

تعیین عصاره‌گیر مناسب و حد بحرانی فسفر برای سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Var. Speedfeed) در خاک‌های آهکی منطقه بیرجند

بصیر عطاردی^۱ و مهدی نادری خوراسگانی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۳/۱۰)

چکیده

سورگوم مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای در منطقه بیرجند است لذا فسفر قابل جذب این گیاه مورد بررسی قرار گرفت. هشتاد نمونه خاک از نقاط مختلف منطقه تجزیه و از بین آنها ۲۴ نمونه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی متفاوت انتخاب شدند. پنج عصاره‌گیر شامل (۱) بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال (pH= ۸/۵) و مدت هم زدن ۳۰ دقیقه (روش اولسن)، (۲) بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال (pH= ۸/۵) و مدت هم زدن ۱۶ ساعت (روش کالول)، (۳) Na₂-EDTA ۰/۰۰۲۵ نرمال (pH= ۷) (روش EDTA)، (۴) بیکربنات آمونیم یک مولار و DTPA ۰/۰۰۵ مولار (۷/۶) (روش سلطان‌پور و شواب) و (۵) آب مقطر (روش پاو) برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب استفاده شدند. آزمایش گلخانه‌ای با دو تیمار صفر و ۹۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که کلیه عصاره‌گیرهای فوق برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب سورگوم قابل استفاده‌اند ولی از میان آنها روش‌های اولسن و پاو مناسب‌ترند. حد بحرانی فسفر قابل جذب گیاه سورگوم برای پنج عصاره‌گیر فوق به ترتیب برابر ۱۷، ۲۴، ۱۴، ۷ و ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. آزمون رگرسیون گام به گام نشان داد که واکنش خاک، میزان کربن آلی و درصد رس بر میزان فسفر قابل جذب خاک مؤثرند.

واژه‌های کلیدی: آزمون خاک، سورگوم، حد بحرانی، عصاره‌گیر فسفر، خصوصیات خاک، جذب فسفر

مقدمه

آهکی با اضافه شدن کودهای فسفوره فسفات‌های کلسیم تشکیل می‌شود که با گذشت زمان نیز به فرم‌های نامحلول تبدیل می‌گردد که به این فرآیند اصطلاحاً تثبیت فسفر گفته می‌شود (۲۹). آزمون خاک (Soil testing) یکی از روش‌های ارزیابی حاصل‌خیزی خاک است که طی سه مرحله انجام می‌گردد (۱۰).

قابلیت جذب فسفر، تابع عوامل بسیاری است. در خاک‌های اسیدی این عنصر به صورت فسفات‌های آهن و آلومینیم و در خاک‌های خنثی و آهکی به صورت فسفات‌های کلسیم رسوب می‌کند. به علت وجود کلسیم با فعالیت زیاد در خاک‌های

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان

جنوبی، بیرجند

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: naderi@agr.sku.ac.ir

مرحله اول که نمونه برداری (Sampling) است از منطقه جغرافیایی مورد نظر تعداد قابل توجهی نمونه تا عمق ریشه گیاه مورد مطالعه برداشت می شود و بخشی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن نمونه ها تعیین می گردد. در مرحله بعدی با انجام کشت گلدانی و آزمون هم بستگی (Correlation) عصاره گیر مناسب تعیین می شود و نهایتاً با انجام واسنجی (Calibration) سطح بحرانی (Critical level) عنصر مورد نظر در خاک تعیین می شود. این حد به نوع خاک و نوع گیاه بستگی دارد و ممکن است در شرایط مختلف خاک حتی برای یک گیاه متفاوت باشد.

استفاده از بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال در $\text{pH} = ۸/۵$ اولین بار توسط اولسن و همکاران برای عصاره گیری فسفر از خاک های آهکی پیشنهاد شد (۲۰). احمد و اسلام گزارش کردند که عصاره گیر EDTA به دلیل کلاته کردن آهن و آلومینیم در خاک های اسیدی و کلسیم و منیزیم در خاک های آهکی یک عصاره گیر مناسب است (۴). لابلستوار و سلطان پور حد بحرانی فسفر را برای گیاه یونجه به روش اولسن و EDTA-Na_2 مشخص کردند و ضریب هم بستگی ۰/۹ را بین فسفر جذب شده توسط گیاه و فسفر استخراج شده به وسیله EDTA-Na_2 گزارش نمودند. گزارش هایی نیز وجود دارد که نشان می دهد ضریب هم بستگی بین فسفر استخراج شده از خاک به روش اولسن و عملکرد گندم در خاک های آهکی سوریه نسبت به سایر عصاره گیرها پایین بوده است (۱۸). هالفورد فسفر ۳۰ نمونه خاک را که pH آنها بین ۵/۴ و ۸/۱ بود با چهار روش اولسن (Olson)، کالول (Colwell)، مهلیش (Mehlich) و بری (Bray) استخراج نمود. ضرایب هم بستگی بین فسفر استخراج شده از خاک به روش های اولسن و کالول و فسفر جذب شده توسط گیاه شبدر به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۷ و برای عملکرد این ضرایب به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۸۳ بودند. بومن و همکاران ضرایب هم بستگی ۰/۸۸ و ۰/۹۳ را بین فسفر جذب شده توسط سورگوم و فسفر استخراج شده با روش های اولسن و کالول در ایالت تگزاس گزارش نمودند. اونکن و همکاران

عصاره گیرهای EDTA و استات آمونیم را برای استخراج فسفر قابل جذب سورگوم در تگزاس مقایسه کردند و EDTA را به عنوان مناسب ترین عصاره گیر معرفی نمودند (۲۱). مالارینو و بلکمر ضرایب هم بستگی بین فسفر عصاره گیری شده از خاک های آهکی ایالت آیوا به روش های اولسن، بری و مهلیش را با عملکرد ذرت به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۷۹ و ۰/۷۱ گزارش نمودند و به روش گرافیکی کیت-نلسن (Cate-Nelson) حد بحرانی فسفر را برای سه عصاره گیر به ترتیب ۵، ۱۲ و ۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند (۱۷).

سلطان پور و شواب استفاده از بیکربنات آمونیم یک مولار و DTPA با غلظت ۰/۰۰۵ مولار (در $\text{pH} = ۷/۶$) را برای عصاره گیری هم زمان نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر میکرو پیشنهاد کردند (۲۷). این عصاره گیر برای خاک های ایالت کلرادو توسط لابلستوار و سلطان پور به کار رفت و این محققین ضریب هم بستگی ۰/۹۷ را بین فسفر استخراجی از خاک و جذب شده توسط گیاه یونجه گزارش نمودند (۱۴). آتیا و مالارینو فسفر نمونه های خاک ایالت آیوا را که pH آنها بین ۴/۵ و ۶/۲ بودند به روش های اولسن و آب عصاره گیری نمودند و به ترتیب ضرایب ۰/۴۷ و ۰/۱۸ را بین فسفر عصاره گیری شده از خاک و فسفر جذب شده توسط گیاه گزارش کردند (۵). کاشینات و همکاران از بین عصاره گیرهایی مانند اولسن، مورگان (Morgan)، بری و سلطان پور در غرب هند بیشترین ضریب هم بستگی را بین فسفر استخراج شده به روش اولسن و جذب شده توسط گیاه گندم گزارش کردند (۱۳). زامیونر و همکاران در مطالعه شکل های مختلف فسفر معدنی و آلی بخش هایی از آرژانتین گزارش کردند که قابلیت جذب فسفر اساساً توسط فسفر آلی کنترل می شود که بخش مهمی از فسفر کل خاک ها را تشکیل می دهد (۳۵). شاهین و همکاران فسفر قابل جذب انتی سولزها (Entisols) و اریدیسولزهای (Aridisols) کشور مصر را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که فسفر عصاره گیری شده به روش اولسن با کلیه اشکال معدنی فسفر هم بستگی معنی داری

را نشان می‌دهد و قابلیت جذب فسفر را می‌توان با عصاره‌گیری خاک‌ها به روش اولسن اندازه‌گیری کرد (۲۶).

با توجه به این که در مورد فسفر قابل جذب گیاه سورگوم در استان خراسان جنوبی تحقیق منتشر شده‌ای وجود ندارد و سورگوم از جمله گیاهان عمده علوفه‌ای این منطقه خشک است این تحقیق به منظور آزمون خاک برای این گیاه، تعیین محلول عصاره‌گیر مناسب و مشخص کردن سطح بحرانی فسفر برای سورگوم انجام گرفت. هم‌چنین به منظور مدیریت بهتر زراعت این محصول تأثیر بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها بر فسفر قابل جذب این گیاه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در شهرستان بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی انجام شد. سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Var. Speedfeed) از گیاهان عمده علوفه‌ای این استان است که در تناوب زراعی قرار می‌گیرد. برای انجام آزمایش خاک ۸۰ نقطه با توجه به نقشه‌های خاک‌شناسی و توپوگرافی منطقه مشخص شد و نمونه‌های مرکبی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک‌های زراعی برداشت و به آزمایشگاه حمل گردید. نمونه‌های خاک پس از کوبیدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین شد. بافت خاک به روش هیدرومتری، pH در گل اشباع، هدایت الکتریکی در عصاره‌گل اشباع، درصد مواد خنثی شونده (آهک) به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (۲۳) و کربن آلی به روش والکلی - بلاک (Walkly-Black) اندازه‌گیری شدند (۳۱).

با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها ۲۴ نمونه متنوع از بین ۸۰ نمونه خاک انتخاب شدند و برای آزمایش گلخانه‌ای بررسی شدند. آزمایش با استفاده از گلدان‌های ۳ کیلوگرمی طرح آزمایشی با دو تیمار صفر و ۹۰ میلی‌گرم فسفر (از ترکیب سوپرفسفات تریپل) در کیلوگرم خاک به صورت طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار به اجرا درآمد. نیتروژن (به فرم اوره به میزان ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

خاک در سه نوبت هنگام کاشت و دو نوبت پس از سبز شدن به صورت سرک داده شد)، پتاسیم (به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) هنگام کاشت به خاک اضافه شد. عناصر میکرو (آهن به فرم سکوسترین آهن ۱۳۸، روی به صورت سولفات روی و منگنز به فرم سولفات منگنز به ترتیب به میزان ۱۰، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بر اساس توصیه‌های مرکز تحقیقات کشاورزی استان خراسان رضوی هنگام کاشت به گلدان‌ها داده شدند. در هر گلدان ۶ عدد بذر سورگوم کشت گردید و پس از دو هفته تعداد گیاهان از ۶ به ۲ عدد تنک شدند. آبیاری با آب مقطر انجام شد و سعی شد که رطوبت خاک در طول دوره آزمایش در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شود. پس از ۷ هفته در مرحله ظهور گل‌های ماده قسمت هوایی گیاهان برداشت شدند. پس از شستشو با آب مقطر با دستمال کاغذی آب آن گرفته شد. نمونه‌های آب گرفته به مدت ۴۸ ساعت در آون تهویه‌دار در حرارت 65°C خشک و وزن خشک آنها تعیین گردید. سپس نمونه‌ها آسیاب، مخلوط شده و از الک ۰/۵ میلی‌متری رد شدند. مقدار ۱ گرم پودر گیاهی از نمونه‌های هر گلدان برداشت و در کروزه‌های چینی و در کوره الکتریکی در حرارت 550°C تبدیل به خاکستر گردیدند. نمونه‌های گیاهی بر اساس روش گوپتا آماده و فسفر نمونه‌ها به روش رنگ سنجی در طول موج ۸۹۰ نانومتر به کمک اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (۱۱).

فسفر قابل استفاده ۲۴ نمونه خاک توسط پنج محلول عصاره‌گیر به شرح زیر تعیین گردید:

(۱) روش اولسن: به ۲/۵ گرم خاک ۵۰ میلی لیتر بیکربنات سدیم ۰/۵ نرمال با $\text{pH} = 8.5$ (نسبت خاک به عصاره‌گیر ۱:۲۰) اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه هم زدن از کاغذ صافی عبور داده شد و فسفر محلول اندازه‌گیری شد (۱۹ و ۳۰).

(۲) روش کالول: این روش شبیه روش اولسن است ولی زمان هم زدن نمونه‌ها ۱۶ ساعت است (۹).

(۳) روش EDTA: به ۲/۵ گرم خاک ۵۰ میلی لیتر محلول Na_2

د) t محاسبه شده با t جدول برای سطوح معنی دار ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مقایسه شدند.

برای تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه سورگوم از روش گرافیکی کیت- نلسن استفاده شد (۳). در این روش ابتدا درصد تولید یا عملکرد نسبی از نسبت تولید گیاهان شاهد (در سطح صفر عنصر غذایی) به میزان تولید با مصرف عنصر غذایی محاسبه می‌شود. سپس یک دستگاه مختصات تنظیم می‌شود که در آن میزان فسفر استخراج شده از خاک توسط هر عصاره‌گیر (در محور طول‌ها) در مقابل درصد عملکرد نسبی (محور عرض‌ها) قرار می‌گیرند و پراکنش نقاط در صفحه محورهای مختصات مورد بررسی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر دو محور مختصات (طول و عرض) عمود بر هم روی یک طلق ترسیم می‌گردد و طوری روی صفحه مختصات حرکت داده می‌شود که حداکثر نقاط در دو بخش مثبت (ربع شمال شرق و ربع جنوب غرب) قرار گیرند. در این حالت محور افقی ترسیم شده روی طلق موازی محور طول‌ها و محور عمودی روی طلق موازی محور عرض‌ها هستند و محل تلاقی امتداد خط عمودی روی طلق با محور طول‌ها سطح بحرانی عنصر فسفر در خاک را نشان می‌دهد. تجزیه‌های آماری به کمک نرم افزار SPSS 16.0 انجام شدند (۲۸).

نتایج و بحث

جدول ۱ تعدادی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و فسفر استخراج شده از نمونه خاک‌های تیمار نشده را نشان می‌دهد. بر این اساس کلیه نمونه‌های خاک غیرشور (با هدایت الکتریکی کمتر از ۲ dS/m در ۲۵°C) یا با شوری کم (هدایت الکتریکی کمتر از ۴ dS/m در ۲۵°C) هستند. میزان کربن آلی جز برای نمونه‌های شماره ۱۷، ۲۱، ۲۲ و ۲۴ که حدود ۱/۱-۱ درصد است برای بقیه نمونه‌ها زیر یک درصد می‌باشد. مواد خنثی شونده (کربنات کلسیم) خاک‌ها نیز بین ۱۱/۸ و ۱۹/۹ درصد متغیر می‌باشد بنابراین خاک‌ها آهکی هستند. واکنش خاک‌ها بین ۷/۸ و ۸/۵ است و جز برای نمونه خاک‌های

EDTA با غلظت ۰/۰۰۲۵ مولار با pH=۷ اضافه شد (نسبت خاک به عصاره‌گیر ۱:۲۰) و پس از ۳۰ دقیقه هم زدن محلول از کاغذ صافی عبور داده شد و میزان فسفر محلول اندازه‌گیری شد (۴).

۴) روش سلطان‌پور و شواب: به ۱۰ گرم خاک ۲۰۰ میلی لیتر بیکربنات آمونیم یک مولار و DTPA با غلظت ۰/۰۰۵ در pH=۷/۶ اضافه شد (نسبت خاک به عصاره‌گیر ۱:۲۰) و پس از ۱۵ دقیقه هم زدن از کاغذ صافی عبور داده شد و فسفر محلول در آن اندازه‌گیری شد (۲۷). در ادامه برای سادگی از این روش به نام روش سلطان‌پور نام‌برده می‌شود.

۵) روش پاو: به ۲/۵ گرم خاک ۱۵۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد (نسبت خاک به عصاره‌گیر ۱:۶) و پس از یک ساعت هم زدن از کاغذ صافی عبور داده شد و میزان فسفر محلول اندازه‌گیری شد (۲۲).

برای مقایسه‌های آماری اختلاف میانگین‌های عملکرد، جذب و غلظت فسفر (μ_d) در تیمارهای صفر (μ_1) و ۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک (μ_2) فرضیه صفر ($\mu_1 - \mu_2 = \mu_d = 0$) (Ho) به روش آزمون t جفت شده (Paired t-test) بررسی شدند (۲). مراحل انجام این آزمون عبارت‌اند از:
الف) برای هر نمونه اختلاف تکرارها (dj) محاسبه شدند و میانگین آنها محاسبه شد:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n dj}{n} \quad [1]$$

در این رابطه n تعداد جفت تکرار است که برابر ۳ می‌باشد.
ب) واریانس اختلاف‌ها از معادله ۲ محاسبه شد:

$$S_d^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (dj - \bar{d})^2}{n-1} \quad [2]$$

ج) شاخص آماری t از طریق معادله ۳ به دست آمد:

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{n}} \quad [3]$$

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۲۴ نمونه خاک‌های مورد استفاده و میزان فسفر استخراج شده از خاک‌ها

شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	میزان رس (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	کربن آلی (%)	هدایت الکتریکی (dS/m, 25°C)	pH	فسفر (به روش اولسن) (mg/kg soil)
۱	دولت آباد	۵/۶	۱۲/۲	۰/۷۶	۳/۲	۸/۲	۸/۸
۲	اصغریه	۱۰/۶	۱۹/۰	۰/۳۸	۲/۸	۸/۳	۴/۰
۳	ده میر	۸/۰	۱۱/۸	۰/۱۹	۲/۳	۸/۳	۴/۰
۴	محمدیه	۱۱/۰	۱۴/۱	۰/۴۰	۲/۵	۸/۴	۶/۴
۵	مود- حاجی آباد	۶/۶	۱۲/۹	۰/۳۰	۰/۹	۸/۳	۶/۰
۶	کلاته- بشکزی	۶/۶	۱۸/۱	۰/۲۱	۰/۹	۸/۱	۴/۸
۷	مرتضویه	۱۳/۰	۱۴/۷	۰/۷۲	۱/۶	۸/۳	۸/۸
۸	حاجی آباد	۶/۶	۱۴/۵	۰/۵۳	۲/۴	۸/۲	۵/۲
۹	امیرآباد	۱۱/۰	۱۴/۱	۰/۵۷	۳/۵	۸/۱	۸/۰
۱۰	تقی آباد	۱۶/۶	۱۶/۶	۰/۸۰	۲/۷	۸/۲	۸/۰
۱۱	سلم آباد	۷/۶	۱۵/۶	۰/۳۸	۲/۶	۸/۳	۳/۶
۱۲	دهنو	۱۰/۰	۱۹/۹	۰/۳۸	۱/۴	۸/۴	۸/۴
۱۳	محسن آباد	۸/۰	۱۱/۸	۰/۴۴	۲/۲	۸/۵	۱۳/۶
۱۴	چهکنند	۱۰/۰	۱۹/۱	۰/۴۷	۲/۹	۸/۳	۱۶/۸
۱۵	دستجرد	۲۶/۶	۱۲/۵	۰/۶۱	۱/۷	۸/۱	۱۲/۴
۱۶	گل	۱۲/۰	۱۴/۰	۰/۸۷	۰/۹	۸/۲	۱۶/۰
۱۷	اصغریه- گیو	۹/۰	۱۹/۷	۱/۰۲	۱/۹	۸/۳	۱۶/۵
۱۸	مود	۶/۶	۱۵/۲	۰/۹۳	۲/۳	۸/۳	۲۲/۴
۱۹	ایستگاه تحقیقات	۲۴/۰	۱۷/۰	۰/۵۷	۲/۴	۸/۰	۲۰/۴
۲۰	دولت آباد- تقی آباد	۱۲/۶	۱۴/۷	۰/۸۳	۲/۶	۸/۴	۲۳/۶
۲۱	گیوشاد	۲۲/۰	۱۴/۳	۱/۰۱	۱/۲	۸/۲	۲۰/۰
۲۲	گیو- اراضی بنیاد	۲۴/۰	۱۲/۳	۱/۰۴	۱/۳	۷/۹	۴۸/۴
۲۳	اکبرآباد	۲۱/۰	۱۳/۴	۰/۹۰	۱/۷	۸/۱	۵۰/۵
۲۴	دشت مختاران	۲۰/۰	۱۱/۵	۱/۱۰	۲/۱	۷/۸	۵۹/۰
میانگین		۱۲/۷۰	۱۴/۹۶	۰/۶۴	۲/۰۸	۸/۲۲	۱۶/۴۸
دامنه		۵/۶-۲۴/۰	۱۱/۵-۱۹/۷	۰/۱۹-۱/۰۱	۰/۹-۳/۵	۷/۸-۸/۴	۳/۶-۵۹

شماره ۲۲ و ۲۴ برای بقیه نمونه‌ها بالاتر از ۸ است.

نمونه‌های خاک دامنه گسترده‌ای از میزان فسفر (۳/۶-۵۹/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) را دارا هستند و میانگین فسفر نمونه‌های خاک برابر ۱۶/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (به

روش اولسن) است.

جدول ۲ متوسط میزان ماده خشک تولید شده در خاک‌های تیمار شده و تیمار نشده با فسفر و میزان عملکرد نسبی را نشان می‌دهد. اضافه شدن فسفر سبب معنی‌دار شدن اختلاف وزن

جدول ۲. میانگین ماده خشک گیاهان (گرم در گلدان) شاهد، تیمار شده، اختلاف عملکرد، عملکرد نسبی و فسفر
عصاره‌گیری شده از نمونه‌های خاک

شماره نمونه	ماده خشک (شاهد)	ماده خشک (تیمار شده)	عملکرد نسبی (%)	اختلاف عملکرد	فسفر (mg/kg soil) (به روش اولسن)
۱	۱/۵	۳/۷	۴۱/۱	۲/۲ ^{n.s.}	۸/۸
۲	۱/۱	۳/۴	۳۳/۳	۲/۳*	۴/۰
۳	۰/۲	۲/۵	۹/۱	۲/۳ ^{n.s.}	۴/۰
۴	۰/۶	۲/۸	۱۹/۹	۲/۲*	۶/۴
۵	۰/۸	۵/۵	۱۳/۷	۴/۷**	۶/۰
۶	۰/۵	۲/۷	۱۸/۱	۲/۲*	۴/۸
۷	۲/۰	۵/۰	۴۰/۵	۳/۰*	۸/۸
۸	۱/۷	۴/۲	۴۰/۷	۲/۵*	۵/۲
۹	۲/۴	۴/۳	۵۷/۳	۱/۹ ^{n.s.}	۸/۰
۱۰	۲/۳	۵/۰	۴۷/۱	۲/۷**	۸/۰
۱۱	۰/۳	۳/۹	۷/۵	۳/۶**	۳/۶
۱۲	۲/۱	۴/۸	۴۴/۰	۲/۷ ^{n.s.}	۸/۴
۱۳	۱/۸	۳/۳	۵۵/۱	۱/۵*	۱۳/۶
۱۴	۳/۵	۲/۳	۱۴۹/۸	-۱/۲ ^{n.s.}	۱۶/۸
۱۵	۲/۵	۴/۵	۵۵/۵	۲/۰ ^{n.s.}	۱۲/۴
۱۶	۴/۵	۶/۷	۶۷/۹	۲/۲ ^{n.s.}	۱۶/۰
۱۷	۴/۶	۵/۵	۸۳/۹	۰/۹ ^{n.s.}	۱۶/۵
۱۸	۳/۸	۵/۴	۷۱/۳	۱/۶ ^{n.s.}	۲۲/۴
۱۹	۳/۹	۳/۷	۱۰۵/۶	-۰/۲ ^{n.s.}	۲۰/۴
۲۰	۱/۵	۱/۳	۱۱۵/۹	-۰/۲ ^{n.s.}	۲۳/۶
۲۱	۴/۵	۴/۸	۹۲/۶	۰/۳ ^{n.s.}	۲۰/۰
۲۲	۳/۸	۴/۳	۸۹/۹	۰/۵ ^{n.s.}	۴۸/۴
۲۳	۳/۹	۴/۶	۸۴/۶	۰/۷ ^{n.s.}	۵۰/۵
۲۴	۴/۶	۳/۸	۱۱۸/۲	-۰/۸ ^{n.s.}	۵۹/۰

ns, * و **: به ترتیب معرف معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

نظر آماری معنی‌دار نیست (جدول ۲). احتمالاً همان‌طور که ماین و احمد نیز گزارش کرده‌اند میزان فسفر این نمونه‌های خاک به اندازه کافی بالا بوده است (۱۶). رودریگز و همکاران عملکرد نسبی ارزن در ایالت کلرادو را محاسبه و آن را به عنوان

ماده خشک نمونه‌های تیمار شده و تیمار نشده در ۹ نمونه از خاک‌ها در سطح آماری ۹۵ یا ۹۹ درصد شده است. در نمونه خاک‌ها با فسفر اولیه بیش از ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (اندازه‌گیری شده به روش اولسن) میزان افزایش ماده خشک از

روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر این اساس توانایی عصاره‌گیرها در استخراج فسفر قابل جذب متفاوت است. بررسی میانگین مقادیر فسفر عصاره‌گیری نشان می‌دهد که بیشترین میزان فسفر به روش کالول و کمترین میزان فسفر از خاک به روش پاو یا آب از خاک خارج شده است:

کالول < اولسن < Na₂-EDTA < سلطان‌پور < آب بوومن و همکاران (۱۹۷۸) گزارش کردند که وجود شکل‌های مختلف فسفر در خاک با انحلال‌پذیری متفاوت سبب اختلاف میزان فسفر اندازه‌گیری شده توسط عصاره‌گیرهای متفاوت می‌شود. نسبت‌های مختلف خاک به آب و مدت زمان هم زدن نیز می‌تواند عامل این تفاوت‌ها باشد. برای مثال اختلاف روش‌های اولسن و کالول صرفاً در مدت زمان هم زدن می‌باشد که چنین اختلاف فاحشی را در میزان فسفر عصاره‌گیری سبب شده است. بوومن و همکاران (۶) و یرکان و کریستن‌سن نیز بر این موضوع تأکید کرده‌اند.

برای تعیین عصاره‌گیر مناسب از آزمون هم‌بستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده از خاک توسط عصاره‌گیرها با عملکرد (یا ماده خشک گیاهی)، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاه و یا میزان فسفر جذب شده توسط گیاهان استفاده می‌شود (۱۰). جدول ۵ نتایج آزمون هم‌بستگی بین فسفر استخراج شده از خاک توسط عصاره‌گیرهای مختلف را با میزان ماده خشک گیاهی، غلظت فسفر در اندام‌های هوایی گیاهان و میزان جذب فسفر توسط گیاهان نشان می‌دهد.

کلیه ضرایب هم‌بستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشند و پنج عصاره‌گیر مورد آزمون برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب گیاه سورگوم قابل استفاده هستند (جدول ۵). برننان و گارتل گزارش نمودند که هم‌بستگی بین عنصر استخراج شده با میزان عملکرد گیاه و میزان عنصر جذب شده توسط گیاه بیش از غلظت عنصر در بافت‌های گیاهی برای تعیین عصاره‌گیر معتبر است (۷). بر این اساس به نظر می‌رسد که روش‌های پیشنهادی پاو و اولسن بر دیگر روش‌های مورد آزمون ارجح‌اند.

شاخصی از میزان فسفر قابل جذب گیاه معرفی نمودند (۲۴). این محققین گزارش کردند که خاک‌های با عملکرد نسبی کمتر از ۵۰ درصد، بین ۵۰ و ۷۵ درصد، بین ۷۵ و ۱۰۰ درصد و ۱۰۰ درصد به ترتیب دارای فسفر قابل جذب خیلی کم، کم، متوسط و زیاد بودند. بر این اساس در حدود ۶۷ درصد نمونه‌ها دارای فسفر قابل جذب کم و خیلی کم و ۱۷ درصد نمونه‌ها دارای فسفر قابل جذب متوسط و ۱۷ درصد نمونه‌ها دارای فسفر قابل جذب زیاد هستند.

تأثیر افزودن فسفر بر غلظت این عنصر در اندام‌های گیاهی در جدول ۳ نشان داده شده است. عموماً گیاهانی که در خاک‌ها با فسفر قابل جذب پایین کشت شده‌اند با افزودن فسفر به آنها غلظت فسفر آنها افزایش یافته است و گیاهانی که غلظت فسفر در خاک آنها زیاد بوده، افزایش غلظت فسفر تغییر چندانی را نشان نمی‌دهند. برای مثال غلظت فسفر در گیاهان تیمار شده در نمونه خاک‌های شماره ۵ و ۸ با فسفر کم تقریباً دو برابر غلظت فسفر گیاهان شاهد همین نمونه خاک‌هاست. این موضوع توسط ضیا و همکاران نیز گزارش شده است (۳۴).

بررسی میزان فسفر جذب شده توسط گیاهان نشان می‌دهد که با افزودن کود فسفوره به خاک‌ها میزان جذب توسط گیاهان نیز افزوده می‌شود بطوریکه میانگین جذب فسفر گیاهان تیمار شده با فسفر تقریباً دو برابر گیاهان تیمار نشده است (جدول ۳). افزایش جذب در خاک‌هایی که فسفر اولیه آنها کمتر از ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به روش اولسن است مشهودتر است. برای مثال در نمونه خاک شماره ۲۰ با فسفر اولیه ۲۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به روش اولسن اختلاف میانگین فسفر جذب شده بین گیاهان شاهد و تیمار شده ۰/۰۴ میلی‌گرم در گلدان می‌باشد در حالی که نمونه خاک شماره ۱۱ با ۳/۶ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک اختلاف میانگین میزان فسفر جذب شده گیاهان تیمار شده و شاهد ۴/۵ میلی‌گرم در گلدان است.

جدول ۴ میزان فسفر عصاره‌گیری شده از خاک‌ها به

جدول ۳. میانگین غلظت (%) و فسفر جذب شده در گیاهان شاهد و تیمار شده (میلی گرم در گلدان) با فسفر

شماره نمونه	غلظت فسفر در نمونه‌های شاهد	غلظت فسفر در نمونه‌های تیمار شده	اختلاف غلظت	جذب فسفر در نمونه‌های شاهد	جذب فسفر در نمونه‌های تیمار شده	اختلاف جذب
۱	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۰۹**	۲/۱۰	۸/۵۱	۶/۴۱**
۲	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۰۴ ^{n.s.}	۱/۷۶	۶/۸۰	۵/۰۴**
۳	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۵**	۰/۱۰	۲/۵۰	۲/۴۶**
۴	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۰۸*	۰/۷۲	۵/۶۰	۴/۸۸**
۵	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۰۶**	۰/۸۰	۸/۶۲	۷/۸۲**
۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۲ ^{n.s.}	۰/۳۰	۲/۲۵	۱/۹۵**
۷	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۰۳ ^{n.s.}	۳/۶۰	۱۰/۶۰	۷/۰۰**
۸	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۳*	۱/۳۶	۸/۸۲	۵/۰۹**
۹	۰/۱۷	۰/۱۶	-۰/۰۱ ^{n.s.}	۴/۰۰	۷/۰۲	۳/۰۲*
۱۰	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۰۴ ^{n.s.}	۳/۹۱	۱۰/۵۰	۶/۵۹*
۱۱	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۶**	۰/۱۸	۴/۶۸	۴/۵۰**
۱۲	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۰۳ ^{n.s.}	۳/۵۷	۹/۶۰	۶/۰۳**
۱۳	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۰۵ ^{n.s.}	۱/۹۸	۵/۰۶	۳/۰۸*
۱۴	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۰۶*	۴/۹۰	۴/۶۰	۰/۳۰ ^{n.s.}
۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰ ^{n.s.}	۳/۰۰	۵/۲۵	۲/۲۵**
۱۶	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۰۳ ^{n.s.}	۵/۴۰	۱۰/۰۵	۴/۶۵*
۱۷	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۰۵ ^{n.s.}	۴/۶۰	۱۰/۴۵	۵/۸۵ ^{n.s.}
۱۸	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۲ ^{n.s.}	۵/۷۰	۱۲/۴۲	۶/۷۲ ^{n.s.}
۱۹	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۳ ^{n.s.}	۸/۹۷	۹/۶۲	۰/۶۵ ^{n.s.}
۲۰	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۲ ^{n.s.}	۲/۲۵	۲/۲۱	۰/۰۴ ^{n.s.}
۲۱	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۰۴ ^{n.s.}	۷/۲۰	۹/۷۶	۲/۵۶*
۲۲	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۰۵ ^{n.s.}	۷/۶۰	۱۰/۶۱	۳/۰۱ ^{n.s.}
۲۳	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۰۷**	۸/۵۸	۱۳/۳۴	۴/۷۶*
۲۴	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰۲ ^{n.s.}	۸/۷۴	۷/۹۸	۰/۷۶ ^{n.s.}

n.s., * و **: به ترتیب معرف معنی دار نبودن، معنی دار بودن در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

می‌کنند. بین روش‌های کالول و اولسن نیز هم‌بستگی بالای ۹۹٪ وجود دارد که به دلیل شباهت زیاد روش‌های عصاره‌گیری می‌باشد. روش EDTA هم‌بستگی کمتری با چهار روش دیگر دارد و احتمالاً فسفر را از منابع متفاوتی از سایر عصاره‌گیرها استخراج می‌کند.

جدول ۶ هم‌بستگی بین پنج عصاره‌گیر مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. ضرایب نسبتاً قوی و در سطح ۰/۰۱ معنی دار می‌باشند. هم‌بستگی روش پاو با روش‌های اولسن، کالول و سلطان‌پور بیش از ۹۰٪ است و نشان می‌دهد که احتمالاً این عصاره‌گیرها فسفر را از منابع مشابهی استخراج

جدول ۴. میزان فسفر استخراج شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) توسط پنج عصاره‌گیر

شماره نمونه	روش اولسن	روش کالول	روش EDTA	روش سلطان‌پور	روش پاو
۱	۸/۸	۱۴/۸	۱۸/۸	۴/۱	۱/۵
۲	۴/۰	۱۲/۴	۷/۶	۱/۰	۰/۰
۳	۴/۰	۸/۰	۱۰/۰	۱/۷	۰/۵
۴	۶/۴	۱۲/۰	۶/۰	۳/۱	۱/۵
۵	۶/۰	۱۵/۲	۶/۸	۲/۸	۰/۰
۶	۴/۸	۱۴/۰	۱۰/۰	۱/۰	۰/۰
۷	۸/۸	۱۷/۲	۶/۸	۳/۱	۱/۲
۸	۵/۲	۱۷/۰	۲۰/۰	۲/۱	۰/۰
۹	۸/۰	۱۲/۰	۶/۴	۲/۱	۰/۵
۱۰	۸/۰	۱۳/۶	۱۲/۰	۲/۹	۱/۵
۱۱	۳/۶	۷/۶	۴/۰	۱/۰	۰/۰
۱۲	۸/۴	۱۴/۰	۱۱/۶	۲/۳	۱/۳
۱۳	۱۳/۶	۲۴/۰	۱۶/۰	۶/۰	۲/۰
۱۴	۱۶/۸	۲۱/۶	۱۷/۶	۵/۲	۲/۲
۱۵	۱۲/۴	۲۲/۰	۱۸/۴	۵/۵	۱/۵
۱۶	۱۶/۰	۳۶/۰	۱۲/۴	۵/۳	۵/۰
۱۷	۱۶/۵	۳۲/۴	۱۴/۰	۸/۰	۳/۷
۱۸	۲۲/۴	۵۲/۰	۱۶/۴	۸/۷	۷/۲
۱۹	۲۰/۴	۳۸/۴	۱۸/۰	۷/۱	۶/۱
۲۰	۲۳/۶	۳۶/۰	۱۷/۵	۸/۰	۶/۵
۲۱	۲۰/۰	۴۲/۰	۱۹/۲	۱۰/۲	۳/۲
۲۲	۴۸/۴	۱۱۶/۰	۲۰/۰	۲۶/۲	۸/۴
۲۳	۵۰/۵	۱۱۰/۰	۲۱/۸	۲۹/۰	۱۴/۵
۲۴	۵۹/۰	۱۳۰/۰	۲۴/۶	۲۱/۵	۱۰/۵
میانگین	۱۶/۷	۳۴/۱	۱۴/۰	۷/۰	۳/۳

جدول ۵. آزمون هم‌بستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده و پاسخ‌های گیاه سورگوم

روش عصاره‌گیری	ماده خشک	غلظت فسفر	جذب فسفر
اولسن	۰/۶۷**	۰/۶۲**	۰/۸۰**
کالول	۰/۶۵**	۰/۵۷**	۰/۷۷**
Na ₂ -EDTA	۰/۶۴**	۰/۴۱**	۰/۶۵**
سلطان‌پور	۰/۶۲**	۰/۶۰**	۰/۷۵**
پاو	۰/۶۷**	۰/۶۴**	۰/۷۹**

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۶. ضرایب هم‌بستگی بین پنج عصاره‌گیر

پاو	سلطان‌پور	Na ₂ -EDTA	کالول	اولسن	روش عصاره‌گیری
				۱	اولسن
			۱	۰/۹۹**	کالول
		۱	۰/۶۸**	۰/۷۲**	Na ₂ -EDTA
	۱	۰/۶۸**	۰/۹۶**	۰/۹۶**	سلطان‌پور
۱	۰/۹۱**	۰/۶۷**	۰/۹۱**	۰/۹۳**	پاو

** : معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

فسفر عصاره‌گیری شده از خاک به روش اولسن و کالول مؤثر است و با یک ضریب منفی وارد معادله شده است بدین معنی که کاهش pH در محدوده خاک‌های مورد بررسی منجر به افزایش میزان فسفر استخراج شده گردیده است. بین درصد رس خاک‌ها و میزان فسفر عصاره‌گیری شده با روش سلطان‌پور هم‌بستگی مثبتی وجود داشت. با افزایش کربن آلی یا مواد آلی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه احتمالاً حلالیت و قابلیت جذب فسفر افزایش یافته است به طوری که میزان کربن آلی بر فسفر استخراج شده توسط کلیه عصاره‌گیرها مؤثر بوده است. تیسدیل و همکاران اشاره کردند که کربن آلی با پوشاندن اکسیدهای آهن و آلومینیم جذب فسفر روی این اکسیدها را کاهش می‌دهد (۲۹). تحقیقی در مورد اشکال مختلف فسفر آلی خاک‌های مورد بررسی وجود ندارد ولی احتمال آن هست که فسفر آلی در تامین فسفر قابل جذب گیاهان مؤثر باشد. در این رابطه زامیونر و همکاران نیز از مطالعه شکل‌های مختلف فسفر معدنی و آلی کشور آرژانتین گزارش کردند که قابلیت جذب فسفر اساساً توسط فسفر آلی کنترل می‌شود (۳۵).

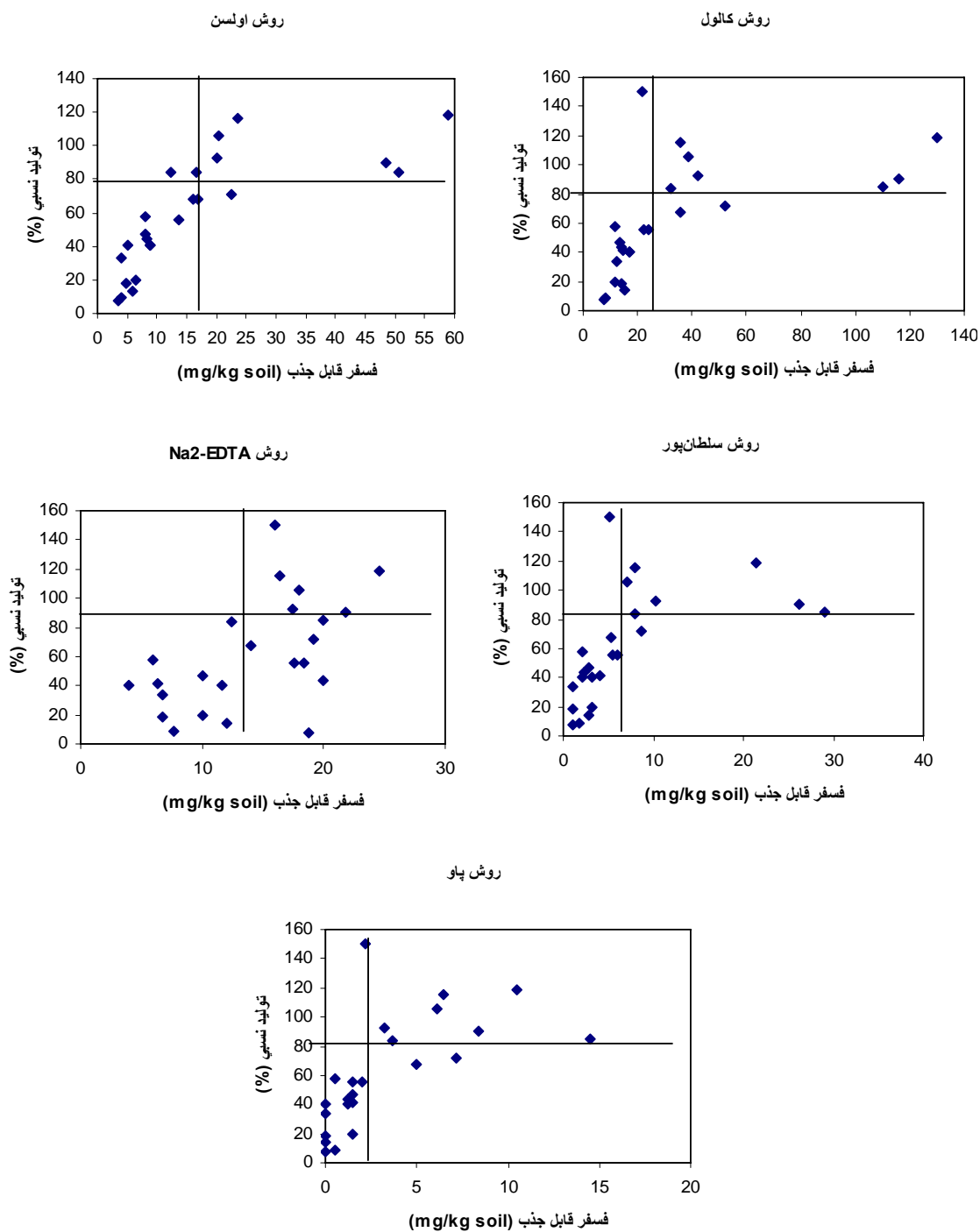
در عصاره‌گیری به روش‌های اولسن و کالول با افزایش واکنش خاک (pH) میزان فسفر استخراج شده کاهش می‌یابد (جدول ۷). لیندزی (۱۵) نیز گزارش نمود که با اضافه شدن ارتوفسفات‌ها (Orthophosphates) به خاک‌های آهکی ترکیبات فسفر و کلسیم مانند دی‌کلسیم فسفات، تری‌کلسیم فسفات (Tricalcium phosphate)، اکتاکلسیم

حد بحرانی فسفر قابل جذب گیاه با ترسیم نمودار تولید یا عملکرد (میزان ماده خشک) نسبی در مقابل میزان فسفر استخراج شده توسط پنج عصاره‌گیر به طریق ترسیمی کیت-نلسن تعیین شد (شکل ۱). این حد برای روش‌های اولسن، کالول، EDTA، سلطان‌پور و آب به ترتیب برابر ۱۷، ۲۴، ۱۴، ۷ و ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. فرقانی (۱) این حد را برای ذرت در خاک‌های آهکی اصفهان به ترتیب برای روش‌های عصاره‌گیری اولسن و سلطان‌پور ۱۵ و ۳/۸۴ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به دست آورد. لابس‌توار و سلطان‌پور (۱۴) حد بحرانی فسفر را برای گیاه یونجه به روش‌های اولسن، سلطان‌پور و EDTA به ترتیب ۶/۲۷، ۴/۹ و ۸/۳۶ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک گزارش نمودند.

عوامل مؤثر بر فسفر قابل جذب

برای بررسی عوامل مؤثر بر میزان فسفر قابل جذب یا فسفر عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرها از روش معادلات رگرسیون گام به گام (Stepwise regression) استفاده گردید. در این معادلات فسفر عصاره‌گیری شده از خاک به عنوان متغیر وابسته و چندین خصوصیت خاک مانند واکنش خاک (pH)، میزان کربن آلی، درصد رس خاک و درصد کربنات کلسیم معادل به عنوان متغیر مستقل وارد شدند (جدول ۷).

شاخص آماری F برای کلیه معادلات در سطح $P < 0/01$ یا $P < 0/001$ معنی‌دار می‌باشد. بدون استثنا کربن آلی (OC) بر استخراج فسفر کلیه عصاره‌گیرها اثر مثبت دارد. واکنش خاک بر



شکل ۱. نمودار کیت-نلسن و سطوح بحرانی فسفر برای سورگوم با استفاده از پنج عصاره‌گیر

جدول ۷. نتایج حاصل از معادلات رگرسیون گام به گام عصاره‌گیرها در مقابل برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

شماره	متغیر مستقل	متغیر وابسته	معادله	R ²	آماره F
۱	Olsen-P	OC, pH	Olsen-P = ۳۰۳/۶۹ + ۲۹/۵۱(OC) - ۳۷/۲۶(pH)	۰/۶۴	۱۸/۱۷***
۲	Colwel-P	OC, pH	Colwel-P = ۷۸۸/۵۱ + ۶۱/۸۹(OC) - ۹۶/۶۵(pH)	۰/۶۶	۱۹/۴۸***
۳	EDTA-P	OC	EDTA-P = ۵/۷۲ + ۱۲/۸۸(OC)	۰/۳۸	۱۳/۷۰**
۴	Soltanpour-P	OC, Clay	Soltan pour-P = -۷/۷۴ + ۱۲/۵۲(OC) + ۰/۵۲۵(Clay)	۰/۵۸	۱۴/۶۵***
۵	Water-P	OC	Water-P = -۲/۸۷ + ۹/۵۷(OC)	۰/۴۹	۲۱/۳۲***

OC, pH, Clay, * و **: به ترتیب درصد رس، واکنش خاک، درصد کربن آلی، معنی‌دار در سطوح ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱

احتمالاً موجب ناپایداری رس‌ها و تشکیل AI-P در خاک شده است.

نتیجه‌گیری

خاک‌های منطقه مورد مطالعه جز در بعضی قسمت‌ها از نظر میزان فسفر قابل جذب فقیرند. کلیه عصاره‌گیرهای مورد آزمون می‌توانند برای اندازه‌گیری فسفر قابل جذب در خاک‌های منطقه استفاده شوند ولی روش‌های اولسن و پاو مناسب‌ترند. با توجه به ارزان‌تر بودن و عدم نیاز به مواد شیمیایی روش پاو را می‌توان در منطقه مورد مطالعه توصیه نمود. از بررسی عوامل مؤثر بر فسفر استخراج شده می‌توان میزان کربن آلی، pH و درصد رس خاک را برشمرد. علی‌رغم پایین بودن میزان کربن آلی در این خاک‌ها، مقدار آن نقش مهمی در قابلیت جذب فسفر ایفا می‌کند. این تحقیق نشان می‌دهد که با مدیریت مواد آلی امکان افزایش قابلیت جذب فسفر برای گیاه وجود دارد بنابراین احتمالاً شناسائی شکل‌های آلی فسفر خاک‌های مورد مطالعه به مدیریت زراعی آن منطقه کمک خواهد کرد. با توجه به نقش رس‌ها در قابلیت جذب فسفر، شناسائی کانی‌های رسی موجود به کمک اشعه ایکس (X) و میکروسکوپ الکترونی توصیه می‌گردد.

فسفات (Octacalcium phosphate) و آپاتیت‌ها (Apatites) با گذشت زمان تشکیل می‌شوند و حلالیت هر کدام از ترکیبات یاد شده با افزایش pH کاهش می‌یابد.

در عصاره‌گیری به روش سلطان‌پور کربن آلی و درصد رس خاک‌ها بر میزان فسفر استخراج شده مؤثرند. هنگامی که صرفاً کربن آلی در این معادله قرار گیرد ضریب تبیین (R²) معادله برابر ۰/۴۶ است و با ورود درصد رس به این معادله این ضریب به ۰/۵۸ افزایش می‌یابد (جدول ۷، معادله ۴). در مورد تأثیر مثبت درصد رس بر میزان فسفر قابل جذب در خاک‌های مورد مطالعه آزمایشاتی با اشعه ایکس (X) یا بیم الکترونی (Electron Beam) وجود ندارد. کابررا و همکاران (۸) گزارش نمودند که فعالیت زیاد باندهای AI در سطح کانی‌های رسی منجر به جذب ترکیبات فسفر می‌گردد. صمدی و گیلکس (۲۵) نیز گزارش کردند که یک سوم فسفر خاک‌های مناطق خشک استرالیا به صورت ترکیبات AI-P است و جایگاه‌های AI-OH روی کانی‌هایی نظیر کائولینایت و گنویت آلومینیومی در جذب سطحی فسفر مؤثرند. ناپایداری کانی‌های رسی نیز ممکن است در تشکیل AI-P مؤثر باشد. در این رابطه لیندزی نشان داد که با افزایش pH بالای ۷/۸ فعالیت Ca²⁺ کاهش می‌یابد و این امر منجر به ناپایداری کانی‌هایی چون ورمیکولیت و مونت‌موریلونایت می‌گردد که آزادی یون‌های AI و Fe را به دنبال دارد (۱۵). واکنش نسبتاً بالای خاک‌های مورد مطالعه

منابع مورد استفاده

۱. فرقانی، ا. ۱۳۷۰. تعیین حد بحرانی فسفر برای گیاه ذرت در خاک‌های آهکی منطقه اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. فرشادفر، ع. ۱۳۷۹. اصول و روش‌های آماری. جلد دوم، انتشارات طاق بستان.
۳. ملکوتی، م.ج. ۱۳۷۹. روش جامع تشخیص و ضرورت بهینه کودهای شیمیایی. چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
4. Ahmed, B. and A. Islam. 1975. The use of sodium EDTA as an extractant for determining available phosphate in soil. *Geoderma* 14: 261-265.
5. Atia, A. M. and P. Mallarino. 2002. Agronomic and environmental soil phosphorus testing in soil receiving liquid swine manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1396-1405.
6. Bowman, R. A., S. R. Olsen and F. S. Watanabe. 1978. Greenhouse evaluation of residual phosphate by four methods in neutral and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 451-454.
7. Brennan, R. F. and J. W. Gartell. 1990. Reaction of Zn with soil affecting its availability to subterranean clover. I. The relationship between critical concentration of extractable Zn and properties of Australian soils responsive to applied Zn. *Aust. J. Soil Res.* 28: 293-302.
8. Cabrera, F., L. Madrid and P. De Arambarri. 1977. Adsorption of phosphorus by various oxides: Theoretical treatment of adsorption envelope. *J. Soil Sci.* 28: 306-313.
9. Colwell, J. D. 1963. The estimation of phosphorus fertilizer requirements of wheat in Southern New South Wales by soil analysis. *Aust. J. Exp. Agric. Amin. Husb.* 3:190-198.
10. Corey, R. B. 1989. Soil test procedure, PP. 15-22. *In: J. R. Brown (Ed.), Correlation in soil testing, sampling, correlation, calibration and interpretation.* Soil Sci. Soc. Am., Madison. WI.
11. Gupta, P. K. 2004. Soil, plant, water and fertilizer analysis. Published by Agrobios (India), Agro House, Behind Nasrani Cinema, Chopasani Road, Jodhpur 342002.
12. Holford, I. C. R. 1980. Greenhouse evaluation of four phosphorus soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 555-559.
13. Kashinath, R. S. and R. P. Chandrakant. 2002. Calibration of soil test methods for assessing the phosphorus status in swell-shrink soils for wheat. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 33: 2825-2832.
14. Labhsetwar, V. K. and P. N. Soltanpour. 1985. A comparison of $\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{-DTPA}$, NaHCO_3 , CaCl_2 and $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ soil test for phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1437-1440.
15. Lindsay, W. L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils.* John Wiley and Sons Inc., New York.
16. Main, M. A. and J. Ahmad. 1973. Effects of P and N rates on maize at different initial soil P levels. *Agric. Pakistan* 24(3/4): 261-270.
17. Mallarino, A. P. and A. M. Blackmer. 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn. *Agron. J.* 84: 850-856.
18. Mater, A. E. and M. Samman. 1975. Correlation between $\text{NaHCO}_3\text{-extractable P}$ and response to P fertilization in pot tests. *Agron. J.* 67: 84: 850-856.
19. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
20. 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. *USDA, Cire. 939, U. S. Gover. Prin. Office, Washington DC.*
21. Onken, A. B., R. Matheson and E. J. Williams. 1980. Evaluation of EDTA-extractable phosphorus as a soil test procedure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 783-786.
22. Paauw, F. V. 1971. An effective water extraction method for the determination of plant available phosphorus. *Plant Soil* 34: 497-481.
23. Richards, L. A. 1954. Diagnosis improvement of saline and alkali soils. *USDA, Handbook No. 60, p. 102.*
24. Rodriguez, J. B., G. B. Peterson and D. G. Westfall. 1989. Calibration of nitrogen and phosphorus soil test with yield of Proso millet. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1737-1741.
25. Samadi, A. and R. J. Gilkes. 1998. Forms of phosphorus in virgin and fertilized calcareous soils of Western Australia. *Aust. J. Soil Res.* 36: 585-601.
26. Shaheen, S. M., C. D. Tsadilas and S. Stamatiadis. 2008. Inorganic phosphorus forms in some entisols and aridisols of Egypt. *Geoderma* 142: 217-225.
27. Soltanpour, P. N. and A. P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro and micro nutrients

- in alkaline soils. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 8: 195-207.
28. SPSS 16.0. 2008. Statistical Software Inc., Headquarters, 233 S. Wacker Drive, 11th floor, Chigago, Illinois 60606, (www.SPSS.com).
29. Tisdale, S. L., W. L. Nelson James, D. Beaton and J. L. Havlin. 2002. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed., Prentice-Hall of India Private Ltd., New Delhi.
30. Watanabe, F. S. and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 677-678.
31. Walkley, A. and T. A. Black. 1934. An examination of Deglijareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
32. Weil, R. R., P. W. Benedetto, L. J. Sirkora and V. A. Bandel. 1988. Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three Ultisols. *Agron. J.* 80: 503-509.
33. Yerokun, O. A. and D. R. Christenson. 1990. Relating high soil test phosphorus concentration to plant phosphorus uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 796-799.
34. Zia, M. S., R. Amin, Fazal-e-Qayum and M. Aslam. 1988. Plant tissue concentration and uptake of phosphorus by maize as affected by levels of fertilization. *Pakistan J. Agric. Res.* 9: 335-338.
35. Zamuner, E. C., L. I. Picone and H. E. Echeverria. 2008. Organic and inorganic phosphorus in Mollisols soil under different tillage practices. *Soil and Tillage Res.* 99: 131-138.