

برآورد فسفر قابل استفاده باقیمانده در برخی از خاکهای ایران

شاهین اوستان^۱ و حسن توفیقی^۲

۱، ۲، دانشجوی دوره دکتری و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله ۸۲/۱۰/۳

خلاصه

برای انجام توصیه کودی نسبتاً دقیق، برآورد قابل قبولی از فسفر قابل استفاده باقیمانده در خاک مورد نیاز می‌باشد. به منظور پیش بینی مقدار فسفر باقیمانده در خاک با استفاده از یک مدل، وابستگی زمانی بازیابی کود فسفر در تعدادی از خاکهای ایران مورد مطالعه قرار گرفت. تعداد ۳۰ نمونه مرکب خاک که دربرگیرنده دامنه وسیعی از ویژگیهای مرتبط با این تحقیق بودند از نقاط مختلف کشور جمع آوری گردید. به خاکهای جمع آوری شده مقادیر صفر، ۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر اضافه گردیده و در رطوبت ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه تحت شرایط گلخانه به مدت ۳۶۵ روز نگهداری شدند. در فواصل زمانی معین از خاکها نمونه برداری شده و فسفر قابل استخراج نمونه‌های مرطوب به روش اولسن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش بازیابی کود فسفر در کلیه خاکها در ابتدا شدید بوده و سپس کند می‌شود. همچنین معادله زیر دارای بهترین برازش به داده‌های به دست آمده است: $R=100/(1+kt^b)$ ، که در آن R درصد بازیابی در زمان t و k و b ثابتهای تجربی معادله می‌باشند. دامنه مقادیر ثابتهای k و b در ۲۵ خاک قلیایی مورد آزمایش به ترتیب ۰/۱۹ تا ۰/۷۳ و ۰/۱۱ تا ۰/۵۵ بوده، در حالی که در چهار خاک اسیدی به ترتیب ۰/۸۶ تا ۱/۸۳ و ۰/۰۸۵ تا ۰/۲۱۱ می‌باشد. ثابتهای k و b با برخی از ویژگیهای خاک دارای همبستگی می‌باشند. ثابت k در خاکهای قلیایی با مقادیر رس عاری از کربنات، اکسید آهن آزاد و کربنات کلسیم معادل فعال همبستگی داشته، در حالی که همین ثابت در خاکهای اسیدی با pH همبستگی دارد. همچنین ثابت b در خاکهای قلیایی با مقادیر کربن آلی و pH همبستگی داشته، در حالی که در خاکهای اسیدی بین این ثابت و مقدار اکسید آهن آزاد همبستگی خوبی به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: فسفر قابل استفاده باقیمانده، درصد بازیابی، روش اولسن.

مقدمه

مسائلی از قبیل هزینه‌های کودی، غنی شدن آبهای سطحی از فسفر و کمبود آهن و روی ناشی از زیادی فسفر قابل استفاده در خاک سبب شده‌اند که نیاز به توصیه‌های کودی دقیقتر بیش از پیش احساس شود. لذا، کوششهای بسیاری به عمل آمده است تا با آگاهی از مقادیر باقیمانده کودهای فسفر، پیش بینی دقیقتری از نیاز کودی این عنصر غذایی به عمل آید.

نتایج بسیاری از آزمایشات نشان داده است که به دنبال اضافه کردن یک منبع محلول فسفر به خاک، میزان فسفر قابل استخراج به واسطه واکنش با خاک به سرعت کاهش می‌یابد. این کاهش سریع، کاهش کندتری به دنبال دارد که چندین سال طول می‌کشد (۲۵). محققان متعددی سعی کرده‌اند تا مدلی را برای پیش‌بینی کاهش فسفر قابل استخراج خاک ارائه نمایند. لارسن و پروبرت (۱۹۶۸) مدلی نظری را پیشنهاد کردند

که بر مبنای آن کاهش اثر بخشی کود فسفر در خاک از سینتیک مرتبه اول پیروی می‌نماید. بعدها این محققان نتیجه گرفتند که یک معادله مرتبه اول به تنهایی کافی نبوده و باید برای هر یک از منابع تأمین کننده فسفر قابل استخراج معادله مرتبه اول جداگانه‌ای را در نظر گرفت (۴). با اینحال، در مدل ارائه شده توسط راسل (۱۹۷۷) نیز تنها یک ثابت سرعت برای منبع تأمین کننده فسفر قابل استخراج در نظر گرفته شده است. همچنین فیتز (۱۹۷۴) در خاکهای مورد بررسی خود یک معادله مرتبه اول را مناسب یافته است. در معادله تجربی کوکس و همکاران (۱۹۸۱) نیز کاهش فسفر قابل استخراج با زمان به صورت نمایی می‌باشد. این کاهش نمایی در مدل ارائه شده به وسیله جونز و همکاران (۱۹۸۴) نیز دیده می‌شود. پروبرت و لارسن (۱۹۷۲) بعد از عدم موفقیت در تفکیک منابع مختلف تأمین کننده فسفر قابل استخراج، معادله دیگری را ارائه کردند. بارو و شو (۱۹۷۵) نشان دادند که این معادله را می‌توان از معادله‌ای که مجموع واکنشهای مرتبه اول را شامل می‌شود به دست آورد. کارایی این معادله در بررسی تغییرات زمانی فسفر قابل استفاده برای گیاه، فسفر محلول و بازیابی فسفر به روش تبادل ایزوتوپی به اثبات رسیده است. مدل‌های تجربی بودن و بنت (۱۹۷۶) و هلیار و گودن (۱۹۷۶) نیز با مدل یاد شده مشابهت دارند. با این وجود، برخی محققان کاهش فسفر قابل استخراج با زمان را به صورت خطی گزارش کرده‌اند (۴۱، ۴۳). همچنین معادلات درجه سه نیز توسط اسپرات و همکاران (۱۹۸۰) گزارش شده است. صمدی و جیلکز (۱۹۹۹) نیز یک معادله سینتیکی مرتبه دوم را ارائه داده‌اند. همچنین رایان و همکاران (۱۹۸۵) و بادیانتا و وندردیلن (۲۰۰۰) نیز یک معادله تابع توانی را مناسب یافته‌اند. برخی محققان نیز موفق به ارائه مدلی نشده‌اند (۱).

نتایج فوق حاکی از آن است که الگوی کاهش قابلیت استفاده فسفر در خاک پیچیده بود و برای خاکهای مختلف متفاوت است. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی امکان ارائه مدلی برای پیش بینی میزان فسفر قابل استفاده خاک در زمانهای مختلف بعد از کوددهی در برخی از خاکهای کشور بوده است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۳۰ نمونه خاک، به صورت نمونه مرکب از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری مناطق مختلف جمع‌آوری گردید. انتخاب

نمونه‌ها بر مبنای زیر گروههای غالب در کشور انجام گرفت. همچنین خاکهای مورد نمونه‌برداری در سالهای اخیر کود فسفر دریافت نکرده بودند. خاکها بعد از هوا خشک شدن از غربال ۲ میلی متری عبور داده شده و در آنها pH گل اشباع (۴۴)، بافت (۹)، رس عاری از کرینات (۱۹)، کرینات کلسیم معادل (۳۱)، کرینات کلسیم معادل فعال (۱۶، ۱۷) کرین آلی (۳۰)، فسفر قابل استخراج به روش اولسن (۲۶)، اکسید آهن آزاد (۲۴) و رطوبت ظرفیت مزرعه (۱۲) اندازه‌گیری شد. به هر یک از خاکها مقادیر صفر، ۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر به صورت منوکلسیم فسفات اضافه گردیده و سپس با اسپری کردن آب مقطر و مخلوط کردن به رطوبت ظرفیت مزرعه رسانیده شدند. خاکهای مرطوب در گلدانهای پلاستیکی درب دار که با هوا در تبادل بودند نگهداری گردیدند. این آزمایش در دو تکرار انجام گرفت. گلدانها از شهریور ۱۳۸۰ به مدت یک سال در رطوبت ۸۵ درصد ظرفیت مزرعه در گلخانه نگهداری شدند. حداکثر دمای گلخانه در تابستان ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده و در زمستان کنترلی از نظر دما صورت نگرفت. در فواصل زمانی ۱، ۷، ۱۴، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۲۷۰ و ۳۶۵ روز و با استفاده از یک مته خاص از خاک گلدانها نمونه‌برداری گردیده و بلافاصله فسفر قابل استخراج نمونه‌های مرطوب به روش اولسن اندازه‌گیری شد. آنگاه، درصد بازیابی کود فسفر از رابطه زیر به دست آمد:

$$R = [(Q_{ex} - Q_{ex0}) / Q_a] \times 100$$

که در آن R، درصد بازیابی؛ Q_a ، مقدار فسفر اضافه شده به خاک؛ Q_{ex} ، مقدار فسفر استخراج شده از تیمارهای کودی و Q_{ex0} ، مقدار فسفر استخراج شده از تیمار شاهد، است.

نتایج و بحث

ویژگیهای خاکها

به عقیده بارو (۱۹۸۰) یکی از دلایل عدم موفقیت محققان در بررسیهای از این قبیل آن است که مطالعه به یک منطقه خاص محدود می‌شود، لذا در این بررسی نمونه‌ها به نحوی انتخاب گردیدند که در برگزیده طیف نسبتاً وسیعی از تغییرات باشند. جدول ۱ برخی از ویژگیهای خاکهای مورد استفاده در این بررسی را نشان می‌دهد. از ۳۰ نمونه انتخاب شده ۲۶ نمونه قلیایی و ۴ نمونه اسیدی می‌باشد.

برازش معادله

برازش معادلات مختلف به داده‌های به دست آمده نشان داد که معادله زیر دارای بهترین برازش است:

$$R = 100 / (1 + kt^b)$$

که در آن R درصد بازیابی در زمان t و k و b ثابتهای تجربی می‌باشند. در شکل‌های ۱ تا ۶ برازش این معادله به داده‌های بعضی از خاکها نشان داده شده است. جدول ۲ نیز ضرایب تعیین (r^2) معادله را برای خاکهای مورد بررسی (۲۹ نمونه خاک) نشان می‌دهد و گویای آن می‌باشد که این معادله به خوبی بر داده‌ها تطبیق یافته است.

جدول ۱- ویژگیهای خاکهای مورد بررسی*

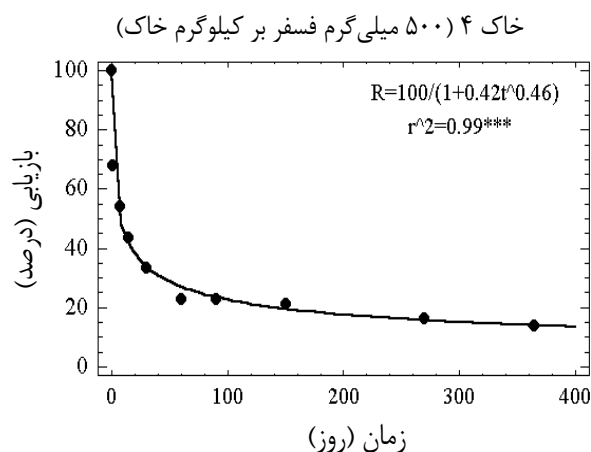
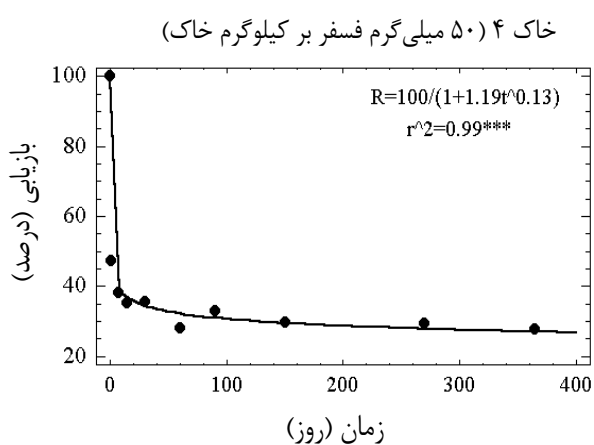
ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
رس عاری از کربنات (گرم بر کیلوگرم)	۵۸	۴۶۸	۲۵۰	۱۰۰
اکسید آهن آزاد (گرم بر کیلوگرم)	۳/۴	۱۷/۴	۹/۵	۳/۷
کربنات کلسیم معادل* (گرم بر کیلوگرم)	۷/۱	۵۸۷	۱۶۹	۱۶۴
کربنات کلسیم معادل فعال* (گرم بر کیلوگرم)	۳/۲	۲۳۲	۵۵	۶۲
pH گل اشباع	۵/۳	۷/۸	۷/۳	۰/۶۵
کربن آلی (گرم بر کیلوگرم)	۱/۹	۴۷/۸	۱۲/۳	۱۰/۲
فسفر (روش اولسن) (میلی گرم بر کیلوگرم)	۴/۱	۶۰/۲	۱۷/۶	۱۳/۴
ظرفیت مزرعه (گرم بر کیلوگرم)	۷۲	۴۱۸	۲۴۶	۸۷

* مقادیر مربوط به ۲۶ نمونه خاک آهکی می‌باشد.

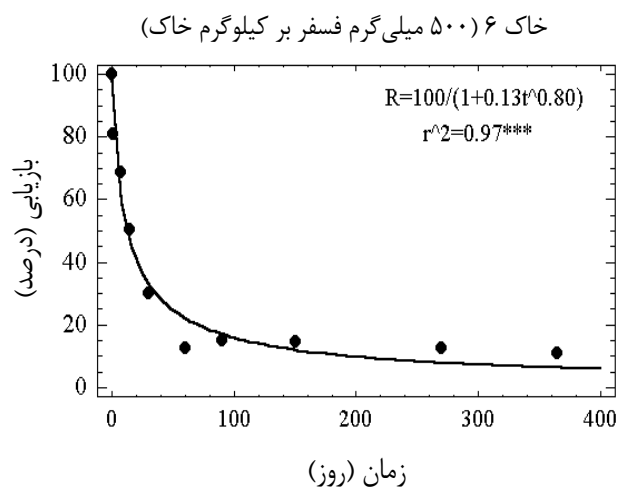
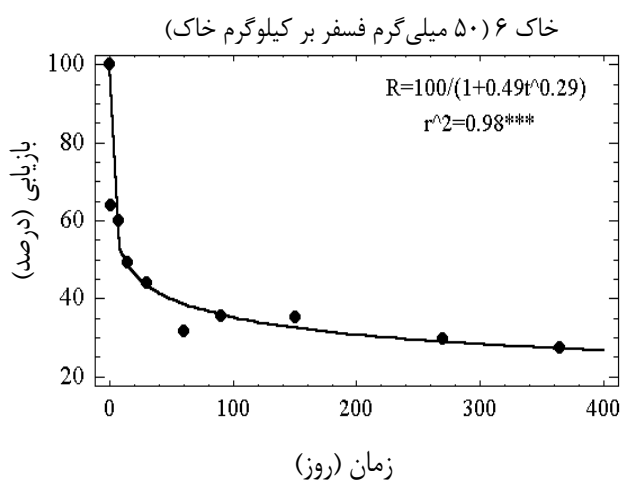
جدول ۲- ثابتهای تجربی k و b ضرایب تعیین (r^2) معادله برای خاکهای مورد بررسی*.

تیمار ۵۰۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک			تیمار ۵۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک			شماره خاک
r^2	b	k	r^2	b	k	
۰/۸۹	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۵۷	۱
۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۳۴	۰/۹۹	۰/۱۴	۱/۰۳	۲
۰/۹۷	۰/۵۱	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۱۵	۱/۰۸	۳
۰/۹۹	۰/۴۶	۰/۴۲	۰/۹۹	۰/۱۳	۱/۱۹	۴
۰/۹۹	۰/۵۹	۰/۳۰	۰/۹۸	۰/۱۲	۱/۲۲	۵
۰/۹۷	۰/۸۰	۰/۱۳	۰/۹۸	۰/۲۹	۰/۴۹	۶
۰/۹۶	۰/۶۳	۰/۱۴	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۸۵	۷
۰/۹۸	۰/۶۸	۰/۱۷	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۷۵	۸
۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۴۳	۰/۹۷	۰/۰۸۷	۰/۸۰	۹
۰/۹۷	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۹۹	۱۰
۰/۹۶	۰/۶۵	۰/۱۶	۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۸۷	۱۱
۰/۷۵	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۹۸	۰/۰۵۵	۰/۷۸	۱۲
۰/۸۶	۰/۳۸	۰/۱۵	۰/۹۶	۰/۱۸	۰/۵۴	۱۳
۰/۹۱	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۰۸۸	۱/۲۱	۱۴
۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۵۱	۰/۹۷	۰/۱۷	۱/۰۰	۱۵
۰/۸۷	۰/۶۳	۰/۰۷۰	۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۷۲	۱۶
۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۹۵	۱۷
۰/۸۱	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۹۸	۰/۰۷۰	۱/۰۰	۱۸
۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۵۲	۰/۹۸	۰/۰۸۸	۱/۰۵	۱۹
۰/۹۳	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۹۹	۰/۱۵	۱/۰۷	۲۰
۰/۹۹	۰/۱۲	۱/۲۸	۰/۹۹	۰/۰۴۳	۲/۷۵	۲۱
۰/۸۳	۰/۳۶	۰/۰۹۲	۰/۹۷	۰/۱۹	۰/۴۰	۲۲
۰/۹۹	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۹	۰/۲۰	۱/۳۳	۲۳
۰/۹۹	۰/۱۴	۱/۷۸	۰/۹۸	۰/۲۴	۱/۸۰	۲۴
۰/۹۹	۰/۱۸	۱/۰۸۳	۰/۹۸	۰/۲۶	۱/۳۱	۲۵
۰/۹۹	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۶۵	۲۶
۰/۸۱	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۹۷	۲۷
۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۰۵۶	۰/۹۳	۰/۳۲	۰/۴۱	۲۸
۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۰۴۵	۰/۹۶	۰/۲۷	۰/۵۰	۲۹

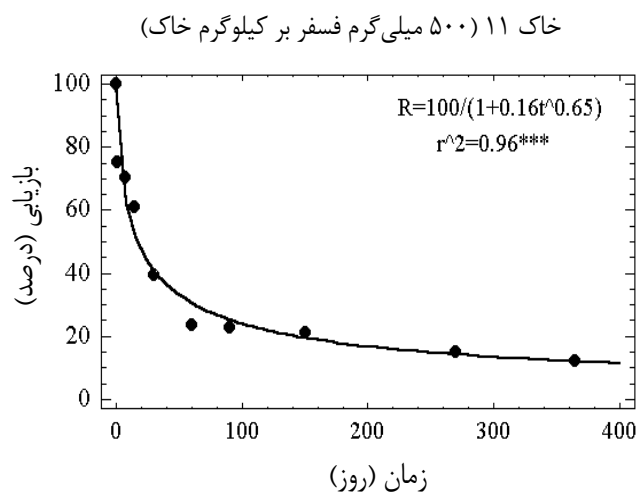
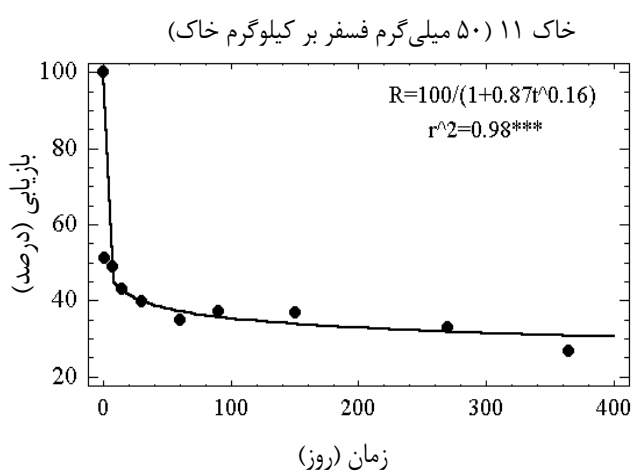
* کلیه ضرایب تعیین (r^2) در سطح ۰/۱ درصد معنی دارند.



شکل ۱ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۴.

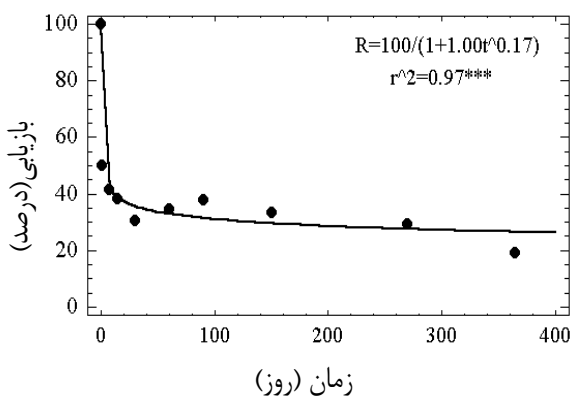


شکل ۲ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۶.

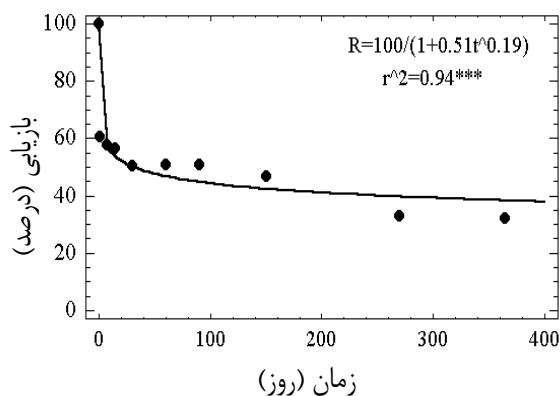


شکل ۳ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۱۱.

خاک ۱۵ (۵۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)

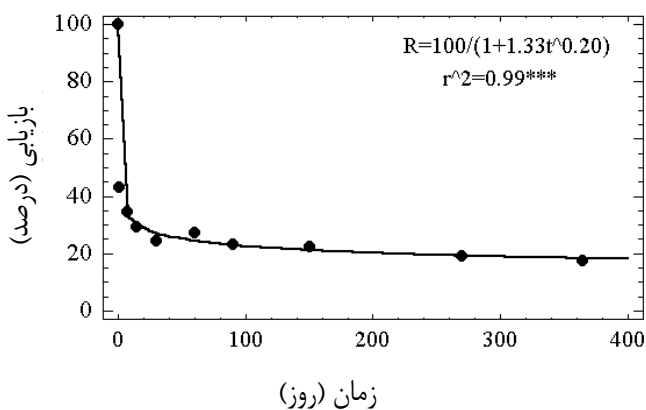


خاک ۱۵ (۵۰۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)

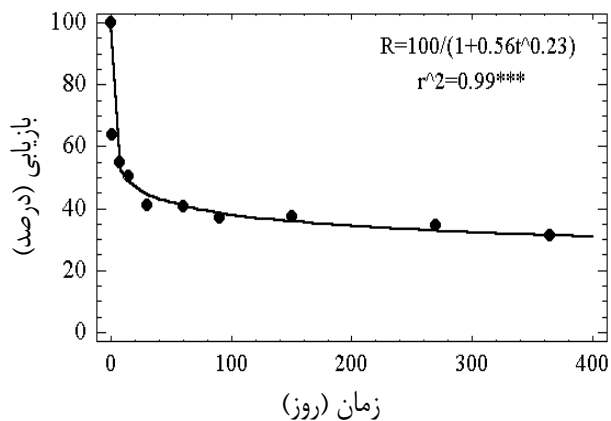


شکل ۴ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۱۵.

خاک ۲۳ (۵۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)

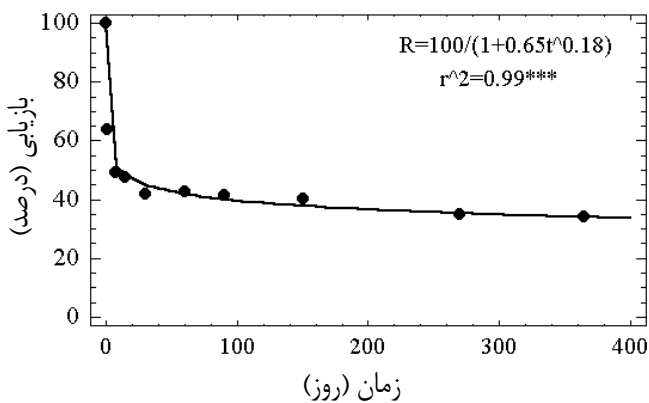


خاک ۲۳ (۵۰۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)

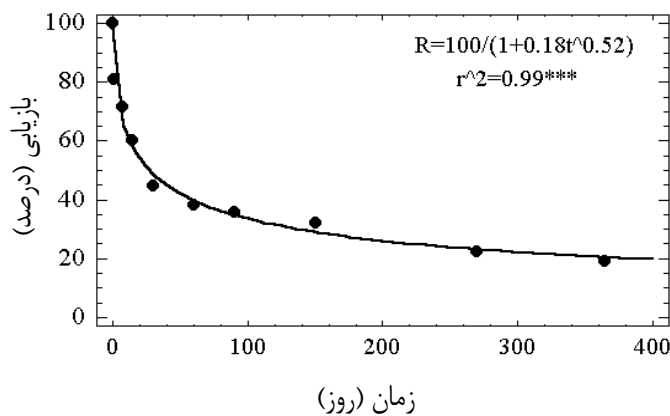


شکل ۵ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۲۳

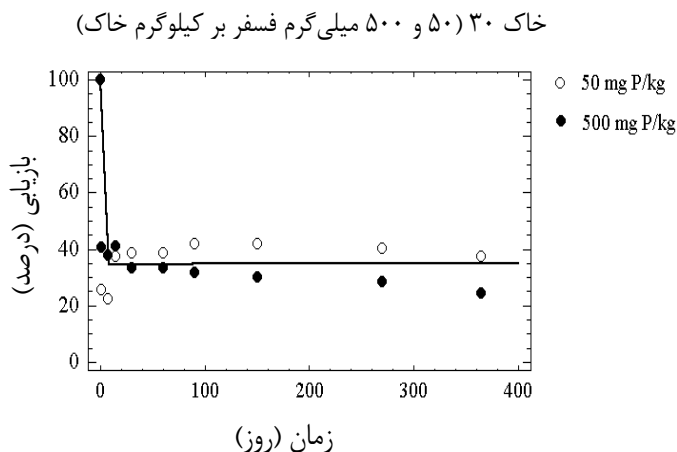
خاک ۲۶ (۵۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)



خاک ۲۶ (۵۰۰ میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک)



شکل ۶ - برازش معادله به داده های خاک شماره ۲۶.



شکل ۹ - تغییرات زمانی بازیابی کود فسفر در خاک گچی.

جدول ۳ - دامنه و میانگین ثابتهای تجربی معادله برازش یافته به خاکهای مورد بررسی.

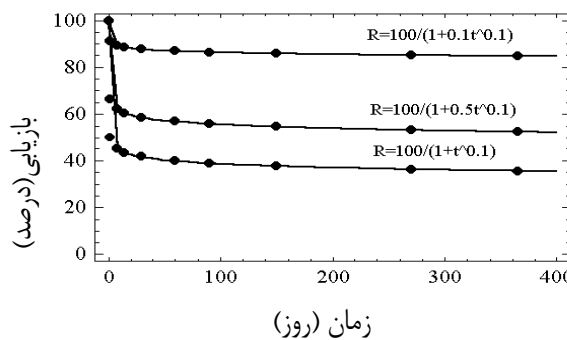
نوع خاک		ثابت k		ثابت b	
دامنه	میانگین	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین
خاکهای قلیایی (n = ۲۵)					
۰/۱۹-۰/۷۳	۰/۴۸	۰/۱۱-۰/۵۵	۰/۲۷		
خاکهای اسیدی (n = ۴)					
۰/۸۶-۱/۸۳	۱/۴۴	۰/۸۵-۰/۲۱۱	۰/۱۷		

میزان فسفر قابل استفاده باقیمانده در خاک پس از کوددهی می‌کاهد.

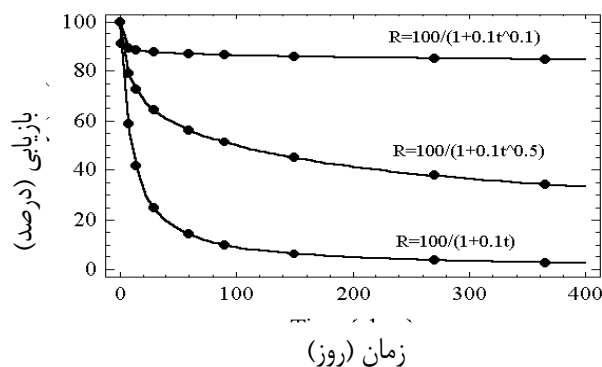
مقایسه مقادیر ثابتهای تجربی k و b در دو دسته خاکهای قلیایی و اسیدی نشان می‌دهد که ثابت k مربوط به خاکهای اسیدی به طور معنی‌داری بزرگتر از ثابت k مربوط به خاکهای قلیایی بوده ولی مقادیر ثابت b مربوط به این دو گروه خاک تفاوت معنی‌داری ندارند.

به طوری که از معادله برازش یافته نیز برمی‌آید، بین درصد بازیابی و زمان یک رابطه‌ی هایپربولیک برقرار است و لذا بین درصدهای بازیابی کوتاه مدت و بلند مدت نیز همبستگی خطی وجود ندارد. این موضوع با نتایج تحقیقات ایندیاتی و همکاران (۱۹۹۹) که بین این دو همبستگی خطی قوی را گزارش کرده‌اند مغایرت دارد.

در یک نمونه خاک گچی که نتایج آن در جداول ۲ و ۳ گنجانیده نشده است، کاهش شدیدی در مقدار فسفر قابل استخراج تا ۲۴ ساعت بعد از کوددهی مشاهده می‌شود، ولی در زمانهای طولانی‌تر روند کاهشی بسیار کندتر است (شکل ۹). به نظر می‌رسد که بالا بودن فعالیت یون کلسیم در محلول



شکل ۷ - نمودارهای برازش معادله در حالت b ثابت و k متغیر.



شکل ۸ - نمودارهای برازش معادله در حالت k ثابت و b متغیر.

تأثیر تغییر ثابتهای این معادله بر الگوی کاهش بازیابی کود فسفر در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. این معادله با معادله ارائه شده توسط پروبرت و لارسن (۱۹۷۲) مشابهت دارد $[R = 100/(1+kt)^b]$. با این تفاوت که تغییرات ثابت تجربی k متأثر از تغییرات ثابت تجربی b نبوده و به عبارت دیگر، این دو ثابت مستقل از یکدیگر می‌باشند. بنابراین، علاوه بر اینکه دامنه تغییرات ثابت k کاهش می‌یابد، امکان بررسی رابطه ثابتهای مزبور با ویژگیهای خاک نیز میسر می‌گردد. همچنین بر خلاف معادله پروبرت و لارسن (۱۹۷۲) این معادله به سهولت به شکل خطی زیر در می‌آید:

$$\log \left(\frac{100 - R}{R} \right) = \log k + b \log t$$

جدول ۳ دامنه و میانگین ثابتهای به دست آمده از برازش این معادله بر کل داده‌های خاکهای مورد بررسی (شامل هر دو تیمار کودی) را نشان می‌دهد. دامنه وسیع ثابتهای تجربی k و b مربوط به خاکها نشان دهنده تنوع زیاد خاکها از لحاظ ویژگیهای مرتبط با تثبیت فسفر و پیچیدگی آن می‌باشد و این موضوع از ارزش میانگین‌های این دو ثابت تجربی در برآورد

تاثیر مثبت مواد آلی در جلوگیری از غیر قابل استفاده شدن فسفر در خاکهای قلیایی است. نقش مواد هومیک خاک در جلوگیری از رسوب فسفات‌های کلسیم کم محلولتر توسط اینسکیپ و سیلورتوت (۱۹۸۸) نشان داده شده است. نتایج کارهای عفیف و همکاران (۱۹۹۳) نیز این موضوع را نشان می‌دهد. در عین حال، صمدی و جیلکز (۱۹۹۹) بین بازیابی کود فسفر و مقدار کربن آلی خاک همبستگی منفی گزارش کرده‌اند و در نتایج رایان و همکاران (۱۹۸۵) نیز همبستگی معنی‌داری ملاحظه نمی‌شود. نتایج این تحقیق ضرورت افزایش میزان مواد آلی خاکها را به منظور کاستن از غیر قابل استفاده شدن فسفر بعد از کوددهی نشان می‌دهد. همبستگی مثبت ثابت تجربی b_{AL} با pH نشان می‌دهد که غیر قابل استفاده شدن فسفر در خاکهای قلیایی با افزایش pH تشدید می‌شود که این موضوع با نتایج تحقیق باریوزف و اکیری (۱۹۷۸) مطابقت دارد. نتایج تحقیقات لارسن و همکاران (۱۹۶۵) و بل و بلک (۱۹۷۰) نیز موید همین مطلب است. این محققان بر این اعتقادند که سرعت تشکیل فسفات‌های کلسیم کم محلولتر با افزایش pH افزایش می‌یابد. با این وجود، عفیف و همکاران (۱۹۹۳) عکس این موضوع را گزارش کرده‌اند. برخی از محققان مانند ابراهیم و پرات (۱۹۸۲) نقش هیچ‌یک از ویژگیهای خاک را در کاهش قابلیت استخراج فسفر در خاکهای قلیایی ملاحظه نکرده‌اند.

همبستگی منفی ثابت تجربی k_{AC} با pH حاکی از آن است که با افزایش pH در خاکهای اسیدی و نزدیک شدن به pH خنثی از میزان غیر قابل استفاده شدن فسفر اضافه شده به خاک کاسته می‌شود. با افزایش pH از جذب سطحی شدن فسفر به وسیله اکسیدهای آهن و آلومینیم کاسته شده (۴۲) و نیز بر حلالیت کانیهای فسفات آهن و آلومینیم افزوده می‌گردد. این موضوع با نتایج تحقیقات اولسن و واتانابه (۱۹۵۴) و اگنبن و تایسن (۱۹۹۵) مطابقت دارد. همچنین همبستگی مثبت ثابت تجربی b_{AC} با Fe_d نشانگر نقش اکسیدهای آهن در غیر قابل استفاده شدن فسفر در خاکهای اسیدی می‌باشد که توسط سایر محققان نیز نشان داده شده است (۳۳). پاریت (۱۹۸۹) عقیده دارد که جذب کند فسفر به وسیله اکسیدهای آهن و آلومینیم نتیجه انتشار فسفر به داخل ساختار کانیهای مزبور می‌باشد.

با توجه به معادلات رگرسیون فوق، به نظر می‌رسد که

خاکهای گچی نقش موثری در کاهش قابلیت استخراج فسفر در این خاکها داشته باشد.

ارتباط ثابتهای تجربی معادله با ویژگیهای خاک

در خاکهای قلیایی، ثابت تجربی k با مقادیر رس عاری از کربنات (CL)، اکسید آهن آزاد (Fe_d) و کربنات کلسیم معادل فعال (ACCE) در ارتباط بوده و این ویژگیها ۷۲ درصد از تغییرات مربوط به این ثابت را توضیح می‌دهند. رس عاری از کربنات خاک به تنهایی ۴۹ درصد از تغییرات مربوط به ثابت k را توضیح می‌دهد:

$$k_{AL} = -0.095 + 0.0007CL + 0.037Fe_d + 0.001ACCE$$

$$r^2 = 0.72***$$

همچنین ثابت تجربی b با مقادیر کربن آلی (OC) و pH در ارتباط بوده و این ویژگیها ۵۳ درصد از تغییرات مربوط به این ثابت را توضیح می‌دهند. کربن آلی خاک به تنهایی ۴۳ درصد از تغییرات مربوط به ثابت b را توضیح می‌دهد:

$$b_{AL} = -2.384 - 0.009 OC + 0.362pH$$

$$r^2 = 0.53***$$

در چهار خاک اسیدی مورد مطالعه، ثابت تجربی k با pH در ارتباط بوده و این ویژگی ۹۳ درصد از تغییرات مربوط به این ثابت را توضیح می‌دهد:

$$k_{AC} = 5.173 - 0.638 pH$$

$$r^2 = 0.93*$$

همچنین ثابت تجربی b با مقدار اکسید آهن آزاد (Fe_d) در ارتباط بوده و این ویژگی ۹۷ درصد از تغییرات مربوط به این ثابت را توضیح می‌دهد:

$$b_{AC} = -0.188 + 0.023 Fe_d$$

$$r^2 = 0.97*$$

معادله رگرسیون مربوط به k_{AL} اهمیت مقادیر رس، اکسید آهن آزاد و کربنات کلسیم معادل فعال خاک را در پیش بینی درصد بازیابی کود فسفر در خاکهای قلیایی نشان می‌دهد. اهمیت مقادیر رس (۶، ۱۵)، اکسید آهن آزاد (۳۷) و کربنات کلسیم معادل (۳۹، ۴۰) توسط سایر محققان نیز نشان داده شده است. بوررو و همکاران (۱۹۸۸) اهمیت همزمان هر سه ویژگی را گزارش کرده‌اند. همچنین کاسترو و تورنت (۱۹۹۵) و صمدی و جیلکز (۱۹۹۹) بر اهمیت نسبت $Fe_d / ACCE$ تاکید دارند. نتایج به دست آمده از این تحقیق اهمیت توجه به میزان رس خاک را در توصیه‌های کودی نشان می‌دهد. همبستگی منفی ثابت تجربی b_{AL} با مقدار کربن آلی نشانگر

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از طرح «بررسی اثر بخشی فسفر در برخی از خاکهای ایران» به شماره ۷۱۴/۳/۶۵۱ می‌باشد و با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

پیش‌بینی بازبایی کود فسفر در خاکهای قلیایی بسیار پیچیده بوده و حتی آگاهی از پنج ویژگی خاک نیز برای برآورد نسبتاً دقیق ثابتهای تجربی k و b در این خاکها کافی نمی‌باشد. اما در خاکهای اسیدی مورد مطالعه، این پیش‌بینی با دانستن دو ویژگی خاک به صورت قابل قبولی امکان پذیر است.

REFERENCES

1. Afif, E., A. Matar, & J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 756-760.
2. Agbenin, J.O. & H. Tiessen. 1995. Phosphorus sorption at field capacity and soil ionic strength; kinetics and transformation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 998-1005.
3. Barrow, N.J. 1980. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soils. p. 333-359. In F.E. Khasawneh et al. (eds) *The role of phosphorus in agriculture*. Am. Soc. of Agron., Madison, WI.
4. Barrow, N.J. & E. Carter. 1978. A modified model for evaluating residual phosphate in soil. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 1011-1021.
5. Barrow, N. J., & T. C. Shaw. 1975. The slow reactions between soil and anions. 3. The effects of time and temperature on the decrease in isotopically exchangeable phosphate. *Soil Sci.* 119: 190-197.
6. Bar-Yosef, B. & B. Akiri. 1978. Sodium bicarbonate extraction to estimate nitrogen, phosphorus, and potassium availability in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 319-323.
7. Bell, L.C. & C.A. Black. 1970. Transformation of dibasic calcium phosphate dihydrate and octacalcium phosphate in slightly acid and alkaline soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 583-587.
8. Borrero, C., F. Pena, & J. Torrent. 1988. Phosphate sorption by calcium carbonate in some soils of the Mediterranean part of Spain. *Geoderma* 42: 261-269.
9. Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
10. Bowden, J. W. & D. Bennett. 1976. The decide model for predicting superphosphate requirement. *Proc. Symp. Phosphate in Agriculture*, 1974.
11. Budianta, D. & J. Vanderdeelen. 2000. Short-term evaluation of phosphorus in an ultisol. *Commun Soil Sci. Plant. Anal.* 31 (19 & 20): 3135-3146.
12. Cassel, D.K. & D.R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. p. 901-926. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Castro, B. & J. Torrent. 1995. Phosphate availability in calcareous Vertisols and Inceptisols in relation to fertilizer type and soil properties. *Fer. Res.* 40: 109-119.
14. Cox, F.R. E. J. Kamprath, & R.E. McCollum. 1981. A descriptive model of soil test nutrient levels following fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 529-532.
15. Cox, F.R. 1994. Predicting increases in extractable phosphorus from fertilizing soils of varying clay content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1249-1253.
16. Day, R.A. & A. L. Underwood. 1980. *Quantitative analysis*. Prentice-Hall. Inc.
17. Del Campillo, M.C., J. Torrent, & R. H. Loeppert. 1992. The reactivity of carbonates in selected soils of Southern Spain. *Geoderma* 52: 149-160.
18. Fitter, A. H. 1974. A relationship between phosphorus requirement, the immobilization of added phosphate, and the phosphate buffering capacity of Colliery shales, *J. Soil Sci.* 25: 41-50.
19. Gee, G. W. & J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
20. Helyar, K. R. & Godden, D. P. 1976. The biology and modeling of fertilizer responses. *J. Aust Inst. Agric. Res.* 43: 22-30.

21. Ibrahim, H.S. & P.F. Pratt. 1982. Effects of rate of application and time on phosphorus sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 926-928.
22. Indiati, R., E. Coppola, & A. Buondonno. 1999. Changes of soil phosphorus availability in Italian Alfisols as estimated by short-term soil phosphorus equilibration procedures using Olsen, Mehlich III, and paper-strip methods. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 30 (788): 983-997.
23. Inskeep, W. P. & J. C. Silvertooth. 1988. Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic, and tannic acids. *Soil Sci. Soc. Am.* 52: 941-946.
24. Jackson, M.L. C. H. Lim, & L.W. Zelanzky. 1986. Oxides, hydroxides, and aluminosilicates. p.101-150. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
25. Jones, C. A., C. V. Cole, A. N. Sharpley & J. R. Williams. 1984. A Simplified soil and plant phosphorus model: I. Documentation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 800-805.
26. Kuo, S. 1996. Phosphorus. p.869-919. In D. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3.* 3rd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
27. Larsen, S., D. Gunary, & C. D. Sutton. 1965. Rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. *J. Soil Sci.* 16: 141-148.
28. Larsen, S. & Probert M. E. 1968. A theoretical treatment of the maintenance of Soil phosphorus status. *Int. Superphosphate Manuf. Bull. Doc.* 51, "Phosphorus in Agriculture".
29. McLean, E. O., T. G. Arscott, & M.A. Hannan. 1983. An evaluation of soil solution and chemical extraction methods for assessing phosphorus availability to wheat plants grown in Ohio and Bangladesh soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14: 1-13.
30. Nelson, D. W. & L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In A. L. Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
31. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. p.181-197. In A.L. Page (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. American Society of Agronomy Madison, WI.
32. Olsen, S. R. & F.S. Watanabe. 1954. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21: 144-149.
33. Owusu-Bennoah, E. & D.K. Acquaye. 1989. Phosphate sorption characteristics of selected major Ghanaian soils. *Soil Sci.* 148: 114-123.
34. Parfitt, R. H. 1989. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *J. Soil Sci.* 40: 359-369.
35. Probert, M.E. & S. Larsen. 1972. The kinetics of heterogeneous isotopic exchange. *J. Soil Sci.* 23:76-81.
36. Russell, J.S. 1977. Evaluation of residual nutrients in soils. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 461-472.
37. Ryan, J., H. M. Hasan, M. Bassiri, & H. S. Tabbara. 1985. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous Lebanese soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1215-1220.
38. Sammadi, A. & R. J. Gilkes. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of Southern Western Australia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63 : 809-815.
39. Sharpley, A. N., C. A. Jones, C. Gray, & C.V. Cole. 1984. A simplified soil and plant phosphorus model: II. Prediction of labile, organic, and sorbed phosphorus. *Soil Sci. Am. J.* 48: 805-809.
40. Sharpley, A.N., U. Sing, G. Uehara, & J. Kimble. 1989. Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 153-158.
41. Spratt, E. D., F. G. Warder. L. D. Bailey, & W.L. Read. 1980. Measurement of fertilizer phosphorus residues and its utilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1200-1204.
42. Tisdale, S.L., W.L. Nelson. & J. D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizers.* Macmillan, Inc.
43. Vanderdeelen, J. 1995. Phosphate immobilization in an uncropped field experiment on a calcareous soil. *Plant Soil.* 171: 209-215.
44. U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* U.S. Dep. of Agriculture Handbook no. 60, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Prediction of Residual Available Phosphorus in Some Soils of Iran

SH.OUSTAN¹ AND H.TOWFIGHI²

1, 2, Ph.D. Student & Associate Professor, Faculty of Agriculture,
University of Tehran, Karaj, Iran

Accepted Dec. 24, 2003

SUMMARY

A reliable estimation of the amount of residual available P in soil is needed for a relatively accurate fertilizer recommendation. In an attempt to predict the amount of residual P by means of a model, the kinetics of recovery of applied P were studied in different soils of Iran. Thirty composite soil samples covering wide range in relevant properties were collected from different areas of the country. The soils were treated with 0, 50 and 500 mg P kg⁻¹ and incubated at 85 % field capacity under greenhouse conditions for 365 days. Samples of the soils were taken at certain intervals and were extracted at the same moisture for Olsen-P. Results indicated that decrease in recovery was sharp at initial periods of incubation followed by a slow decrement at longer times, in all soils. The results were well described by the following equation: $R = 100 / (1 + kt^b)$, where R is the percent of recovery at time t, and k and b are empirical constants. In 25 alkaline soils of this experiment, the amounts of k and b were in the ranges of 0.19 to 0.73 and 0.11 to 0.55, respectively, while in four acid soils (pH < 6.8) the same parameters were in the ranges of 0.86 to 1.83 and 0.085 to 0.211, respectively. These constants were correlated to some soil properties. The constant k in alkaline soils was correlated with carbonate-free clay content, free iron oxide and active calcium carbonate equivalent, while the same constant was correlated with pH in acid soils. The constant b in alkaline soils was correlated with organic carbon and pH while a good correlation was obtained between b and free iron oxide in acid soils.

Key words: Residual available phosphorus, Percent recovery, Olsen-P.