر، به‌عنوان عصاره‌گیر برتر انتخاب شد. به‌طور میانگین کمترین مقدار و روش اگزالات آمونیوم سریع بیشترین مقدار آهن را از خاک استخراج کردند. برای اندازه‌گیری غلظت آهن فعال گیاه ذرت هر دو روش ارتوفنانتروپین ۱/۵٪ و HCl یک نرمال مناسب تشخیص داده شدند. بین آهن فعال اندازه‌گیری شده توسط ارتوفنانتروپین با آهن فعال اندازه‌گیری شده توسط HCl ضریب همبستگی خطی معنی‌دار مشاهده شد ( $r = 0.66^*$ ،  $p < 0.01$ )، اما روش ارتوفنانتروپین به دلیل همبستگی نزدیک‌تر با شاخص‌های رشد گیاه و آهن قابل‌استفاده خاک عصاره‌گیری شده با روش‌های DTPA و AB-DTPA نسبت به روش HCl برتر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آهن قابل‌استفاده، ذرت، عصاره‌گیر

### مقدمه

ذرت گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد بالا است که در سطح جهانی از نظر میزان تولید در واحد سطح بعد از گندم در رتبه دوم و از نظر سطح زیر کشت بعد از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده است. در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ سطح کشت ذرت دانه‌ای در کشور حدود ۲۸۲۰۰۰ هکتار برآورد شده که از این مقدار سهم استان آذربایجان شرقی ۴۵۱۲ تن بود (Agricultural Statistics, 2013).

آهن اولین عنصر کم‌مصرف شناخته شده برای گیاهان زراعی است (Marschner and Marschner, 2012). آهن بیش از تمام عناصر کم‌مصرف برای گیاهان مورد نیاز است (Fageria, 2010). آهن در متابولیسم آنزیم‌ها (به‌عنوان فعال کننده آنها) و در متابولیسم پروتئین‌ها (پروتئین‌های سیتوکروم اکسیداز، کاتالاز، لگ هموگلوبین، پروتئین‌های Fe-S، فردوکسین و همچنین آنزیم‌های حاوی آهن مانند نیتروژناز و سوپر اکسید

دسیموتاز)، در ساخت کلروفیل، تکامل کلروپلاست، فتوسنتز، تنفس گیاه و واکنش‌های اکسایش-کاهش، سوخت و ساز اسیدهای آلی (مانند اگزالیک، استیک، مالیک) نقش دارد (Havlin et al, 1999; Fageria, 2010; Hochmuth, 2012; Marschner and Marschner, 2012). کلروز ناشی از کمبود آهن در خاک‌های آهکی بسیار شایع است. خاک‌های آهکی بیش از ۳۰٪ سطح خشکی‌های زمین را می‌پوشانند (Chen and Barak, 1982). کمترین حلالیت ترکیب‌های آهن در خاک بین pHهای ۸/۵ - ۷/۴ پدید می‌آید ( $10^{-10.4}$  مولار) (Linsay and Schwab, 1982)، از آنجایی که pH خاک‌های آهکی در این محدوده قرار دارد یکی از علل شیوع کمبود آهن در خاک‌های آهکی را می‌توان همین ویژگی دانست. آهکی بودن خاک، گونه‌های حساس، غلظت بالای بی‌کربنات و نیترات در خاک و آب آبیاری، حلالیت شدیداً پایین آهن که عمدتاً به شکل اکسیدهای فریک‌اند، افزایش تراکم محصولات زراعی، کمبود مواد آلی، استفاده از ارقام با عملکرد بالا مثل ذرت، استفاده بی‌رویه و گسترده از کودهای فسفر و عدم استفاده از کودهای آهن باعث

خاک پی برد که این روش‌ها شامل اندازه‌گیری غلظت آهن قابل‌استفاده در خاک و دیگری اندازه‌گیری شاخص‌های گیاهی مثل آهن فعال و... می‌باشد. آهن فعال بخشی از آهن کل گیاه است که تصور می‌شود به صورت  $Fe^{2+}$  بوده و در تولید کلروفیل نقش عمده‌ای داشته و معمولاً توسط اسید کلریدریک یک نرمال از پودر خشک برگ (Oserkowsky, 1933) یا توسط محلول ارتوفنانترولین (۱/۵٪) از برگ تازه (Katyal and Sharma, 1980) قابل‌عصاره‌گیری است. Loop and Finck (1984) از ۶ عصاره‌گیر مختلف برای تعیین غلظت آهن فعال یولاف، شلغم و ذرت کشت شده در شرایط گلخانه‌ای استفاده و گزارش کردند که DTPA و HCl یک مولار عصاره‌گیرهای مناسبی برای عصاره‌گیری آهن فعال می‌باشند. Neaman and (2007) Aguirre گزارش کردند که برای تشخیص کمبود آهن روش ارتوفنانترولین (۱/۵٪) در برگ تازه بهتر از HCl یک نرمال در برگ‌های تازه و یا خشک بود. در دنیا طیف وسیعی از عصاره‌گیرها برای اندازه‌گیری آهن قابل‌استفاده گیاه در خاک معرفی شده است. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در برخی از خاک‌ها گزارش شده که عصاره‌گیر برتر و انتخابی نیز در هر یک از این خاک‌ها متفاوت است (جدول ۱). بعضی محققان توصیه کردند که نوع خاک در تحقیقات مشابه در آینده باید با دقت و به‌طور کامل بررسی شود (Chatzistathis et al, 2014).

کاهش عملکرد محصول و بروز علائم کمبود Fe شده است (Benitez et al, 2002; Baissa, 2007). علاوه بر آن فرآیندهای فیزیولوژیکی در برگ و ریشه مانند کاهش جذب آهن از آپوپلاست به سیم‌پلاست بر اثر pH بالا نیز باعث بروز علائم کمبود Fe شده است (Mengel, 1994; Ammari, 2005). غلظت آهن گیاهان با توجه به سن و نوع گیاه فرق می‌کند. Henry (2009) دامنه غلظت بهینه آهن برای ذرت را ۱۷۸-۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دامنه کمبود آن را ۲۴ تا ۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده است. کمبود آهن و کم خونی ناشی از کمبود آهن ۳۰ تا ۵۰ درصد جمعیت جهان را مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه تحت تأثیر قرار داده است (Yip, 1996); به طوری که در برخی جمعیت‌ها کمبود آهن به ۸۵٪ رسیده است (Kapur et al, 2003). در بین عناصر کم‌مصرف آهن و روی می‌توانند در کشور ایران بیشترین خسارت را به محصولات کشاورزی وارد کنند، به طوری که بیش از ۴۰ درصد خاک‌های زراعی ایران کمتر از ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن قابل‌استفاده دارند و در استان آذربایجان شرقی حدود ۱۹ درصد خاک‌ها کمتر از ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۴۶ درصد بین ۲/۵ و ۴/۵ و تنها ۳۵ درصد خاک‌های استان بیش از ۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن قابل‌استفاده دارند (Shahbazi and Besharati, 2013).

به روش‌های مختلفی می‌توان به وضعیت تغذیه‌ای آهن در

جدول ۱- عصاره‌گیرهای برتر در خاک‌های مختلف دنیا

| منطقه                      | گیاه                                 | عصاره‌گیر برتر  | منبع                           |
|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| خاک‌های آهنکی هند          | ذرت                                  | DTPA  | Sing et al (1977)              |
| ترکیه (قونیه)              | یولاف                                | ۳٪ HNO <sub>3</sub>   | Chaudhry (1983)                |
| مرکز و غرب لهستان          | چغندرقد                              | DTPA  | Gembarzewski (1995)            |
| مرکز و غرب لهستان          | شبدر، گندم و یولاف                   | EDTA (pH=۷/۳) و EDTA (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (pH=۸/۶) | Gembarzewski (1995)            |
| شالیزارهای غرب آفریقا      | برنج                                 | EDTA و اگزالات آمونیوم  | Narteh and Sahrawat (1999)     |
| خاک‌های آهنکی عربستان      | سورگوم                               | AB-DTPA   | Al-Mustafa et al (2001)        |
| خاک‌های آهنکی جنوب اسپانیا | لوبیای سفید                          | هیدروکسیل آمین هیدروکلراید غیربافر  | De Santiago and Delgado (2006) |
| ترکیه (ادیرنه)             | جو                                   | DTPA و AB-DTPA  | Adiloglu (2006)                |
| خاک‌های آهنکی ترکیه        | درختان هلو (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) | 0.05M EDTA (pH=۷)   | Celik and Katkat (2010)        |
| خاک‌های آهنکی ترکیه        | درختان هلو (عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر)  | 0.05M HCl+0.025M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                               | Celik and Katkat (2010)        |
| خاک‌های پارانا ای برزیل    | گندم و لوبیا                         | DTPA  | Mansano sarto et al (2011)     |
| ایران (گلستان)             | هلو                                  | AB-DTPA   | Emami and Dordipour (2012)     |
| شمال یونان (مرکز مقدونیه)  | زیتون                                | مهلج III و DTPA   | Chatzistathis et al (2014)     |

عصاره‌گیری استفاده شد که در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در مطالعات گلخانه‌ای گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ جهت بررسی همبستگی بین آهن عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرها و شاخص‌های رشد گیاه ذرت در سه تکرار در گلدان‌های حاوی ۴ کیلوگرم خاک هوا خشک کاشته شد. رطوبت خاک در طول ۲ ماه رشد بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای به روش وزنی نگهداری 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 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع اوره  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ ، فسفر ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع مونوکلسیم فسفات  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ ، پتاسیم ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم  $(\text{K}_2\text{SO}_4)$ ، روی ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی  $(\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$  و مس ۵ میلی‌گرم 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 انجام شد که شامل: ۱) اسید کلریدریک یک نرمال (Oserkowsky, 1933) ۲) ارتوفانتروپین ۱/۵٪ (Katyal and Sharma, 1980). شاخص کلروفیل برگ ذرت با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech، مدل CL-01) در دو مرحله (۴۵ روز بعد از کاشت و دقیقاً قبل از برداشت) اندازه گرفته شد. بعد از ۲ ماه رشد، ساقه از محل طوقه از ریشه جدا و با ترازوی دیجیتال با دقت  $\pm 0.01$  گرم توزین شد. شاخص سارگی با آب شهری سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شد تا آب اضافی موجود در سطح آنها حذف شود. سپس نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید. هضم نمونه‌های گیاهی با روش خشک سوزانی انجام گرفت (Kalra, 1997; Jones, 2001). غلظت آهن در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی (ساخت شرکت شیمادزو ژاپن مدل AA-6300) اندازه‌گیری شد. میزان آهن جذب شده از حاصل ضرب غلظت آهن در مقدار ماده خشک حاصل شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel و ضرایب همبستگی و توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. قبل از تجزیه آماری داده‌های غیرنرمال، با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شدند.

### نتایج و بحث

توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۲۱ نوع خاک انتخاب شده در جدول ۳ ارائه شده است. از بین ۴۰ خاک مذکور، ۲۱ خاک بر اساس ویژگی‌های عمومی مانند کربنات

در منابع روش‌های عصاره‌گیری متعددی در رابطه با عناصر کم‌مصرف معرفی شده‌اند، اما تاکنون روش مناسبی که بتواند برای تمام خاک‌ها به ویژه برای عنصر آهن نتایج خوبی ارائه کند، معرفی نشده است. دلیل این امر را می‌توان شیمی پیچیده آهن در خاک از جمله شکل‌های متفاوت آهن خاک، ویژگی‌های متفاوت خاک به ویژه مینرالوژی و ویژگی‌های متفاوت گیاهان زراعی دانست. به همین دلیل هدف از این تحقیق ارزیابی روش‌های مختلف عصاره‌گیری آهن قابل جذب گیاه ذرت از خاک و گیاه و بدست آوردن ضرایب همبستگی بین مقادیر عصاره‌گیری شده به روش‌های مختلف می‌باشد. برای انتخاب بهترین عصاره‌گیر ضریب همبستگی ساده بین شاخص-های گیاهی و آهن عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرها بدست خواهد آمد.

### مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر شامل مطالعات آزمایشگاهی و گلخانه‌ای می‌باشد. برای مطالعات آزمایشگاهی تعداد ۴۰ نمونه خاک از مناطق مختلف استان آذربایجان شرقی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و ویژگی‌هایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری ۴ زمانه (Gee and Bauder, 1986)، pH در عصاره اشباع (Rhichards, 1954)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1996)، درصد کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک و تیتراژ کردن با سود (Allison and Moodie, 1965)، کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) با اگزالات آمونیوم در pH=۹ (Drouineau, 1942)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع (Rhoades, 1996)، درصد اشباع (SP) در گل اشباع (۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از تهیه کردن گل اشباع) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش سه مرحله‌ای (Bawer et al., 1952)، تعیین شد. حضور یا عدم حضور گچ در خاک با روش استاندارد استون آزمون شد (Rhichards, 1954). رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای (FC) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری در مکش ۳۳ کیلوپاسکال تعیین شد. آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب نیز به روش DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شد. سپس از ۴۰ خاک مذکور، ۲۱ خاک بر اساس صفات مذکور و با استفاده از تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) طوری انتخاب شدند که از بیشترین ضریب تغییرات  $[100 \times (\text{میانگین}/\text{انحراف معیار}) = \text{ضریب تغییرات} \%$ ] برخوردار باشند. در این تحقیق برای عصاره‌گیری آهن قابل جذب ذرت از خاک از ۶ روش

مشاهده می‌شود دامنه EC خاک‌های مورد مطالعه بین ۳/۶۶-۰/۶۹ با میانگین ۱/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. لذا مشکل شوری به‌عنوان یک متغیر ثانویه در این تحقیق مطرح نبود. همچنین خاک‌های منتخب فاقد گچ بودند.

کلسیم معادل، کربنات کلسیم معادل فعال، pH، بافت خاک، کربن آلی، آهن قابل جذب و غیره طوری انتخاب شدند که از بیشترین ضریب تغییرات برخوردار باشند که دلیل انتخاب خاک‌های با بیشترین ضریب تغییرات این است که بتوان نتایج حاصله را به خاک‌های مشابه بیشتری تعمیم داد. همانطور که

جدول ۲- عصاره‌گیرهای آهن قابل‌استفاده در خاک

| منابع  | زمان به تعادل رسیدن | نسبت خاک به عصاره‌گیر | عصاره‌گیر  |
|--|---------------------|-----------------------|--|
|  |                     |                       |  |
| Lindsay and Norvell (1978)                                   | ۲ ساعت              | ۱:۲                   | 0.005 M DTPA + 0.01 M CaCl <sub>2</sub> + 0.1 M TEA (pH=7.3)*  |
| Soltanpour and Schwab (1977)                                 | ۱۵ دقیقه            | ۱:۲                   | 0.005 M DTPA + 1 M NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> (pH=7.6)**   |
| Trierweiler and Lindsay (1969)                               | ۳۰ دقیقه            | ۱:۲                   | 0.04 M EDTA + 1 M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (pH=8.6)***  |
| Schwertmann(1964);De Santiago and Delgado (2006)             | ۲ ساعت              | ۱:۶۰                  | [ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O ] (اگزالات آمونیوم مرجع (غیر بافر) |
| Benitez <i>et al</i> (2002); Del Campillo and Torrent (1992) | ۲ ساعت              | ۱:۲۰۰                 | [ (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O ] (اگزالات آمونیوم سریع (pH=3)     |
| De Santiago and Delgado (2006); Derek and Phillips (1987)    | ۱۷ ساعت             | ۱:۲۰                  | (NH <sub>2</sub> OH*HCl) هیدروکسیل آمین هیدروکلراید غیر بافر   |

AC-EDTA \*\*\* AB-DTPA \*\* DTPA \*

جدول ۳- توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده

| پارامتر                     | حداقل  | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | ضریب تغییرات (%) |
|-----------------------------|--------|--------|---------|--------------|------------------|
| Sand                        | ۱۲/۵۶  | ۸۶/۱۲  | ۴۱/۸۲   | ۲۱/۵۴        | ۵۱/۴۹            |
| Clay                        | ۵/۳۷   | ۵۳/۹۱  | ۲۵/۳۱   | ۱۲/۸۵        | ۵۰/۷۶            |
| Silt                        | ۸/۵۱   | ۵۳/۸۶  | ۳۲/۸۷   | ۱۲/۱۱        | ۳۶/۸۵            |
| CCE                         | ۱/۷۴   | ۲۶/۵۷  | ۱۳/۵۰   | ۸/۱۰         | ۶۰/۰۲            |
| ACCE                        | ۰/۹۲   | ۱۰/۸۳  | ۵/۴۶    | ۳/۳۲         | ۶۰/۷۷            |
| OC                          | ۰/۱۶   | ۲/۳۱   | ۰/۹۴    | ۰/۵۲         | ۵۴/۶۶            |
| FC                          | ۱۱     | ۳۰     | ۲۲      | ۵/۵          | ۲۵               |
| SP                          | ۲۱/۶۷  | ۵۳/۲۴  | ۳۹/۳۲   | ۹/۹۸         | ۲۵/۳۹            |
| pH                          | ۷/۸۰   | ۸/۳۷   | ۸/۱۴    | ۰/۱۶         | ۱/۹۴             |
| (cmol <sub>c</sub> /kg) CEC | ۱۰/۲۲  | ۴۲/۵۳  | ۲۶/۶۳   | ۹/۲۵         | ۳۴/۷۲            |
| (dS/m) EC                   | ۰/۶۹   | ۳/۶۶   | ۱/۶۵    | ۰/۸۳         | ۵۰/۲۳            |
| Fe *                        | ۰/۷۷   | ۱۴/۸۶  | ۴/۴۸    | ۳/۹۱         | ۸۷/۲۳            |
| Mn *                        | ۰/۶۷   | ۱۵/۳۷  | ۶/۷۰    | ۳/۸۳         | ۵۷/۱۹            |
| Cu *                        | ۰/۶۳   | ۱/۴۵   | ۰/۹۸    | ۰/۲۱         | ۲۱/۹۱            |
| Zn *                        | ۰/۰۷   | ۱/۴۹   | ۰/۴۴    | ۰/۳۶         | ۸۲/۹۲            |
| K *                         | ۱۴۱/۴۷ | ۶۰۱/۲۳ | ۳۳۶/۵۸  | ۱۲۵/۳۹       | ۳۷/۲۵            |
| P *                         | ۱/۵۱   | ۱۹/۶۲  | ۸/۴۰    | ۵/۱۱         | ۶۰/۸۵            |

\* شکل قابل جذب

آمونیم سریع بیشترین مقدار آهن را در ۲۱ خاک مورد مطالعه عصاره‌گیری کردند (جدول ۴) و ترتیب مقدار آهن عصاره‌گیری شده به صورت زیر بود:

آهن عصاره‌گیری شده از خاک‌های مورد مطالعه توسط عصاره‌گیرهای مختلف در این تحقیق روش AC-EDTA کمترین مقدار و اگزالات

Shahandeh *et al.* (2006). (1994) گزارش کردند که اگزالات آمونیوم بیشترین مقدار آهن را عصاره‌گیری کرد چون خاک‌های مورد استفاده آنان دارای مقادیر زیادی (حدود ۶۰٪) اکسیدهای آهن بلورین ناقص بودند که مؤثرترین شکل آهن قابل عصاره‌گیری است. در این تحقیق روش‌های هیدروکسیل‌آمین هیدروکلراید، اگزالات آمونیوم سریع، DTPA و AB-DTPA به ترتیب از بیشترین ضریب تغییرات در استخراج آهن خاک برخوردار بودند (جدول ۴).

اگزالات آمونیوم سریع < اگزالات آمونیوم مرجع < هیدروکسیل‌آمین < DTPA < AB-DTPA < AC-EDTA یکی از دلایل این که روش‌های اگزالات آمونیوم سریع، اگزالات آمونیوم مرجع و هیدروکسیل‌آمین، آهن بیشتری را عصاره‌گیری کردند به pH اسیدی این عصاره‌گیرها مربوط می‌باشد. در خاک‌های آهکی، ممکن است اگزالات آمونیوم به دلیل pH اسیدی تنظیم شده و با انحلال کربنات‌ها آهن بیشتری را عصاره‌گیری کند (De Santiago and Delgado, )

جدول ۴- توصیف آماری آهن عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مورد مطالعه

| عصاره گیر                  | حداقل (mg/kg) | حداکثر (mg/kg) | میانگین (mg/kg) | انحراف معیار | ضریب تغییرات (%) |
|----------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------|------------------|
| اگزالات آمونیوم (سریع)     | ۲۱۰/۶۹        | ۲۴۹۹/۸۴        | ۸۵۶/۰۳          | ۵۳۲/۴۷       | ۶۲/۲             |
| اگزالات آمونیوم (مرجع)     | ۱۳۶/۳۵        | ۱۳۶۲/۸۱        | ۷۸۳/۳۹          | ۳۳۸/۳۲       | ۴۳/۱۹            |
| هیدروکسیل‌آمین هیدروکلراید | ۱/۷۹          | ۳۹/۹۴          | ۱۱/۷۲           | ۱۱/۴۵        | ۹۷/۶۷            |
| DTPA                       | ۳/۴۳          | ۲۵/۵۶          | ۹/۳۹            | ۵/۵۹         | ۵۹/۵۳            |
| DTPA-AB                    | ۱/۵۳          | ۲۱/۲۸          | ۷/۳۴            | ۴/۶۵         | ۶۳/۳۲            |
| AC-EDTA                    | ۱/۳۳          | ۱۲/۹۷          | ۴/۴۶            | ۲/۳۵         | ۵۲/۷             |

درصد کربنات کلسیم معادل و فعال و خاک ۱۲ با ۴۹٪ رس دارای بافت رسی بودند. از طرف دیگر خاک شماره ۲۱ با بیشترین درصد شن (۸۶٪) و کمترین درصد رس (۵٪) دارای کمترین غلظت آهن فعال در ذرت کاشته شده در آن بود. همان‌طور که انتظار می‌رفت غلظت آهن کل شاخساره بیشتر از غلظت آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانتروپین و HCl بود. غلظت آهن کل نیز مانند آهن فعال در خاک‌های ۲۰ و ۲۱ کمترین بود هرچند در خاک ۱۰ و ۱۲ بیشترین نبود اما قابل توجه بود.

**توصیف آماری غلظت آهن کل و آهن فعال اندازه‌گیری شده با HCl و ارتوفنانتروپین**

در شرایط آزمایش گلخانه‌ای و در گیاه ذرت آهن فعال اندازه‌گیری شده با HCl تقریباً ۴ برابر آهن عصاره‌گیری شده با ارتوفنانتروپین ۱/۵٪ بود (جدول ۵). بیشترین غلظت آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانتروپین و HCl به ترتیب در خاک ۱۲ و ۱۰ و کمترین آنها در خاک ۲۱ و ۲۰ مشاهده شد و دلیل این امر را می‌توان به مقدار کربنات کلسیم معادل، کربنات کلسیم معادل فعال و بافت خاک نسبت داد. خاک شماره ۱۰ کمترین

جدول ۵- توصیف آماری غلظت آهن کل، فعال و شاخص کلروفیل گیاه ذرت

| آهن کل شاخساره | شاخص کلروفیل | آهن فعال (ارتوفنانتروپین ۱/۵٪) (mg/kg FW) |                | روش اندازه‌گیری آهن فعال  |                |
|----------------|--------------|---|----------------|---------------------------|----------------|
|                |              | آهن فعال (HCl) (mg/kg DW)                 | توصیف آماری    | آهن فعال (HCl) (mg/kg DW) | توصیف آماری    |
| ۹۷/۴۱          | ۴/۶          | ۸/۵۴                                      | حداقل          | ۴۱/۶                      | حداقل          |
| ۱۵۸/۵۹         | ۱۴/۴۱        | ۱۷/۵۹                                     | حداکثر         | ۶۴/۸۳                     | حداکثر         |
| ۱۲۰/۷۳         | ۸/۸۲         | ۱۲/۸۲                                     | میانگین        | ۵۴/۳۴                     | میانگین        |
| ۱۷/۵۱          | ۲/۶۴         | ۲/۷۱                                      | انحراف معیار   | ۵/۹۴                      | انحراف معیار   |
| ۱۴/۵           | ۲۹/۸۹        | ۲۱/۱۶                                     | ضریب تغییرات % | ۱۰/۹۴                     | ضریب تغییرات % |

یکدیگر برای انتخاب عصاره‌گیری که بتواند با صرف هزینه و وقت کمتر شاخص‌های رشد گیاه ذرت را پیش‌بینی کند،

**همبستگی بین پارامترهای بدست آمده**

برای بررسی امکان استفاده از روش‌های عصاره‌گیری به جای

معنی‌دار بالایی بین روش اگزالات آمونیوم سریع با روش اگزالات آمونیوم مرجع و DTPA گزارش کردند. Geiger and (1986) Loepfert در خاک‌های تگزاس نیز همبستگی معنی‌دار بالایی بین اگزالات آمونیوم و DTPA گزارش کردند. از آنجایی که از آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات آمونیوم به‌عنوان معیاری برای برآورد اکسیدهای آهن بی‌شکل استفاده می‌شود، احتمالاً اکسیدهای آهن بی‌شکل منبع عمده آهن عصاره‌گیری شده به وسیله DTPA از خاک‌ها می‌باشند (Barani motlagh and Towfighi, 2010). طبق گزارش De Santiago and Delgado (2006) و Delgado (1992) اکسیدهای آهن بلورین ناقص مانند فری‌هایدرایت، منابع غالب آهن برای گیاهانی هستند که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند.

همبستگی آماری بین آهن عصاره‌گیری شده توسط روش‌های مذکور محاسبه شد (جدول ۶). عموماً همبستگی‌های پایینی بین روش‌های هیدروکسیل آمین هیدروکلراید و AC-EDTA با دیگر عصاره‌گیرها وجود داشت. در این تحقیق بیشترین همبستگی خطی بین روش اگزالات آمونیوم سریع با روش اگزالات آمونیوم مرجع، DTPA و AB-DTPA و همچنین بین DTPA و AB-DTPA حاصل شد. Abadia et al (1980) و Al-Mustafa et al (2001) نیز بین DTPA و AB-DTPA همبستگی معنی‌داری گزارش کردند. دلیل همبستگی بالایی اگزالات آمونیوم سریع و مرجع با یکدیگر و همچنین بین DTPA و AB-DTPA به سازوکار مشابه عصاره‌گیری آهن بر می‌گردد. De Santiago and Delgado (2006) نیز همبستگی

جدول ۶- همبستگی بین مقادیر آهن عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف

| عصاره‌گیر            | DTPA | AB-DTPA | AC-EDTA            | هیدروکسیل آمین     | اگزالات آمونیوم سریع | اگزالات آمونیوم مرجع |
|----------------------|------|---------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| DTPA                 | ۱    | ۰/۷۴**  | ۰/۳۲ <sup>ns</sup> | ۰/۱۹ <sup>ns</sup> | ۰/۶۷**               | ۰/۴۹*                |
| AB-DTPA              |      | ۱       | ۰/۴۸*              | ۰/۰۷ <sup>ns</sup> | ۰/۵۸**               | ۰/۲۹ <sup>ns</sup>   |
| AC-EDTA              |      |         | ۱                  | ۰/۱۹ <sup>ns</sup> | ۰/۵۴*                | ۰/۳۵ <sup>ns</sup>   |
| هیدروکسیل آمین       |      |         |                    | ۱                  | ۰/۳۲ <sup>ns</sup>   | ۰/۴۶*                |
| اگزالات آمونیوم سریع |      |         |                    |                    | ۱                    | ۰/۸۴**               |
| اگزالات آمونیوم مرجع |      |         |                    |                    |                      | ۱                    |

ns غیر معنی‌دار \* معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ \*\* معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱

et al (2001) در خاک‌های آهکی عربستان همبستگی مثبت معنی‌داری بین مواد آلی و رس با آهن عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA، DTPA و همبستگی منفی معنی‌داری با pH گزارش کردند. Vijayakumar et al (2011) و Mahashabde and Patel (2012) در خاک‌های هند گزارش کردند که آهن قابل‌استفاده همبستگی منفی با pH و مقدار CaCO<sub>3</sub> و همبستگی مثبتی با EC و OC داشت. بر خلاف نتایج تحقیق حاضر، Tening and Omuetti (2011) در خاک‌های مناطق مرطوب جنوب غربی نیجریه عدم همبستگی معنی‌دار بین آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA با درصد رس گزارش کردند که دلیل آن را به ماهیت رس غالب خاک یعنی کائولونایت نسبت دادند.

بین آهن فعال اندازه‌گیری شده با ارتوفنانتروپین و درصد کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و سیلت و درصد اشباع خاک‌های مورد مطالعه همبستگی مثبت معنی‌دار و همچنین با درصد شن خاک همبستگی منفی معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷). این در حالی بود که آهن فعال اندازه

در این تحقیق بین عصاره‌گیرهای آهن در خاک فقط آهن عصاره‌گیری شده توسط دو روش DTPA و AB-DTPA همبستگی معنی‌داری با برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها داشتند (جدول ۷). عصاره‌گیر DTPA و AB-DTPA همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد ماده آلی، درصد اشباع، درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی داشتند و همبستگی AB-DTPA با این ویژگی‌ها بیش‌تر از عصاره‌گیر DTPA بود. همچنین عصاره‌گیر AB-DTPA همبستگی منفی معنی‌داری با درصد شن داشت که کاملاً منطقی و مورد انتظار بود. همبستگی مثبت و معنی‌دار عصاره‌گیر DTPA و AB-DTPA با درصد رس، ماده آلی، درصد اشباع و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز قابل انتظار بود؛ چرا که منبع اصلی آهن عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک‌های آهکی، اکسیدهای آهن بی‌شکل است که اغلب همراه با مواد آلی و سیلیکات‌های لایه‌ای می‌باشد (Samar et al, 2011; Joshi et al, 1983). اکسیدهای آهن بی‌شکل واکنش‌پذیری سطحی بالایی دارند و از این رو می‌توانند در تعادل با آهن محلول و تبدیلی قرار گیرند (Morris et al, 1990). Al-Mustafa

خاک همبستگی معنی‌دار نشان داد.

گیری شده با HCl با درصد کربنات کلسیم معادل همبستگی منفی معنی‌دار و آهن کل شاخساره با هیچ یک از ویژگی‌های

جدول ۷- همبستگی خطی (r) آهن عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

| pH                  | CEC                 | EC                  | SP                  | ACCE                | CCE                 | OC                  | Silt                | Clay                | Sand                | ویژگی‌های خاک        |  |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--|
|                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     | عصاره‌گیر            |  |
| -۰/۳۲ <sup>ns</sup> | ۰/۵*                | -۰/۱۹ <sup>ns</sup> | ۰/۵۴*               | -۰/۰۶ <sup>ns</sup> | -۰/۱۲ <sup>ns</sup> | ۰/۴۵*               | ۰/۱۹ <sup>ns</sup>  | ۰/۴۴*               | -۰/۳۷ <sup>ns</sup> | DTPA                 |  |
| -۰/۲۱ <sup>ns</sup> | ۰/۶۲**              | -۰/۰۶ <sup>ns</sup> | ۰/۶۸**              | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>  | -۰/۰۵ <sup>ns</sup> | ۰/۶۸**              | ۰/۴۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۵۸**              | -۰/۵۹**             | AB-DTPA              |  |
| -۰/۰۳ <sup>ns</sup> | -۰/۱۳ <sup>ns</sup> | ۰/۱۶ <sup>ns</sup>  | -۰/۰۸ <sup>ns</sup> | -۰/۲۵ <sup>ns</sup> | -۰/۲۲ <sup>ns</sup> | ۰/۳ <sup>ns</sup>   | -۰/۱۵ <sup>ns</sup> | -۰/۰۳ <sup>ns</sup> | ۰/۱ <sup>ns</sup>   | AC-EDTA              |  |
| -۰/۳۱ <sup>ns</sup> | -۰/۱۷ <sup>ns</sup> | -۰/۰۴ <sup>ns</sup> | -۰/۲۶ <sup>ns</sup> | -۰/۳۴ <sup>ns</sup> | -۰/۰۸ <sup>ns</sup> | -۰/۳۷ <sup>ns</sup> | -۰/۰۴ <sup>ns</sup> | -۰/۰۳ <sup>ns</sup> | ۰/۲ <sup>ns</sup>   | هیدروکسیل‌آمین       |  |
| -۰/۲۲ <sup>ns</sup> | ۰/۰۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۱ <sup>ns</sup>   | -۰/۰۶ <sup>ns</sup> | ۰/۰۱ <sup>ns</sup>  | ۰/۳ <sup>ns</sup>   | ۰/۱۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۷ <sup>ns</sup>  | -۰/۱۵ <sup>ns</sup> | اگزالات آمونیوم سریع |  |
| -۰/۱۱ <sup>ns</sup> | -۰/۱۶ <sup>ns</sup> | ۰/۰۴ <sup>ns</sup>  | -۰/۱۳ <sup>ns</sup> | -۰/۱۳ <sup>ns</sup> | ۰/۰۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۲ <sup>ns</sup>  | -۰/۱۵ <sup>ns</sup> | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>  | اگزالات آمونیوم مرجع |  |
| -۰/۱۶ <sup>ns</sup> | ۰/۴۴*               | ۰/۰۵ <sup>ns</sup>  | ۰/۶۴**              | ۰/۲۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۰۸ <sup>ns</sup>  | ۰/۵۷**              | ۰/۴۷*               | ۰/۶۴**              | -۰/۶۴**             | Fe-Phenanthroline    |  |
| -۰/۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۴۲ <sup>ns</sup>  | -۰/۱۴ <sup>ns</sup> | ۰/۳۹ <sup>ns</sup>  | -۰/۳۶ <sup>ns</sup> | -۰/۵۶**             | ۰/۳۸ <sup>ns</sup>  | -۰/۰۱ <sup>ns</sup> | ۰/۳۸ <sup>ns</sup>  | -۰/۱۷ <sup>ns</sup> | Fe-HCl               |  |
| -۰/۴ <sup>ns</sup>  | ۰/۵۱*               | -۰/۰۴ <sup>ns</sup> | ۰/۵۴*               | -۰/۰۱ <sup>ns</sup> | -۰/۰۸ <sup>ns</sup> | ۰/۴۶*               | ۰/۳ <sup>ns</sup>   | ۰/۵۱*               | -۰/۴۷*              | شاخص کلروفیل         |  |
| ۰/۰۶ <sup>ns</sup>  | ۰/۱۱ <sup>ns</sup>  | -۰/۰۶ <sup>ns</sup> | -۰/۰۷ <sup>ns</sup> | -۰/۱۷ <sup>ns</sup> | -۰/۳۹ <sup>ns</sup> | ۰/۱۵ <sup>ns</sup>  | -۰/۰۴ <sup>ns</sup> | ۰/۰۲ <sup>ns</sup>  | ۰/۲۱ <sup>ns</sup>  | آهن کل               |  |

ns غیر معنی‌دار \* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ \*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱

(Mansano sarto *et al*, 2011) و در خاک‌های شیبست گنیس یونان برای زیتون (Chatzistathis *et al*, 2014)، DTPA به‌عنوان عصاره‌گیر برتر معرفی شده است. آزمون خاک با روش AB-DTPA از لحاظ اقتصادی به صرفه است زیرا این عصاره‌گیر قادر است برخی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف را به صورت همزمان عصاره‌گیری کند (Havlin and Soltanpour, 1981). روش‌های عصاره‌گیری بسیاری در رابطه با عناصر کم‌مصرف به ویژه آهن در خاک‌های آهکی معرفی شده‌اند، که از بین این روش‌ها معمولاً بیشترین رقابت بین AB-DTPA و DTPA می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان تشکیل کمپلکس پایدار کیلیت DTPA با شکل‌های آهن محلول، تبدالی و همچنین آهنی که از کانی‌های فاز جامد آزاد می‌شود دانست (Samar *et al*, 2011). شکل‌های محلول، تبدالی و کمپلکس شده متعلق به اندوختگاه قابل جذب آهن برای گیاهان هستند (Joshi *et al*, 1983).

#### انتخاب بهترین عصاره‌گیر برای اندازه‌گیری غلظت آهن فعال گیاه ذرت

در خاک‌های مورد مطالعه بین غلظت آهن فعال شاخساره اندازه‌گیری شده با روش HCl و روش ارتوفانتروپین همبستگی خطی معنی‌داری وجود نداشت؛ ولی با حذف یک داده پرت (داده پرت مربوط به خاک شماره ۲۰ با Cooks Distance برابر ۱/۴۷) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ در ۲۰ خاک به وجود آمد (جدول ۹). بین آهن فعال اندازه‌گیری شده با HCl و همچنین ارتوفانتروپین با شاخص کلروفیل

#### انتخاب عصاره‌گیر برتر آهن قابل‌استفاده خاک

در این تحقیق از بین عصاره‌گیرهای مورد استفاده، AB-DTPA و DTPA بیشترین همبستگی را با شاخص‌های گیاهی داشتند (جدول ۸). دلیل برتر بودن عصاره‌گیرهای AB-DTPA و DTPA نسبت به دیگر عصاره‌گیرها شاید مربوط به سازوکار عصاره‌گیری و همچنین عصاره‌گیری شکل‌های متفاوت آهن توسط این عصاره‌گیرها باشد. آهن عصاره‌گیری شده با DTPA شامل آهن محلول، تبدالی، پیوسته به کربنات‌ها، پیوند یافته با مواد آلی و بخشی از آهن موجود در ساختمان کانی‌ها است (Lindsay and Norvell, 1978)، در حالی که آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات آمونیوم سریع و اگزالات آمونیوم مرجع غالباً مربوط به اکسیدهای آهن بلورین ناقص یا بی‌شکل (اکسیدهای آهن فعال) است (Schwretmann, 1964, 1973). از بین دو عصاره‌گیر AB-DTPA و DTPA بیشترین همبستگی مربوط به AB-DTPA بود. از طرف دیگر به دلیل صرفه اقتصادی، آسانی و سرعت کار و همچنین عصاره‌گیری همزمان چندین عنصر، AB-DTPA به‌عنوان عصاره‌گیر برتر این تحقیق معرفی می‌شود. این نتیجه با نتایج به دست آمده در خاک‌های آهکی عربستان برای سورگوم (Al-Mustafa *et al*, 2001) و خاک‌های قهوه‌ای جنگلی استان ادرینه ترکیه (Adiloglu, 2006, 2002)، خاک‌های استان گلستان (Emami and Dordipour, 2012) مطابقت دارد. از طرف دیگر در خاک‌های آهکی هند برای ذرت (Singh *et al*, 1977)، در اروپای مرکزی برای چغندر قند (Gembarzewski, 1995)، در خاک‌های پارانای برزیل برای گندم و لوبیا

برگ‌ها در سطح احتمال ۰/۰۱ درصد همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده شد. البته این همبستگی برای آهن اندازه‌گیری شده با ارتوفنانتروپین بهتر از روش HCl بود. آهن کل شاخساره تنها با آهن فعال اندازه‌گیری شده با HCl ( $r=0/45^*$ ) همبستگی داشت. درحالی که Erdal *et al* (2008) در درختان سیب همبستگی مثبت معنی‌داری بین میزان آهن کل شاخساره و شاخص کلروفیل گزارش کردند. با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود که آهن قابل‌استفاده خاک عصاره‌گیری شده توسط AB-DTPA با غلظت آهن فعال ذرت اندازه‌گیری شده با ارتوفنانتروپین و HCl (به ترتیب  $0/7^{**}$  و  $0/56^{**}$ ) ( $r=0/54^*$ ) و همچنین آهن قابل‌استفاده عصاره‌گیری شده با روش DTPA با آهن فعال ذرت اندازه‌گیری شده با روش ارتوفنانتروپین و HCl ( $r=0/55^{**}$ ) و با آهن فعال ذرت عصاره‌گیری شده با HCl ( $r=0/54^*$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. با توجه به نتایج حاصله می‌توان آهن فعال ذرت را با هر دو روش ارتوفنانتروپین و HCl یک نرمال اندازه‌گرفت ولی روشن است با توجه به ضرایب همبستگی خطی بدست آمده روش ارتوفنانتروپین مناسب‌تر از روش HCl است. این نتایج با نتایج

Neaman and Aguirre (2007) در درختان آواکادو در خاک‌های آهک خورده شیلی، Katyal and Sharma (1980) در برنج، Koteswar *et al* (1980) در بادام زمینی مطابقت داشت. آهن کل شاخساره به دلیل عدم همبستگی با عصاره‌گیرهای مناسب آهن در خاک و گیاه و همچنین ویژگی‌های خاک نمی‌تواند معیار مناسبی از حالت تغذیه‌ای گیاه باشد. Katyal and Sharma در تحلیل نتایج خود برای مناسب بودن عصاره‌گیر آهن دو ظرفیتی یعنی ارتوفنانتروپین به بالاتر بودن ثابت پایداری کمپلکس ایجاد شده اشاره کرده‌اند و Neaman and Aguirre گزارش کردند که HCl بر خلاف ارتوفنانتروپین هر دو شکل آهن ( $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$ ) را عصاره‌گیری می‌کند؛ بنابراین، نمی‌تواند عصاره‌گیر مناسبی برای آهن (II) باشد. از طرفی دیگر Sönmez and Kaplan (2005) آهن عصاره‌گیری شده با HCl یک نرمال را بهتر از روش ارتوفنانتروپین و دیگر روش‌ها گزارش کردند. Sönmez and Kaplan (2005) HCl را به دلیل داشتن همبستگی بالا با شاخص کلروفیل برگ‌ها و فعالیت آنزیم پراکسیداز و همچنین آسان بودن روش عصاره‌گیری مناسب دانستند.

جدول ۸- همبستگی خطی (r) آهن عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای مختلف و برخی شاخص‌های رشد ذرت

| شاخص‌های رشد عصاره‌گیر | وزن خشک شاخساره    | وزن تر شاخساره     | وزن خشک ریشه        | وزن تر ریشه         | آهن جذب شده به وسیله ذرت | آهن عصاره‌گیری شده با HCl | آهن عصاره‌گیری شده با ارتوفنانتروپین | شاخص کلروفیل       | آهن کل شاخساره      | آهن کل ریشه        |
|------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
|                        |                    |                    |                     |                     |                          |                           |                                      |                    |                     |                    |
| DTPA                   | 0/6**              | 0/53*              | 0/66**              | 0/59**              | 0/71**                   | 0/54*                     | 0/55**                               | 0/81**             | 0/28 <sup>ns</sup>  | 0/25 <sup>ns</sup> |
| AB-DTPA                | 0/72**             | 0/67**             | 0/66**              | 0/61**              | 0/75**                   | 0/56**                    | 0/7**                                | 0/84**             | 0/2 <sup>ns</sup>   | 0/24 <sup>ns</sup> |
| AC-EDTA                | 0/32 <sup>ns</sup> | 0/11 <sup>ns</sup> | 0/29 <sup>ns</sup>  | 0/24 <sup>ns</sup>  | 0/33 <sup>ns</sup>       | 0/46*                     | 0/17 <sup>ns</sup>                   | 0/48*              | 0/12 <sup>ns</sup>  | 0/28 <sup>ns</sup> |
| هیدروکسیل              | 0/08 <sup>ns</sup> | 0/06 <sup>ns</sup> | -0/08 <sup>ns</sup> | -0/11 <sup>ns</sup> | 0/09 <sup>ns</sup>       | -0/06 <sup>ns</sup>       | -0/01 <sup>ns</sup>                  | 0/21 <sup>ns</sup> | -0/05 <sup>ns</sup> | 0/3 <sup>ns</sup>  |
| اگزالات آمونیوم سریع   | 0/43 <sup>ns</sup> | 0/26 <sup>ns</sup> | 0/41 <sup>ns</sup>  | 0/35 <sup>ns</sup>  | 0/31 <sup>ns</sup>       | 0/35 <sup>ns</sup>        | 0/35 <sup>ns</sup>                   | 0/72**             | 0/3 <sup>ns</sup>   | 0/4 <sup>ns</sup>  |
| اگزالات آمونیوم مرجع   | 0/24 <sup>ns</sup> | 0/13 <sup>ns</sup> | 0/16 <sup>ns</sup>  | 0/18 <sup>ns</sup>  | 0/32 <sup>ns</sup>       | -0/07 <sup>ns</sup>       | 0/22 <sup>ns</sup>                   | 0/48*              | 0/11 <sup>ns</sup>  | 0/3 <sup>ns</sup>  |

ns غیر معنی‌دار \* معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 \*\* معنی‌داری در سطح احتمال 0/01

جدول ۹- همبستگی خطی بین شاخص کلروفیل متر، غلظت آهن کل و غلظت آهن فعال

| شاخص‌های رشد                         | شاخص کلروفیل       | آهن عصاره‌گیری شده با ارتوفنانتروپین | آهن عصاره‌گیری شده با HCl | آهن کل |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------|
| شاخص کلروفیل                         | ۱                  |                                      |                           |        |
| آهن عصاره‌گیری شده با ارتوفنانتروپین | 0/61**             | ۱                                    |                           |        |
| آهن عصاره‌گیری شده با HCl            | 0/58**             | 0/66**                               | ۱                         |        |
| آهن کل                               | 0/17 <sup>ns</sup> | 0/16 <sup>ns</sup>                   | 0/45*                     | ۱      |

ns غیر معنی‌دار \* معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 \*\* معنی‌داری در سطح احتمال 0/01



همبستگی بیش‌تر با شاخص‌های رشد گیاه ذرت و آهن قابل‌استفاده عصاره‌گیری با DTPA و AB-DTPA در خاک‌های مورد مطالعه برتر شناخته شد. در این پژوهش شاخص کلروفیل برگ‌ها با غلظت آهن فعال همبستگی نزدیکی داشته و می‌توان از این شاخص برای تخمین غلظت آهن فعال گیاه هم استفاده کرد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از معاون محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به دلیل تأمین هزینه تحقیق سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از کلیه داوران این مقاله صمیمانه تشکر می‌کنیم.

### REFERENCES

- Abadia, J., Millan, E., Montanes, L. and Heras, L. (1980). DTPA and  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ -DTPA extractable Fe, Mn and Zn levels in the Ebro Valley. *Anales de la Estacion Experimental de Aula Dei*, 15(1-2): 181-193.
- Abadia, J., Monge, E., Montañés, L., and Heras, L. (1984). Extraction of iron from plant leaves by Fe (II) chelators. *Journal of Plant Nutrition*, 7(1-5): 777-784.
- 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.
- Adiloglu, A. (2006). Determination of suitable chemical extraction methods for the available iron content of brown forest soils in Turkey. *Eurasian Soil Science*, 39(9): 961-967.
- 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. from <http://www.maj.ir>.
- Allison, L. E. and Moodie, C. D. (1965). Carbonate. Pp. 1379-1396. In: Black CA (Ed), *Methods of Soil Analysis*. Part2. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 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.
- Ammari, T. G. (2005). *Total soluble iron in the soil solution of physically, chemically and biologically different soils*. Ph.D. Institute of Plant Nutrition, Justus-Liebig University, Giessen, Germany.
- Baissa, T., Suwanarit, A., Ososapar, Y. and Sarobol, E. (2007). Status of Mn, Fe, Cu, Zn, B and Mo in Rift valley soils of Ethiopia: Laboratory Assessment. *Kasetsart Journal: Natural Science*, 41(1): 84-95.
- Barani Motlagh, M. and Towfighi, H. (2010). Comparison of kinetic equations to describe the release of iron from some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 1(40): 43-50. (In Fasi)
- Bawer, C. A., Reitemeier, R. F. and Fireman, M. (1952). Exchangable cation analysis of saline and alkali soil. *Soil Science*, 73:251-261.
- Benitez, M., Pedrajas, V., Del Campillo, M. and Torrent, J. (2002). Iron chlorosis in olive in relation to soil properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(1): 47-52.
- Jones, B. J. Jr. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*, (1th ed.). New York: CRC press.
- Celik, H. and Katkat, A. V. (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(3): 290-300.
- Chatzistathis, T., Alifragis, D., Therios I. and Dimassi, K. (2014). Comparison of three micronutrient soil-test extractants in three Greek soil types. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(3): 381-391.
- Chaudhry, M. (1983). Relationship of soil iron removed by four extractants to iron uptake by oat plants and to some soil properties. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 4(3): 153-160.
- Chen, Y. and Barak, P. (1982). Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Advance in Agronomy*, 35 (628): 217-240.
- De Santiago, A. and Delgado, A. (2006). Predicting iron chlorosis of lupin in calcareous Spanish soils from iron extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 70(6): 1945-1950.
- De Santiago, A., Díaz, I., del Campillo, M. d. C., Torrent J. and Delgado A. (2008). Predicting the incidence of iron deficiency chlorosis from

### نتیجه‌گیری کلی

در شرایط این آزمایش آهن قابل‌استفاده گیاه در خاک‌ها اندازه‌گیری شده به روش‌های DTPA ( Lindsay and Norvell, ) و AB-DTPA (Soltpour and Schwab, 1977) (1978) بیشترین ضریب همبستگی را با شاخص‌های رشد ذرت داشت. البته روش AB-DTPA به‌دلیل ضریب همبستگی بیش‌تر نسبت به DTPA، صرفه اقتصادی، آسانی و سرعت کار و همچنین عصاره‌گیری همزمان چندین عنصر به‌عنوان عصاره‌گیر برتر معرفی شد. از طرف دیگر روش ارتوفنانتروپین ۱/۵٪ و HCl یک نرمال هر دو برای اندازه‌گیری آهن فعال ذرت مناسب بودند، اما روش ارتوفنانتروپین نسبت به روش HCl به‌دلیل ضریب

- hydroxylamine-extractable iron in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 72(5): 1493-1499.
- Del Campillo, M. and Torrent, J. (1992). A rapid acid-oxalate extraction procedure for the determination of active Fe-oxide forms in calcareous soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155(5): 437-440.
- Derek, R. and Phillips, J. P. (1987). Rapid assay for microbially reducible ferric iron in aquatic sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 53 (7): 1536-1540.
- Drouineau, G. (1942). Dosage rapide du calcaire actif du sol: Nouvelles données sur la séparation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agronomy*, 12: 441-450.
- Emami, M and Dordipour, E. (2012). Selection of suitable extractant to extract available iron in peach in soils of Golestan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable*, 2(2): 89-103. (In Farsi).
- Erdal, I., Atilla Askin, M. Kucukyumuk, Z. Yildirim, F and Yildirim, A. (2008). Rootstock has an important role on iron nutrition of apple trees. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4: 173-177.
- Fageria, N. K. (2010). *The use of nutrients in crop plants* (1th ed.). New York: CRC Press.
- Gee, GW. and Bauder, JW. (1986). Particle size analysis. Pp. 201-214. In Jacob HD and Clarke Topp G (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Geiger, S. C. and Loeppert, R. H. (1986). Correlation of DTPA extractable Fe with indigenous soil properties of selected calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 9: 229-240.
- Gembarzewski, H. (1995). Selection of the soil Fe test most reliable in central Europe. *Iron Nutrition in Soils and Plants, Springer*: 15-18.
- Havlin, J., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers*, (6th Ed.) *Soil Science Society of America*. Madison, Wisc.
- Havlin, J. L. and Soltanpour, P. N. (1981). Evaluation of the  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ -DTPA soil test for iron and zinc. *Soil Science Society of America Journal*, 45(1): 70-75.
- Henry, G. T. 2009. Plant analysis sampling procedures and micronutrient characteristics with emphasis on vegetable crops. *Horticulture Department*. (515): 294-2751.
- Hochmuth, G. (2011 August). *Iron (Fe) nutrition of plants*. Reviewed October 2014. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL 32611. from <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Joshi, D. C., Dhir, R. P. and Gupta, B. S. (1983). Influence of soil parameters on DTPA extractable micronutrients in arid soils. *Plant and Soil*. 72: 31-38.
- Kalra, Y. (1997). *Handbook of reference methods for plant analysis*, (1 the d.). New York: CRC Press.
- Kapur, D., Sharma S. and Agarwal, KN. (2003). Effectiveness of nutrition education, iron supplementation or both on iron status in children. *Indian Pediatrics*, 40 (12): 1131-1144.
- Katyal, J. C and Sharma, B. D. (1980). A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. *Plant and Soil*, 55: 105-119.
- Koteshwar, R. J., Sahrawat, K. L. and Burford, J. R. (1982). Diagnosis of iron deficiency in groundnut, plant nutrition, Proceedings of the 9th International Plant Nutrition Colloquium, England, Warwick Univ., 527.
- Lindsay, W. and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42(3): 421-428.
- Lindsay, W. L. and Schwab, A. P. (1982). The chemistry of iron in soils and its availability to plants. *Journal of Plant Nutrition*, 5(4-7): 821-840.
- Loop E. and Finck, A. (1984). Total iron as a useful index of the Fe-status of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 7(1): 69-79.
- Mahashabde, J. P. and Patel, S. (2012). DTPA-Extractable micronutrients and fertility status of soil in Shirpur Tahasil region. *International Journal of ChemTech Research*, 4 (4): 1681-1685.
- Mansano sarto, M. V., Steiner, F. and Carmo Lana, M. D. (2011). Assessment of micromutrient extractants from soil of Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6): 2093-2103.
- Marschner, H. and Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, (3th ed.). Australia: Academic press.
- Mengel, K. (1994). Iron availability in plants tissues-Iron chlorosis on calcareous soils. *Plant and Soil*, 165:275-283.
- Morris, D., Loeppert, R. and Moore, T. (1990). Indigenous soil factors influencing iron chlorosis of soybean in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal*. 54(5): 1329-1336.
- Narteh, L. and Sahrawat, K. (1999). Oxalate and EDTA extractable soil phosphorus and iron in relation to P availability in lowland rice soils of West Africa. *Ghana Journal of Agricultural Science*, 32(2): 189-198.
- Neaman, A. and Aguirre, L. (2007). Comparison of different methods for diagnosis of iron deficiency in avocado. *Journal of Plant Nutrition*, 30(7): 10.1108-97.
- Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic Chemical methods. Sparks, D. L., 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. pp: 961-1010.
- Oserkowsky, J. (1933). Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. *Plant Physiology*. 8(3): 449.
- Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of*

- saline and alkaline soils. USDA Handbook*, no. 60, U. S. Government printing office: Washington, Dc, 84.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 417–436. In D.L. Sparks. *Methods of Soil Analysis, Part 3- Chemical Methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Samar, S. M., Samawat, S., Taday'oun M. S., Rezaei, H., Tehrani, M. M., Ardakani, M. S., Besharati, H. And Falah, A. R. . 2011. *Iron in soils and plants*. Soil and Water Research Institute, Agricultural Education publication. (In Farsi).
- Schwertmann, U. (1964). Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 105(3): 194-202.
- Schwertmann, U. (1973). Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 53(2): 244-246.
- Shahbazi, K. and Besharati, H. (2013). Overview The agricultural soils fertility status of Iran. *Journal Land Management*, 1, (1): 1-17. (In Farsi).
- Shahandeh, H., Hossner, L. and Turner, F. (1994). A comparison of extraction methods for evaluating Fe and P in flooded rice soils. *Plant and Soil*, 165(2): 219-225.
- Singh CP., Prasad, RN., Sinba, H. and Kanke, B. (1977). Evaluation of different extractants for the determination of available copper, manganese, and iron in calcareous soils. *Beitrag Trop Landwirtsch Veterinarmed*, 15: 69-72.
- 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.
- Sönmez, S. and Kaplan, M. (2005). Comparison of various analysis methods for determination of iron chlorosis in apple trees. *Journal of plant nutrition*, 27(11): 2007-2018.
- Trierweiler, J. F. and Lindsay, W. L. (1969). EDTA-ammonium carbonate soil test for zine1. *Soil Science Society of America Journal*, 33(1): 49-54.
- Tening, A. S. and Omueti, J. A. (2011). Suitability of extractants for predicting iron in soils of the humid zone of South-Western Nigeria. *Agriculture & Biology Journal of North America*, 2(8): 1244-1250.
- Vijayakumar, R., Arokiaraj A. and Martin Deva Prasath, P. (2011). Micronutrients status and their relation to soil characteristics of south- east Coastal soils of INDIA. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 147-150.
- Yip, R. and Dallman, P. R. (1996). Iron, In E. E. Ziegler and L. J. Filer, Jr. (eds.), *Present Knowledge in Nutrition, 7th edition*, International Life Sciences Institute, Washington, D. C., USA, pp. 67-86.