

# ارزیابی قدرت جذب فسفر سه سری خاک آهکی منطقه کرج با استفاده از

## همدماهای جذب به منظور توصیه کود فسفوری

منوچهر فربودی<sup>۱</sup>

### چکیده

بررسی نحوه تغییرات فسفر قابل جذب خاک از نظر جذب سطحی این عنصر به وسیله اجزای کلوییدی و کانی های خاک حایز اهمیت است و می تواند به طور مؤثری در امر توصیه کودی فسفر و آزمون فسفر خاک مفید باشد. ماهیت جذب فسفر بر سطوح کانی ها از طریق روش ها و معادلات مختلفی قابل بررسی است که تناسب استفاده از هر معادله بستگی به نوع خاک و هدف تحقیق دارد. ولی اصول کلی تهیه همدماهای جذب مبتنی بر به تعادل در آوردن خاک با محلول های الکترولیت ( $\text{CaCl}_2$ ) یک صدم مولار، حاوی غلظت های متفاوت فسفر در دما و زمان ثابت است. در این تحقیق نمونه های سه سری خاک منطقه کرج حاوی ۷، ۱۴ و ۲۱ درصد آهک پس از نرم شدن و عبور از الک ۱ mm، با غلظت های صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۳۷، ۵۰/۵، ۶۲/۵ و ۱۲۵ میکروگرم در میلی لیتر فسفر از منبع  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  داخل الکترولیت کلرید کلسیم در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی گراد به تعادل در آمد. غلظت فسفر محلول تعادلی اندازه گیری شد و پارامترهای شکل خطی دو معادله ی فروندلیچ و لانگمیر تعیین شد. هر دو معادله ضریب همبستگی معنی داری داشتند و جهت بررسی قدرت جذب خاک ها مناسب به نظر می رسند. تفسیر نتایج با استفاده از معادله لانگمیر نشان داد که در خاک های کرج، کردامیر و آدران جذب حداکثر (b) به ترتیب ۷۵/۲، ۷۴/۲، ۶۵/۳ گرم در میکروگرم و انرژی جذب آن ها (k) به ترتیب ۳، ۳/۵ و ۲۰/۴ می باشد. نمودارهای سری کرج تا غلظت تعادلی ۰/۷۵ میکروگرم در میلی لیتر برای سری کرج خطی بود. این کمیت برای خاک کردامیر و آدران به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۲۹ قسمت در میلیون محاسبه شد و ضرایب همبستگی میان شاخص های جذب فسفر خاک ها و غلظت های فسفر در سطح یک درصد معنی دار گردید. غلظت بحرانی ۰/۳ میکروگرم در میلی لیتر (مناسب برای تولید بهینه اغلب محصولات زراعی و باغی) برای سه سری خاک کرج، کردامیر و آدران به ترتیب با افزودن ۳۲/۶، ۳۴/۸ و ۶۸/۹ میکروگرم در هر گرم خاک برآورد شد. افزایش انرژی جذب (k) در خاک سری آدران نسبت به دو خاک دیگر ممکن است به مقدار بیشتر آهک آن مرتبط باشد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که می بایستی طیف وسیعی از خصوصیات میزولوژیکی را در نظر گرفته و نسبت به تعیین معادلات همبستگی میان این خصوصیات و ضرایب معادلات اقدام نمود.

واژه های کلیدی: فسفر، جذب سطحی، کانی های خاک، همدمای جذب، توصیه کود

## مقدمه و بررسی منابع

پدیده جذب سطحی در نتیجه وجود نیروهای الکترواستاتیکی قوی سطوح جذب کننده و بار مخالف کاتیون‌ها و آنیون‌های جذب شونده به وقوع می‌پیوندد و اول بار در مورد جذب مولکول‌های گازها به وسیله سطوح جامدات مورد بررسی قرار گرفته است. معادلات به دست آمده از این تحقیقات در مورد جذب سطحی آنیون فسفات به وسیله سطوح دارای بار الکترواستاتیکی کانی‌ها تعمیم داده شد.

جذب فسفر طی مدت زمان کوتاهی پس از افزایش کود فسفوری محلول شروع می‌شود و در ساعات و روزهای اولیه بسیار سریع است. سپس با گذشت زمان بطئی‌تر خواهد شد (۱۰). جذب سریع اولیه محلول جذب سطحی<sup>۱</sup> وسط سطوح خارجی کانی‌هاست. جذب سطحی به یکی از سه حالت زیر و یا ترکیبی از آن‌ها صورت می‌گیرد (۱). جذب تبادل یا جذب در نتیجه کشش‌های الکترواستاتیکی مکان‌های باردار موجود در سطح جذب کننده (تبادل یونی) که هر قدر بار یون بیشتر و اندازه‌ی آن یون یا مولکول بزرگ‌تر باشد، تمایل بیشتری به جذب سطحی تبادل دارد (۲). جذب سطحی در نتیجه نیروهای واندروالس که معمولاً جذب فیزیکی نامیده می‌شود (۳). جذب سطحی که در نتیجه واکنش‌های شیمیایی بین جذب‌کننده و جذب شونده ایجاد می‌گردد که این پدیده به نام جذب سطحی شیمیایی<sup>۲</sup> جذب فعال و یا نامیده می‌شود (۲۲).

جذب سطحی از اهمیت چندانی در تثبیت برخوردار نیست و بیشتر تأمین کننده‌ی فسفر قابل

تبادل است. تغییر یون‌های فسفر به صورت غیر محلول (جذب بطئی)، مکانیسم عمده‌ی تثبیت و نگهداری فسفر به شمار می‌آید. حداقل دو مورد را برای جذب بطئی فسفر قایل می‌شوند که عبارتند از ۱- تشکیل بلورهای حاوی فسفر یا تبدیل ترکیبات بی‌شکل<sup>۱</sup> به اشکال بلوری کم محلول و ۲- نفوذ کردن فسفر جذب سطحی شده به درون بخش جامد<sup>۲</sup> که موجب جذب سطحی بیشتر می‌شود (۱۵).

به دلیل خصوصیات و ماهیت معدنی خاک‌های مختلف، زمان به تعادل رسیدن متفاوت خواهد بود. جهت بررسی زمان به تعادل رسیدن جذب فسفر، بایستی از خاک‌های گوناگون و سطوح و انواع مختلف کود فسفوری استفاده گردد. در عمل بایستی آن اندازه به خاک فسفر داده شود که محلول خاک، از این نظر به مناسب ترین سطح خود برسد (۲۵ و ۲۱ و ۱۶).

عواملی که وضعیت فسفر را در خاک نشان می‌دهند به صورت شدت<sup>۳</sup>، مقدار<sup>۴</sup>، ظرفیت<sup>۵</sup> و تحرک<sup>۶</sup> تعریف شده‌اند (۱۲۲). عامل شدت (I)، معرف غلظت فسفر در محلول خاک در حال تعادل با فاز جامد می‌باشد و به وسیله عواملی نظیر آب pH، کربنات کلسیم، درصد رس و فسفر تبادلی فعال<sup>۷</sup> کنترل می‌شود و در یک دوره کوتاه، از نظر فسفر قابل جذب گیاه حایز اهمیت است. گیاهان از نظر نیاز به این بخش از فسفر متفاوتند. بعضی از آن‌ها در غلظتی معادل ۰/۰۳ میلی گرم در لیتر فسفر در محلول خاک قادر به تولید حداکثر محصول هستند، مناسب ترین غلظت برای اغلب گیاهان زراعی معادل ۰/۲ میلی گرم در لیتر شناخته شده است و این

1- Amorphous  
2- Absorption  
3- Intensity  
4- Capacity  
5- Capacity  
6- Mobility  
7- Labile - P

1- Adsorption  
2- Chemisorptions

غیر فعال و فاز جامد بیشتر در ارزیابی پتانسیل تثبیت به کار می‌رود.

کازاونه (۱۹۷۱) اصطلاح شدت (I) و عامل نسبی<sup>۱</sup> را به توانایی ترکیب شیمیایی محلول خاک، در تأمین فسفر مورد نیاز در رشد گیاهی نسبت داده است. عامل نسبی به اثر سایر یون‌های موجود بر جذب فسفر از محلول گفته می‌شود. در این رابطه به جز هیدروکسیل ( $\text{OH}^-$ ) هیچ آنیونی با جذب فسفر رقابت نمی‌کند، بنابراین عامل نسبی منحصر به فرد خواهد بود (۱۵).

ویلیامز (۱۹۷۱) معتقد است که وقتی شدت (I) فسفات به علت استخراج آن تنزل یابد، برقراری تعادل مجدد مستلزم ورود فسفر از فاز تبادلی به محلول خاک است. آن مقدار از فاز جامد فسفر که در تعادل پویا با محلول خاک بوده و نقش ذخیره را ایفا می‌کند، عامل مقدار (Q) نامیده می‌شود که فسفر فعال و بخشی از فسفر غیر فعال<sup>۲</sup> را در بر می‌گیرد. این قسمت از فسفر غیر فعال به آهستگی به فسفر فعال تبدیل شده و در نهایت وارد محلول خاک می‌شود. فسفر موجود در فاز جامد به دو بخش جذب سطحی شده و متبلور<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود. که اولی فسفر جذب شده در سطوح فعال کلوئیدهای خاک و دومی به عنوان محصول فعل و انفعالات واکنش‌های تثبیت می‌باشد و جزئی از زمینه‌ی اصلی خاک (matrix) به شمار می‌آید (۲۷).

باومن و اولسن (۱۹۸۵) معتقدند که فاز جامد باید بتواند مقدار کافی فسفر را جهت تأمین شدت (I) مورد نیاز ارائه دهد. توانایی فاز جامد در تأمین این شدت مناسب تا تخلیه‌ی کامل فسفر را "ظرفیت بافری فسفر" می‌نامند. به عقیده‌ی آن‌ها ظرفیت بافری فسفر از

مقدار برحسب نوع خاک و گیاهان مختلف، متفاوت است (۱۹). در صورتی که سایر گیاهان در حدود ۱۰-۲۵ برابر غلظت فوق حداکثر عملکرد را نشان می‌دهند (۴).

حرکت فسفات محلول از طریق پخشیدگی<sup>۱</sup> و جریان انبوهی<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد (۵۸) و در تعادل پویا با فسفر فعال تبادلی، ارزیابی فسفر پخشیده، از تغییر شیب نمودار مقدار به شدت ( $\frac{Q}{I}$ ) ممکن خواهد بود. بنابراین برای برقراری شیب غلظت و حرکت فسفر به سوی ریشه، تأمین غلظت مناسب فسفر در محلول خاک حایز اهمیت است. فسفر محلول خاک از طریق رابطه‌ی زیر با دو بخش دیگر در حال تعادل است (۱۵).

فسفر غیر فعال<sup>۲</sup> ← فسفر فعال (تبادلی) → ← فسفر محلول خاک  
تعادل (۱) به سرعت برقرار می‌شود، ولی برقراری تعادل حقیقی در واکنش (۲) چنین نیست و همیشه وقفه‌ای وجود دارد و ممکن است هیچ‌وقت تعادل برقرار نشود. مرز تفکیک اشکال مذکور دقیق و مشخص نیست و انتخاب این حد و مرز بر اساس تجربه و به‌طور دلخواه صورت می‌گیرد. محل انجام این واکنش‌ها و سایر تبادلهای یونی در محلول خاک است و اعمال هرگونه تغییری در تعادل، مستلزم برقراری تعادل مجدد بین بخش‌های مختلف می‌باشد. در حقیقت، محلول خاک مرز میان فاز جامد<sup>۳</sup> و داد و ستد یون‌های مختلف آن محسوب می‌شود. در ارزیابی وضعیت فسفر قابل استفاده گیاه، توانایی محلول خاک و بخش فعال فسفر مدنظر بوده و بخش

1- Relative Factor  
2- Non- Labile  
3- Crystalline

1- Diffusion  
2- Mass Flow  
3- Solid-Phase

فرمودی، م. ارزیابی قدرت جذب فسفر سه سری خاک آهکی...

مساوی، خاکی که ظرفیت بافری فسفر آن بیشتر باشد، نیاز بیشتری به افزایش کود خواهد داشت تا سطح فسفر را در حد مطلوبی نگهدارد (۱۰).

**ارزیابی وضعیت فسفر در خاک با استفاده از**

### همدماهای جذب

هر سیستمی که بتواند عوامل شدت (I) و مقدار (Q)، ظرفیت (capacity) یا (C) و تحرک (M) را بیان نموده و ارتباط آن‌ها را با عملکرد محصول توجیه نماید، قادر است روش مناسبی برای تعیین شاخص‌های مربوط به حلالیت یا جذب و تثبیت فسفر را ارائه دهد (۱۸). یک روش مورد استفاده برای پیش‌بینی مقدار کود فسفوری مورد نیاز جهت تأمین فسفر محصولات زراعی بایستی حداقل قادر به توجیه نمودن عوامل شدت (I) و ظرفیت (Q) باشد (۲۵). در این راستا، هرگاه رابطه‌ی خطی فسفر جذب شده در واحد وزن خاک و غلظت محلول تعادلی (شدت) در دمای ثابت رسم شود، خط مستقیمی به دست می‌آید که همدمای جذب<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. شیب این خط اطلاعات مفیدی در رابطه با ظرفیت بافری فسفر ارائه خواهد داد. مقدار فسفر مورد نیاز برای رسیدن به یک حد تعادل دلخواه، به راحتی از روی منحنی به دست می‌آید (۲۵). فسفر کل مورد نیاز گندم با استفاده از این منحنی‌ها محاسبه گردیده و مقدار پیش‌بینی شده همبستگی زیادی با مقدار واقعی نشان داده و رابطه خطی بوده است (۱۸).

همدمای جذب و رها شدن<sup>۲</sup> برای تخمین فسفر مورد نیاز خاک‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۱۱، ۲۵). طبق گزارش اولسن و واتاناب (۱۹۵۷) شکل خطی معادله همدمای جذب سطحی لانگ میور به صورت زیر است (۲۱):

$$c/x/m = 1/kb + C/b$$

خصوصیات ذاتی و پایای هر خاک به‌شمار می‌رود (۱۰).

رها شدن فسفر از فاز جامد و حرکت به سمت ریشه‌ی گیاهی، به تهی شدن و رقیق شدن فسفر محلول خاک (I) بستگی دارد و این فرآیند مبین تحرک<sup>۱</sup> فسفر است. مقدار کود فسفوری مورد نیاز به مقدار فسفر موجود در محلول خاک (I) و ظرفیت بافری فسفر خاک بستگی خواهد داشت. وجود هیدروکسیدها و کائولینایت فراوان سبب افزایش ظرفیت بافری فسفر خاک می‌شود و اگر غلظت فسفر موجود در محلول این خاک‌ها کم باشد، مقادیر زیادی کود فسفوری لازم است تا آن‌را به سطح کافی برساند، زیرا ظرفیت تثبیت این گونه خاک‌ها بالاست (۲۵).

در خاک‌های با ظرفیت بافری فسفر زیاد و سطح کم فسفر در محلول خاک، افزایش مقادیر نسبتاً کم کود فسفوری اغلب تأثیری بر ازدیاد محصول ندارد، زیرا غلظت فسفر، در محلول خاک اندکی بالا می‌رود و بیشترین قسمت کود جذب سطحی شده و در مجموعه‌ی فسفر فعال (Labile - P) باقی می‌ماند. با توجه به ظرفیت بافری فسفر خاک (ظرفیت جذب سطحی و تثبیت)، مقدار کود مورد نیاز جهت تأمین نیاز گیاهی در محلول خاک، بایستی ۱۰ تا ۵۰ درصد بیشتر از مقداری باشد که محصول از زمین خارج می‌نماید. در این رابطه بایستی به دو نکته توجه شود:

۱- در دو یا چند خاک با شدت (I) برابر، افزایش ظرفیت بافری فسفر با افزایش فسفر فعال در ارتباط است. در نتیجه، مقادیر کم‌تری از افزایش کود فسفوری مورد نیاز است تا آن شدت معین را تأمین نماید و ۲- در دو یا چند خاک با مقدار فسفر کل

1- Adsorption Isotherm

2- Desorption Isotherm

1- Mobility

بیشتر از فسفر محلول خاک است و غلظت فسفر در محلول خاک اراضی حاصل خیز تقریباً  $10^{-5}$  تا  $10^{-4}$  مول بر لیتر ( $0/3$  تا  $3$  میلی گرم در لیتر) می باشد (۱).

**واکنش های بطئی:** این واکنش ها بسیار کند بوده و در اثر مرور زمان از ارزش فسفر اضافه شده کاسته می گردد. مثلاً اگر سوپر فسفات معمولی به صورت پودر به خاک اضافه شود پس از یک، دو و سه سال به ترتیب فقط ۵۸، ۳۸ و ۲۰ درصد آن به صورت قابل استفاده باقی خواهد ماند. این مقدار برحسب نوع خاک، نوع گیاه زراعی، میزان آبشویی و فرسایش، تثبیت به وسیله مواد آلی و میکروارگانیزم ها (آلی شدن)، میزان اختلاط و پخشیدگی کود با خاک، نوع واکنش، متفاوت خواهد بود (۷، ۶، ۵، ۴، ۳).

## مواد و روش ها

### تهیه همدمای جذب:

اطلاعات مورد نیاز برای رسم همدمای جذب فسفر از به تعادل در آوردن سوسپانسیون کلرور کلسیم- خاک (به نسبت ۱۰ : ۱) با غلظت های مشخص فسفر و در دمای ثابت به دست می آید. بر اساس شکل خطی معادله ی لانگ مویر، همدمای جذب فسفر برای سه خاک کرج- کردامیر و آدران تهیه گردید. محدوده ی غلظت فسفر بین صفر تا ۱۲۵ میلی گرم در لیتر جهت به دست آوردن اطلاعات برای حالت خطی انتخاب شد. هم چنین جذب ماکزیمم (b) و شاخص انرژی جذب (k) برای این محدوده محاسبه گردید. برای هر خاک، نمودار حالت های مختلف به شرح زیر رسم شده است.

۱- c در مقابل  $c/x/m$  برای تهیه ی حالت خطی همدمای جذب

۲- c در مقابل  $x/m$  برای تهیه ی نمودار جذب

۳- مقدار فسفر اضافه شده در مقابل c

در این معادله، c غلظت فسفر در محلول تعادلی می باشد.  $x/m$  فسفر جذب شده در واحد وزن خاک است. k عدد ثابت بوده و معرف انرژی پیوند نسبی یون های اورتوفسفات بر سطوح جذبی است. b حداکثر جذب سطحی به صورت تک لایه را نشان می دهد. هرگاه غلظت محلول تعادلی معینی (مثلاً غلظت  $0/2$  میلی گرم در لیتر فسفر) مورد نظر باشد، می توان آن را از همدمای به دست آمده محاسبه نمود. برای تهیه همدمای جذب سطحی و شدت (I) فسفر، سوسپانسیونی با غلظت مشخص خاک به آب استفاده می شود (۲۱). تحقیقات زیادی در زمینه ی جذب فسفر به وسیله خاک صورت گرفته است. چسبیدن فسفر بر روی اجزای خاک غالباً یک فرآیند جذب سطحی ایده آل نیست، بلکه بیشتر ترکیبی از جذب سطحی واقعی<sup>۱</sup> و رسوب واقعی<sup>۲</sup> می باشد (۱۵). مرز بین این دو مکانیزم مشخص و روشن نیست، ولی مجموع این دو پدیده بایستی فسفر محلول خاک را تأمین نماید و مقدار این فسفر باید در حدی قرار گیرد که قابل تحرک و تماس با ریشه ی گیاهی باشد. یون های فسفر جذب سطحی شده به مرور زمان ساختمان بلوری پیدا کرده و کم تر قادر خواهند بود که با یون های فسفات دیگر تبادل یابند. بدین طریق، مقداری از فسفات مجموعه فعال به طور مداوم غیر متحرک می شود. هرگاه خاک غرقاب شود و پتانسیل اکسید-کاهش به کم تر از ۲۰۰ میلی ولت کاهش یابد (شرایط احیاء)، آهن سه ظرفیتی ( $Fe^{3+}$ ) به  $Fe^{2+}$  تبدیل می شود. این عمل باعث انحلال فسفات های آهن شده و منجر به آزاد شدن فسفر می گردد. مقدار حداکثر فسفر جذب سطحی شده  $10^2$  تا  $10^3$  برابر

1- True adsorption

2- True Precipitation

جذب را در طول موج ۷۲۰ نانومتر اندازه‌گیری کرده و منحنی استاندارد در سیستم میلی‌متری رسم شد.

### نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌ها در جدول ۱ الی ۳ ارائه گردیده است. با مراجعه به جدول (۱) ملاحظه می‌شود که خاک سری کرج دارای بیشترین مقدار جذب حداکثر  $(b = 75/24)$  میکروگرم در گرم) است و در خاک‌های سری‌های کردامیر و آدران به ترتیب با داشتن  $74/3$  و  $65/3$  میکروگرم در گرم بعد از خاک کرج قرار داشتند. خاک کرج با داشتن  $7/8$  درصد آهک کل کم‌ترین انرژی جذب  $(2/95)$  در حالی که خاک آدران با  $21$  درصد آهک کل دارای بیشترین انرژی جذب  $(K = 20/43)$  و خاک کردامیر با  $14/22$  درصد آهک دارای انرژی جذب  $(K = 3/492)$  بینابین بود. وودراف و کمپراس<sup>۱</sup> (۱۹۶۵) به نقل از فراید و شاپیرو<sup>۲</sup> (۱۹۵۶) اظهار داشتند که توانایی خاک در تأمین مستمر فسفر محلول خاک به‌عنوان عامل مهمی در ارزیابی فسفر خاک به حساب می‌آید و خاکی که ظرفیت جذب بالایی دارد، قادر به تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان زراعی خواهد بود. از این نظر خاک سری کرج و با داشتن بیشترین جذب حداکثر  $(b = 75/24)$  قادر به تأمین بهتر فسفر نسبت به دو خاک دیگر است. تفاوت جذب حداکثر خاک کردامیر با خاک مذکور اندک است  $(b = 74/3)$ . به عقیده برخی از محققین اختلاف در مقدار جذب حداکثر فسفر و میزان استاندارد فسفر مورد نیاز به دلیل اختلاف موجود در مواد اولیه، شرایط آب و هوایی و بعضی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک‌ها می‌باشد و نتیجه گرفتند که جذب حداکثر

در روابط فوق،  $C =$  غلظت محلول تعادلی ( $\mu\text{gr/gr}$ )  
 $x/m =$  مقدار فسفر جذب سطحی شده ( $\mu\text{gr/gr}$ )  
 اندازه‌گیری فسفر به روش مورفی - رایلی  
 (۱۹۶۲):

برای تهیه محلول A ۱۲ گرم پارامولیدات، مولیدات آمونیوم  $(\text{NH}_4)\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  را در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کردیم. هم‌چنین  $0/2908$  گرم آنتیمونی پتاسیم تارتارات  $(\text{KsbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6)$  را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کردیم و دو محلول بالا را به یک لیتر اسیدسولفوریک ۵ نرمال اضافه کرده و پس از سرد شدن به حجم دو لیتر رساندیم. برای تهیه محلول B، مقدار  $1/056$  گرم اسید آسکوربیک را در ۲۰۰ میلی‌لیتر معرف A حل کرده و محلول B می‌نامیم این محلول را بلافاصله قبل از مصرف تهیه کرده و باید از مصرف آن پس از ۲۴ ساعت خودداری گردد.

هم‌چنین  $0/4393$  گرم  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  خشک شده در آن را به‌دقت وزن کرده و در ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کردیم. محلول به حجم یک لیتر رسانده شد. برای جلوگیری از فعالیت میکروبی ۵ قطره تولوئن به آن اضافه شد. محلول حاصل دارای ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر بود. ۲۰ میلی‌لیتر از این محلول را وارد بالن ژوژه یک لیتری نموده و به حجم رساندیم. بنابراین محلول حاصل دارای ۲ میلی‌گرم در لیتر فسفر بود. از محلول ۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۵- ۱۰- ۱۵- ۲۰- ۲۵ میلی‌لیتر را وارد بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری کرده پس از افزودن آب مقطر به حجم تقریبی ۴۰ میلی‌لیتر رساندیم. به هر کدام ۸ میلی‌لیتر معرف B افزوده و به حجم رسانده شد. محلول‌های حاصل به ترتیب حاوی  $0/2 - 0/4 - 0/6 - 0/8 - 1$  میلی‌گرم در لیتر فسفر بود پس از ۱۰ دقیقه شدت

متقارب خواهد بود و بازیافت فسفر کودی قابل استخراج در محلول عصاره‌گیری (کارایی نسبی) با ظرفیت جذب خاک‌ها رابطه‌ی عکس دارد. او هم‌چنین معتقد است که ارتباط نزدیک بین آن قسمت از فسفری که سطوح اجزا خاک را در بر می‌گیرد، با مقدار فسفر عصاره‌گیری شده از طریق بی‌کربنات سدیم را می‌توان برای تخمین فسفر جذب شده‌ی خاک‌ها به‌کار برد (۱۶). کازاونه و همکاران (۱۹۷۱) معتقدند که وقتی ظرفیت جذب فسفر، عامل اصلی در تغییر غلظت فسفر محلول خاک به‌شمار می‌آید پخشیدگی فسفر به مجاورت ریشه گیاهی به ظرفیت جذب فسفر خاک محدود خواهد شد و جذب گیاهی فسفر را تحت تأثیر قرار خواهد داد (۱۵).

به عقیده‌ی کیو (۱۹۹۰) به‌علت همبستگی بالای میان عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم و ظرفیت جذب فسفر خاک، استفاده منفرد از این روش بدون داشتن اطلاعات لازم در زمینه‌ی ظرفیت جذب فسفری خاک غیرقابل استفاده است و تنظیم رابطه‌ی میان این دو جهت توصیه‌ی کودی اجتناب ناپذیر است (۱۶).

تغییرات انرژی جذب سری خاک‌های کرج ( $S_1$ )، کردامیر ( $S_2$ ) و آدران ( $S_3$ ) از ترتیب زیر تبعیت می‌کند.

$$Ks_1 = 2.95 > Ks_2 = 3.49 > Ks_3 = 20.43$$

تغییرات جذب حداکثر سه خاک به ترتیب زیر است:

$$b_{S_1} = 75.24 > b_{S_2} = 74.3 > b_{S_3} = 65.3$$

به‌علت پیچیده بودن ترکیب اجزا خاک توجیه تأثیر هر یک از عوامل (اکسیدهای آهن و آلومینیوم - رس - کربنات کلسیم و مواد آلی) بر روند پدیده‌ی تثبیت، مستلزم بررسی جداگانه‌ی آن‌هاست.

نتایج همدمای جذب هر سه خاک با معادله فروندلیچ مطابقت بیشتری نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی معادله فروندلیچ برای خاک‌های مذکور در جدول (۲)

فسفر به‌طور معنی‌داری با مقدار رس،  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$  و مواد آلی خاک همبستگی نشان می‌دهد (۲۷).

به عقیده‌ی هالفورد و ماتینگلی<sup>۱</sup> (۱۹۷۵) در خاک‌های آهکی میان فسفر و آنیون آلی جهت جذب بر روی سطوح جذب کننده رقابت وجود دارد. آنیون‌های مواد آلی از انرژی پیوندی فسفر جذب سطحی شده می‌کاهند. از این نظر نیز خاک آدران با داشتن ۱/۱۱ درصد ماده‌ی آلی طبیعی است که نسبت به خاک کرج و کردامیر (به ترتیب دارای ۰/۸ و ۰/۶ درصد ماده‌ی آلی) فسفر کم‌تری نگهداری خواهد کرد (۱۲).

به عقیده کیو (۱۹۹۰)، جذب حداکثر فسفر و غلظت محلول تعادلی از پارامترهای مهم در مطالعه‌ی سطوح فسفری مورد نیاز برای رشد بهینه محسوب می‌شود. تعیین این پارامترها هنگام تحقیق درباره‌ی فسفر قابل جذب خاک‌ها، قادر به توضیح تفاوت‌های میان خاک‌هاست و با استفاده از این مقادیر، گروه بندی خاک‌ها از نظر تأمین فسفر قابل جذب ساده‌تر خواهد شد.

تلفیق روش عصاره‌گیری مناسب برای خاک‌های یک منطقه، با اطلاعات به‌دست آمده از همدمای جذب، کالیبراسیون اولیه خاک‌ها جهت توصیه‌ی کودی را ممکن می‌سازد. کیو (۱۹۹۰) در یک تحقیق ارتباط بین روش عصاره‌گیری و ظرفیت جذب فسفر را مورد بررسی قرار داده است. او معتقد است که کود اضافه شده به خاک توسط سطوح اجزا خاک جذب می‌گردد و فسفر عصاره‌گیری شده به‌وسیله‌ی بی‌کربنات سدیم برحسب ظرفیت جذب فسفر خاک‌ها<sup>۲</sup>

1- Holford & Mattingly  
2- P-Sorption Capacity

با برآزش معادلات همبستگی میان فسفر اضافه شده در برابر غلظت تعادلی، شکل خطی این معادلات بالاترین همبستگی را نشان داد (جدول ۳). به کمک این معادلات غلظت تعادلی ۰/۳ میلی گرم در لیتر برای سه سری خاک کرج، کردامیر و آدران به ترتیب ۳۲/۶، ۳۴/۸۳ و ۶۸/۹۳ محاسبه گردید.

در پایان توصیه می شود همبستگی میان تثبیت فسفر و مقدار اکسیدهای آهن و آلومینیوم، نوع رس و ماده‌ی آلی به وسیله‌ی همدماهای جذب و رها شدن مورد بررسی قرار گیرد. هم چنین با تلفیق نتایج حاصل از کشت گیاه در شرایط گلخانه، و همدماهای جذب و رها شدن جهت کالیبراسیون آزمایشگاهی کود فسفوری اقدام شود.

ارایه شده است. پایین بودن انرژی جذب در خاک سری کرج نشان دهنده‌ی تمایل زیاد این خاک برای جذب سطحی فسفر می باشد. در مقایسه با جذب ماکزیمم، تغییرات مقدار انرژی جذب روند معکوسی دارد و خاک سری آدران دارای بیشترین انرژی جذب ( $K_3 = 20/43$ ) می باشد و خاک سری کردامیر ( $K_2 = 3/492$ ) و خاک سری کرج ( $K_1 = 2/95$ ) دارای انرژی جذب کمتری هستند. نمودارها تا غلظت تعادلی ۰/۷۵۲۷۲۵ میلی گرم در لیتر برای خاک کرج و ۰/۷۲۸۸۷۵ میلی گرم در لیتر برای خاک کردامیر و ۰/۲۸۵۴۲۵ میلی گرم در لیتر برای خاک آدران خطی بودند و ضریب همبستگی آن‌ها در سطح یک درصد معنی دار بود.

$$\log(x/m) = \log(k) + (1/n) \log(C)$$

جدول ۱- جذب حداکثر و انرژی جذب و ضریب همبستگی برای همدمای جذب لانگمیر

سری خاک	ضریب همبستگی r	جذب حداکثر b (μgr/gr)	انرژی جذب k
کرج (S1)	۰/۹۷۹	۷۵/۲۴	۲/۹۵
کردامیر S2	۰/۹۹۴	۷۴/۳	۳/۴۹
آدران S3	۰/۹۷۴	۶۵/۳	۲۰/۴۳

جدول ۲- نتایج جذب فسفر و شکل خطی معادله فروندلیچ در سه سری خاک کرج - کردامیر - آدران

سری خاک	معادله خطی فروندلیچ*	r	k	n
کرج (S1)	$\log(x/m) = 1.802 + 0.559 \log(C)$	۰/۹۹۹	۶۳/۳۶۴	۱/۷۸۸
کردامیر (S2)	$\log(x/m) = 1.835 + 0.569 \log(C)$	۰/۹۹۳	۶۸/۴۳۵	۱/۷۸
آدران (S3)	$\log(x/m) = 1.948 + 0.363 \log(C)$	۰/۹۹۷	۸۸/۶۱۲	۲/۷۵۶



جدول ۳- معادلات همبستگی خطی میان فسفر اضافه شده در مقابل غلظت محلول تعادلی

مقدار کود مصرفی برای رسیدن به غلظت تعادلی ۰/۳ میلی گرم در لیتر (µgr/gr)	ضریب همبستگی R	معادله همبستگی (فسفر اضافه شده = P، فسفر تعادلی = C)	سری خاک
۳۲/۶	۰/۹۹۳	$P = -0.168 + 0.0144 C$	کرج (S1)
۳۴/۸۳	۰/۹۸۱	$P = -0.182 + 0.01384C$	کردا میر (S2)
۶۸/۹۳	۰/۹۸۲	$P = -0.975 + 5.68 \cdot 10^{-3} C$	آدران (S3)

**منابع**

۱- سالارالدینی، ع. و مجتهدی، م. ۱۳۶۲. اصول تغذیه گیاه، جلد اول. جنبه‌های بنیادی، انتشارات دانشگاه تهران.

- Asher, C.J, and J.F. Loneragan, 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and growth. *Soil. Sci.* 103:311-318.
- Barrow. N. J. and T. C. Shaw. 1975 a. The slow reactions between soil and anions: 2. Effects of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in soil solution. *Soil Sci.* 119:167-177.
- Barrow, N. J., and T. C. Shaw. 1975 b. Sodium bicarbonate as an extractant for soil phosphate 1. Separation of the factors affecting the amount of phosphate displaced from soil from those affecting secondary adsorption. *Geoderma.* 16:91-107.
- Barrow, N. J., and T. C. Shaw. 1975 c. The slow reaction between soil and anions. 5. Effects of period of prior contact on the desorption of phosphate from soils. *Soil. Sci.* 119. 311- 320.
- Barrow, N. J., and T. C. Shaw. 1975. The slow reaction between soil and anions. 2. Effect of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. *Soil Sci.* 119: 167-177.
- Beckwith, R. S. 1964. Sorbet phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of phosphorus needs of soils. *Aust. J. Exp. Agr. and An. Hus.* 5: 52 – 58.
- Bell. L. C. and C. A. Black. 1970. Crystalline phosphate proceed by interaction of ortho-phosphate fertilizers with slightly acid and alkaline soils. *Soil. Soc. Am. Proc.* 34: 735 – 740.
- Bohn, H. L., and B. L. Mc Neal. G. A. O. Connor. 1979. *Soil Chemistry.* John. Wily and Sons. Publication.
- Bowman, R. A. and S. R. Olsen, 1985. Assessment of phosphorus buffering capacity .1. Laboratory methods. *Soil Sci.* 140: 287 – 291.
- Fox, R. L., and E. J. Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluting the phosphate requirements of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902 – 907.
- Holford, I. C. R., and G. Mattingly. 1975. The high and low – energy phosphate absorbing surface in calcareous soil. *J. Soil. Sci.* 26: 407 – 417.
- Hsu, P. H. and D. A. Rennie, 1962. Reaction of phosphate in aluminum systems. I. Adsorption of phosphate by x– ray amorphous aluminum hydroxide. *Can. J. Soil. Sci.* 42: 197– 209.
- Humphreys. F. R. and W. L. Pritchett. 1970. Phosphorus adsorption and movement in some sandy forest soils soil. *Soil. Soc. Am. Proc.* 35: 495 – 500.

15. Khasawneh , F. E , E . C . Sample, and E. J. Kamprath. 1980. The role of phosphorus in agriculture. P. 265– 360. Pub. (ASA – CSSA – SSSA.). 667. South Seago Road, Madison Wisconsin U.S.A. (ISBN: 0 – 89118 – 062 – 1)
16. Kuo, S. 1990. Phosphorus adsorption implication on phosphate soil test and uptake by corn. Soil Sci. Am. J. 45: 131 – 135.
17. Kuo, S., and E. G. Lotse. 1972. Kinetics of phosphate adsorption by calcium carbonate and Ca -kaolinit . Soil Sic. Soc. Am. Proc. 36: 725.
18. Kuo, S. and E. G. Lotse. 1974. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite Soil Sci. 119: 400 – 406.
19. Larsen, S. 1967. Soil phosphorus. Adv. Agro. 19: 151 – 210.
20. Murman, R. P. and M. Peech. 1969. Relative significance of labile and crystalline phosphates in Soil. Soil. Sci. 107: 299
21. Olsen, S. R. and F. S. Watanabe. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Longmuir isotherm. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 21: 144 – 149.
22. Rajan, S. S. S., and R. L. Fox. 1975. Phosphate adsorption by soils. II. Reaction in tropical acid soils. Soil. Sc. Am. Proc. 39: 846 – 851.
23. Rennie, D. A. and R. B. Mc Kercher. 1959. Adsorption of phosphorus by four Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 39: 64 – 75.
24. Talibudeen. P. 1958. Isotopically exchangeable phosphorus in soils. III. The fractionation of soil phosphorus. J. Soil Sci. 9: 120 – 129.
25. Vaidyanathan, L. V., and O. Talibudeen. 1970. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion – exchange resins. J. Soil Sci. 21: 173 – 183.
26. Withee, L. V., and Jr. Roscoe Ellis. 1965. Chang of phosphate potentials of calcareous soils on adding phosphorus. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 29: 511 – 514.
27. Williams, C. H. 1971. Reaction of surface applied super phosphate with soil. II. Movement of the phosphorus and sulphur in to the soil. Aust. J. Soil Res. 9: 95–106.