



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

بررسی رفتار فسفر قابل استفاده تحت شرایط غرقابی در خاک‌های شالیزاری پس از کاربرد کود فسفره

*شهرام محمودسلطانی^۱، مسعود کاوسی^۲، مهرزاد اله‌قلی‌پور^۱، مریم شکوری^۳ و مریم پیکان^۴

^۱استادیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران، ^۲دانشیار مؤسسه تحقیقات برنج کشور،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، ^۳دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان،

^۴کارشناس آزمایشگاه شیمی خاک، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: فسفر پس از نیتروژن یکی از عوامل محدودکننده رشد و توسعه برنج بوده و کمبود آن تأثیر بسیار شدیدی بر عملکرد برنج خواهد داشت. علی‌رغم اهمیت حیاتی فسفر برای کشت برنج در اراضی شالیزاری، بازیافت آن در خاک‌های کشاورزی بسیار پایین و از ۲۵٪ فسفر افزوده شده نیز کم‌تر بوده و باقی‌مانده آن به شکل‌های مختلف در خاک تثبیت و یا با ورود به چرخه هیدرولوژیکی از دسترس گیاه در فصل رشد خارج می‌شود. اهداف این مطالعه، ۱- بررسی روند تغییرات زمانی فسفر قابل استفاده، ۲- بررسی رفتار فسفر قابل استفاده با معادلات سینتیکی و ۳- تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر روند تغییرات فسفر قابل استفاده و بررسی امکان تقسیط فسفر در خاک‌های شالیزاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد و فاکتورهای آزمایش شامل نوع خاک در ۶ سطح، مقدار کود فسفره در دو سطح (صفر و ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتاکسید فسفر P_2O_5) بودند. خاک‌ها (دو و نیم گرم از هر خاک) با کمک ۵ میلی‌لیتر آب به شرایط غرقابی رسید. پس از افزودن تیمار فسفر به خاک‌های اشباع‌شده، براساس تقویم زمانی متفاوت و پی‌درپی برای تعیین فسفر قابل استفاده عصاره‌گیری و مقدار فسفر قابل استفاده در هر یک از عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری گردید. مقدار فسفر قابل استفاده با استفاده از معادلات سینتیکی مرتبه صفر، اول، دوم، الوویچ ساده، تابع نمایی و انتشار پارابولیکی برآزش و براساس ضرایب تشخیص و اشتباه استاندارد برآورد، معادلاتی که قادر به توصیف رفتار فسفر بودند گزینش و ضرایب آن‌ها تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که در تمام خاک‌ها و علی‌رغم تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، مقدار فسفر قابل استفاده یک ماه پس از غرقاب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر (۷۲ درصد) از مقدار فسفر قابل استفاده خاک هوا خشک بود. نمودار رفتار فسفر قابل استفاده طی زمان نشان داد که سرعت افزایش غلظت فسفر قابل استفاده در مراحل اولیه (تا ۴۸ ساعت اولیه) سریع و سپس با گذشت زمان (تا ۲۸۸ ساعت) به تدریج کاهش یافته و این روند تا

* مسئول مکاتبه: shmsoltani@gmail.com

۶۰۰ ساعت دنبال شده، پس از آن کاهش مقدار فسفر قابل استفاده با سرعت تقریباً ثابتی تا روز آخر آزمایش ادامه یافت. معادلات مرتبه یک و دو (بالاترین ضریب تشخیص) و مرتبه صفر و تابع توانی (کمترین خطای استاندارد) به دلیل ضریب تشخیص بالا و خطای استاندارد کم و تقریباً مشابه می‌توانند سرعت آزادسازی فسفر را بهتر توصیف کنند. در بین معادلات گزینش شده تنها شیب منحنی معادله مرتبه دوم با تمام ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها همبستگی (منفی یا مثبت) معنی‌داری را نشان داد. (اسیدیته $(-0/51)^*$ و کربن آلی $(-0/51)^*$ ، کربنات کلسیم معادل $(0/68)^{**}$ ، فسفر قابل جذب در شرایط غیرغرقابی $(-0/51)^*$ و غرقابی $(-0/51)^*$ ، درصد شن $(0/68)^{**}$ و درصد رس $(-0/60)^{**}$) و بنابراین می‌تواند معادله نهایی برای توصیف رفتار فسفر خاک‌های شالیزاری مورد مطالعه باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج بر کاهش ۵۰ درصد فسفر افزوده شده قبل از ۳۰۰ ساعت یا ۱۲ روز (مرحله رویشی) و ۷۰ درصد در حدود ۱۴۰۰ ساعت یا دو ماه (شروع مرحله زایشی گیاه برنج) تأکید داشته و می‌تواند مبنای مطالعات تقسیم فسفر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: برنج، فسفر قابل استفاده، اراضی شالیزاری، شرایط غرقابی، معادلات سینتیکی

مقدمه

واکنش‌های شیمیایی در خاک، از جمله جذب آنیون از محلول‌های آبی، در مقیاس زمانی میلی ثانیه رخ می‌دهد (۴۴). از آن‌جا که سینتیک جذب سطحی یک عامل کنترلی بر تحرک آنیون، حمل و نقل و فراهمی زیستی آن‌ها است در نتیجه ارزیابی آن‌ها یک پیش‌نیاز برای کاربرد کارآمد کودهای فسفره است. مدل‌های مختلفی برای توصیف سینتیک جذب فسفات توسط خاک مورد استفاده قرار گرفته است (۱، ۸ و ۱۱). واکنش فسفر با خاک آبی نبوده و در دو مرحله رخ می‌دهد. مرحله اول این واکنش نسبتاً سریع (تا ۴۸ ساعت) آغاز شده و سپس با یک فاز جذب کندتر و طولانی‌تر ادامه می‌یابد. البته رسیدن به تعادل در این واکنش ممکن است رخ دهد یا ندهد. تفاوت مشاهده شده در زمان مورد نیاز برای رسیدن به تعادل به تفاوت در ترکیب شیمیایی و فیزیکی، مورفولوژی و مواد معدنی مختلف تشکیل دهنده خاک بستگی دارد (۷). سینتیک فسفر عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات سدیم در خاک‌های گوناگون و با استفاده از مدل‌های مختلف سینتیکی مورد بررسی قرار گرفتند، این معادلات شامل رده اول، دوم، الویج ساده شده، انتقال جرم و معادلات تابع توانی بودند (۱، ۳۶ و ۴۴).

فسفر پس از نیتروژن یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاه برنج بوده و کمبود آن تأثیر بسیار شدیدی بر عملکرد برنج خواهد داشت (۲۶). به دلیل حلالیت بسیار کم ترکیبات حاوی فسفر در خاک و تمایل واکنش‌های تعادلی آن به سمت فاز جامد، میزان فسفر در محلول خاک بسیار اندک است و هنگامی که ترکیبات محلول فسفر به خاک اضافه می‌شوند، به اشکال کم محلول یا غیرمحلول تبدیل گردیده و در نتیجه قابلیت استفاده آن توسط گیاه کاهش می‌یابد (۹). غیرقابل استفاده شدن فسفر در خاک شامل دو فرایند جذب سطحی و رسوب است (۱۲). معمولاً اعتقاد بر این است که در غلظت‌های بالای فسفر، رسوب و در غلظت‌های پایین‌تر، جذب سطحی انجام می‌گیرد. فرایندهای جذب و رسوب فسفر در خاک‌ها به عوامل مختلفی مانند میزان کربن آلی، درصد کلسیم و منیزیم تبادل، درصد کربنات کلسیم (۴۱)، بافت، pH (۲)، قدرت یونی محلول خاک (۹ و ۵۰)، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کانی‌های سیلیکاته خاک (۳۵) بستگی دارد.

از آن جایی که تمامی این فرآیندها با توجه به نوع کاربرد فسفر (پیش از فصل و به صورت مخلوط با خاک) سبب کاهش فسفر قابل استفاده، اتلاف فسفر و تولید معضلات زیست محیطی ناشی از آن می گردد. بنابراین بررسی روند تغییرات شیمیایی فسفر قابل استفاده از زمان کاربرد کودهای شیمیایی تا انتهای فصل رشد در خاکهای شالیزاری و تحت شرایط غرقابی می تواند برای یافتن راه حل های کاربردی مناسب (زمان مناسب کاربرد و امکان تقسیط) بسیار راه گشا باشد.

در نتیجه، این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی برای دستیابی به اهداف زیر اجرا گردید:

- ۱) بررسی رفتار فسفر قابل استفاده پیش و پس از شرایط غرقابی،
- ۲) بررسی تغییرات فسفر قابل استفاده پس از کاربرد کود فسفره،
- ۳) بررسی روند تغییرات زمانی فسفر قابل استفاده در شرایط غرقاب،
- ۴) بررسی روند تغییرات فسفر قابل استفاده با استفاده از معادلات سینتیکی،
- ۵) تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تغییرات فسفر قابل استفاده و
- ۶) تصمیم گیری درباره تعداد دفعات و زمان مصرف کودهای فسفره در اراضی شالیزاری

مواد و روش ها

در این پژوهش، براساس نتایج ثبت شده در بانک اطلاعاتی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور، ۶۰ نمونه از خاک های شالیزاری واقع در مقطع عرضی جغرافیایی (ترانسکت) از رودبار تا انزلی و با گستره خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گوناگون انتخاب و نمونه برداری شدند. نمونه های خاک هوا خشک شده و پس از عبور از الک

سرعت واکنش در خاک های مختلف متفاوت بود. این نتیجه می تواند نشان دهنده ساز و کارهای متفاوت جذب فسفر در دو بخش باشد. جذب در بخش اول به صورت کمپلکس های سطحی تک دندانه و توسط نیروهای الکترواستاتیک انجام می گردد. در بخش دوم کمپلکس های سطحی دودندانه و پیوندهای قوی کووالانسی در جذب دخالت دارند (۲۱ و ۲۳). همچنین فسفر در بخش اول در اثر جذب سطحی غیر قابل استفاده شده ولی در بخش دوم سازوکار رسوب مسئول جذب فسفر است. به علاوه، امکان دارد که جذب سریع (بخش اول) مربوط به مکان های با دسترسی آسان در سطح خاکدانه ها بوده و جذب کند (بخش دوم) مربوط به جذب در مکان های واقع در قسمت های داخلی خاکدانه ها باشد (۲۴ و ۴۷). اوالیس و کولینس (۳۳) گزارش کردند که سینتیک جذب فسفر در خاک ها را می توان به دو مرحله جدا از هم شامل یک واکنش سریع اولیه و یک واکنش کند ثانویه تقسیم کرد. واکنش های جذبی که طی آن ها تبادل (جایگزینی) فسفر با آنیون ها رخ می دهد (۱۴) در بخش اول به وقوع می پیوندند. واکنش های کند ثانویه عبارتند از: ۱) حل شدن ترکیبات با حلالیت بالا و رسوب آن به صورت ترکیبات با حلالیت کم تر که این واکنش آرام شامل جایگزینی پیوندهای ضعیف تر با پیوندهای قوی تری است که قابلیت جذب فسفر برای گیاه را کاهش می دهد و ۲) تشکیل پیوندهای کووالانسی بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم (Al-P و Fe-P). براساس نتایج به دست آمده توسط اوالیس و کولینس (۳۳) زمان تعادل برای جذب فسفر در خاک های مورد مطالعه ۴۸ ساعت بیان شده است. زمان تعادل جذب در کارهای فاکس و کامپراث (۱۹۷۰) ۶ روز (۱۰) و در پژوهش های هالفورد و همکاران (۱۹۸۰) ۲۴ روز (۱۷) و در پژوهش های اوستان (۲۰۰۴) ۴۵ روز (۴۷) به دست آمده است.

مقطر افزوده و به خوبی بهم زده و در نهایت برای شبیه‌سازی شرایط غرقاب به مدت ۳۰ روز در دمای آزمایشگاه نگهداری گردید (۲۴). به تمام ظروف حاوی خاک اشباع‌شده، تیمار فسفر به صورت محلول (۱ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۱/۸۰۶ گرم فسفر در لیتر) افزوده و همه و نمونه‌ها برای تعیین مقدار فسفر قابل‌استفاده در بازه‌های زمانی ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ ساعت و ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۶، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰ و ۷۵ روز پس از افزودن فسفر عصاره‌گیری شدند. مقدار فسفر قابل‌استفاده موجود در عصاره‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی مولیبدات آمونیوم با دستگاه اسپکتروفوتومتری در طول موج ۸۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۳۲). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها همانند آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها و همبستگی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام و نمودارها با نرم‌افزار Excel ترسیم گردید. همچنین داده‌ها براساس معادلات سینتیک (جدول ۱) در رده‌های مختلف برای دستیابی به بهترین مدل برازش شدند.

۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مانند بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس (۱۳)، اسیدیته گل اشباع با الکتروود شیشه‌ای (۱۹)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (۴۸)، کربنات‌کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی (روش خنثی‌سازی با اسید) (۲۵)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات‌سدیم در اسیدیته ۷ و فسفر قابل‌استفاده به روش اولسن (۳۲) اندازه‌گیری گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، ۶ نمونه خاک با مقدار فسفر قابل‌استفاده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گوناگون انتخاب و برای آزمایش اصلی مورد استفاده قرار گرفت. پژوهش آزمایشگاهی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار شامل نوع خاک در ۶ سطح، مقدار کود فسفره در دو سطح (صفر و ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر P_2O_5) از منبع K_2HPO_4 خالص آزمایشگاهی) به انجام رسید. بدین منظور ۲/۵ گرم از نمونه‌ها خشک و الک شده و در ظروف شیشه‌ای به ظرفیت ۲۰ میلی‌لیتر ریخته و برای ایجاد شرایط غرقابی به ظروف، ۵ میلی‌لیتر آب

جدول ۱- معادلات سینتیک مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1. Used kinetic equations in this research.

پارامترها parameters	معادلات Equations	مدل‌ها Models
K_0 : ثابت سرعت مرتبه صفر $[mg\ P\ kg^{-1}\ hour^{-1}]$	$q_t = q_0 - k_0 t$	مرتبه صفر Zero order
K_1 : ثابت سرعت مرتبه اول $[hour^{-1}]$	$Lnq_t = Lnq_0 - k_1 t$	مرتبه اول First order
K_2 : ثابت سرعت مرتبه دوم $[(mg\ P\ kg^{-1})^{-1}]$	$1/q_t = 1/q_0 - k_2 t$	مرتبه دوم Second order
K_3 : ثابت سرعت مرتبه سوم $[(mg\ P\ kg^{-1})^{-2}\ hour^{-2}]$	$1/q_t^2 = 1/q_0^2 - k_3 t$	مرتبه سوم Third order
K_p : ثابت سرعت پخشیدگی $[(mg\ P\ kg^{-1})^{0.5}]$	$q_t = q_0 - k_0 t^{0.5}$	پخشیدگی پارابولیک Parabolic diffusion
α : ثابت سرعت جذب اولیه فسفر $[mg\ P\ kg^{-1}\ hour^{-1}]$	$Lnq_t = 1/\beta(Ln\alpha\beta) - 1/\beta(Lnt)$	الویج ساده شده Simplified Elovich
β : ثابت سرعت جذب فسفر $[(mg\ P\ kg^{-1})^{-1}]$		
a : ثابت سرعت جذب اولیه فسفر $[mg\ P\ kg^{-1}\ hour^{-1}]$	$q_t = at^b$	نمایی Power
b : ثابت سرعت جذب فسفر $[(mg\ P\ kg^{-1})^{-1}]$		

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک‌های انتخاب‌شده: نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. اسیدیته خاک با میانگین ۷/۱۸، بین ۶/۹۷ تا ۷/۳۳ و درصد کربن آلی با میانگین ۲/۴۴ درصد، بین ۲/۳۷ تا ۲/۴۹ در نوسان بوده است. علی‌رغم دامنه نه چندان وسیع اسیدیته خاک و درصد کربن آلی، مقدار رس، کربنات کلسیم معادل و گنجایش تبادل کاتیونی از دامنه قابل قبولی برخوردار

بوده و به ترتیب از دامنه‌ای بین ۲۰ تا ۵۶ درصد (با میانگین ۳۳٪)، ۷/۲ تا ۱۳/۶ (با میانگین ۱۱/۱۳) و ۱۲ تا ۲۴/۲۰ (با میانگین ۱۷/۸۷) برخوردار هستند که تأثیرشان را بر روند تغییرات فسفر قابل استفاده گذاشته‌اند. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فسفر قابل استفاده در خاک‌های غیرغرقاب به ترتیب مربوط به خاک شماره ۵ (۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک شماره ۱ (۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) می‌باشند.

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های انتخاب‌شده.

Table 2. Some of physical and chemical characteristics of selected soils.

بافت خاک Soil Texture	گنجایش تبادل کاتیونی CEC (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم)	رس	سیلت	شن	Available hosphorus	فسفر قابل جذب	کربنات کلسیم معادل TNV	کربن آلی Organic Carbon	اسیدیته گل‌اشباع pH	شماره خاک‌ها Soils Number
		Clay	Silt	Sand	غیر غرقاب Non-flooded	غرقاب* Flooded	٪			
L	13.10	26	32	42	3.00	4.90	13.20	2.37	6.97	1
CL	12.10	32	46	22	2.80	4.60	13.60	2.44	7.19	2
SCL	19.20	20	20	60	5.00	9.30	9.40	2.42	7.11	3
SiCL=CL	19.00	38	42	20	3.90	7.40	12.30	2.49	7.33	4
L	24.20	26	46	28	7.50	14.70	11.11	2.27	7.27	5
SiC=C	19.60	56	40	4	7.40	10.20	7.20	2.45	7.21	6

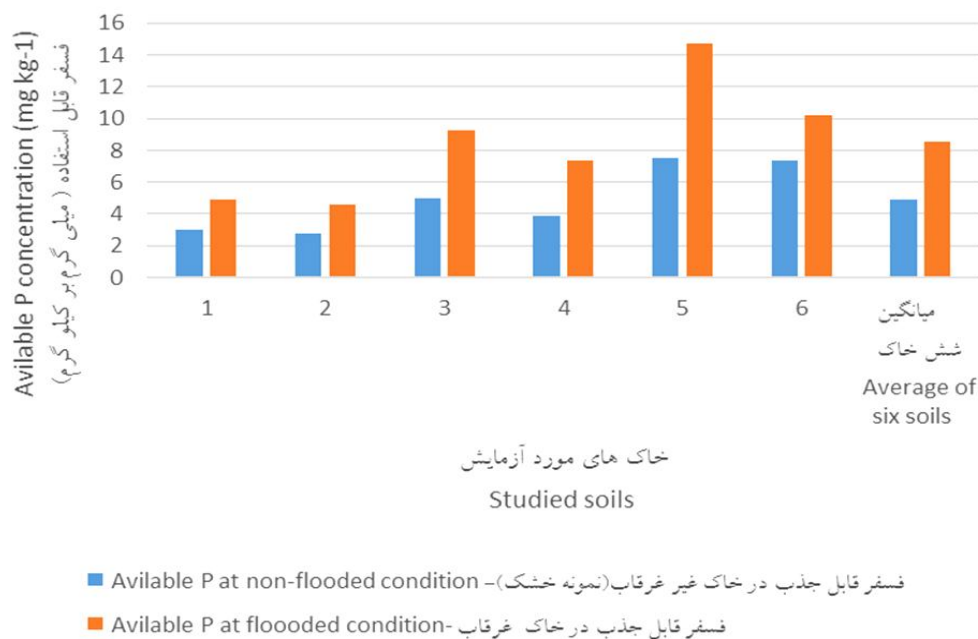
* مدت غرقاب در این آزمایش یک ماه بوده است.

و میانگین ۳/۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. این مقدار افزایش فسفر قابل استفاده معادل، ۷/۱۷ کیلوگرم فسفر خالص، ۱۶/۴۱ کیلوگرم پنتاکسید فسفر و حدود ۲۹/۱۵ کیلوگرم سوپرفسفات‌تریپل در هر هکتار است مقدار فسفر قابل استفاده یک ماه پس از غرقاب به‌طور میانگین ۷۲ درصد بیش‌تر از مقدار آن در خاک هواخشک بود. این نتایج نشان می‌دهد که عصاره‌گیر اولسن (در خاک هواخشک) فسفر

تأثیر شرایط غرقابی بر فسفر قابل استفاده (روش اولسن): مقایسه میانگین فسفر قابل استفاده خاک‌های مورد مطالعه (خاک هوا خشک و بعد از یک ماه غرقاب) نشان داد که در تمام خاک‌ها مقدار فسفر قابل استفاده یک ماه پس از غرقاب به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از مقدار فسفر قابل جذب همان خاک در شرایط خاک هواخشک بود (شکل ۱). این افزایش دارای دامنه گسترده‌ای از ۱/۸ تا ۷/۲

فسفر قابل استفاده تمام خاک‌های مورد مطالعه ۳۰ روز پس از غرقاب نسبت به خاک هواخشک به طور معنی داری افزایش یافت (به طور میانگین ۱/۷۳ برابر) (شکل ۱) (۲۸ و ۲۹).

قابل استفاده گیاه برنج در خاک‌های شالیزاری را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. نجفی و توفیقی (۲۰۰۸ و ۲۰۱۱) نشان دادند که رفتار فسفر در خاک‌های غرقاب تفاوت قابل ملاحظه‌ای با رفتار آن در خاک‌های غیرغرقاب دارد. نتایج نشان داد که



شکل ۱- تأثیر شرایط غرقابی بر مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری بعد از ۳۰ روز.
Figure 1. Effect of flooded condition on available phosphorus of selected paddy soils after 30 days.

شرایط غرقاب نسبت به شرایط غیرغرقاب برشمرده است (۳۴ و ۳۵). در خاک‌های آهکی و خشتی، افزایش غلظت فسفر محلول و قابل استفاده پس از غرقاب ناشی از کاهش pH به دلیل افزایش غلظت گازکربنیک بوده که نتیجه آن افزایش حل پذیری فسفات‌های پیوندیافته به کلسیم است (۳۰). این در حالی است که در خاک‌های اسیدی غرقاب خاک سبب افزایش pH گردیده و این افزایش اسیدیته به افزایش هیدرولیز فسفات‌های پیوندیافته به آهن و آلومینیم منجر می‌شود. علاوه بر این‌ها، جانشین شدن آنیون‌های آلی به جای فسفات‌های پیوندیافته به آهن

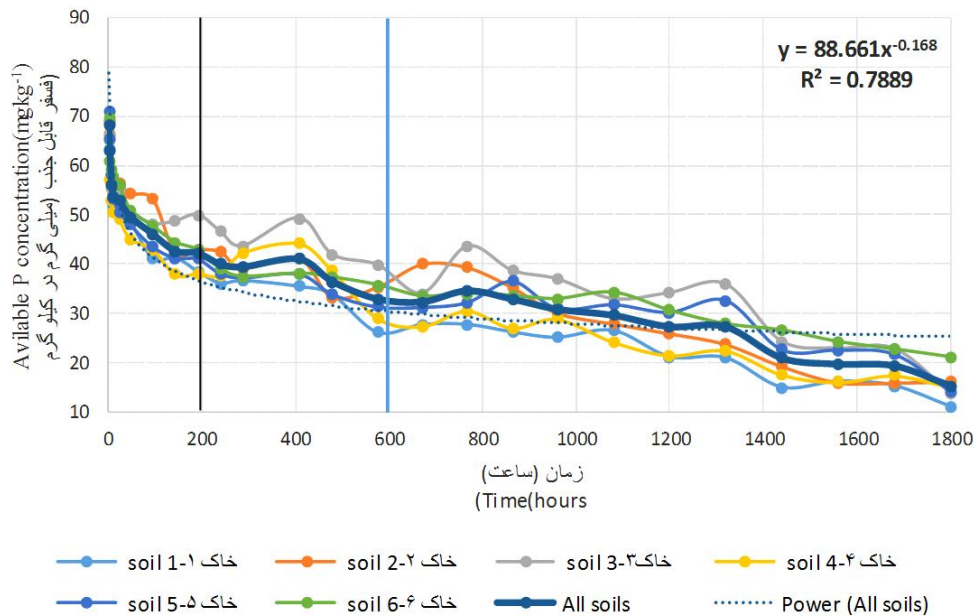
اخگر و توفیقی (۲) نیز گزارش نمودند که فسفر قابل استفاده در خاک‌های شالیزاری گیلان و مازندران، پس از غرقاب به سرعت افزایش یافته و در کم‌تر از ۱۴ روز به دو برابر مقدار آن در خاک غیرغرقاب رسید. همچنین نجفی و توفیقی (۲۸) و رایت (۴۹) در بررسی رفتار فسفر در شرایط گوناگون رژیم رطوبتی، عنوان نمودند که فسفر قابل استفاده گیاه در شرایط غرقابی افزایش چشمگیری می‌یابد. اهمیت این فرآیند به اندازه‌ای است که پنومپروما (۱۹۷۲ و ۱۹۷۸)، افزایش فسفر قابل استفاده گیاه در خاک را یکی از مزایای ایجاد

مکان‌های جذبی باقی‌مانده و با قدرت زیاد پیوند شده و یا به صورت ترکیبات با حلالیت کم رسوب می‌کند در نتیجه فسفر قابل‌استخراج با عصاره‌گیر کاهش می‌یابد (۲۰ و ۴۵).

معادلات سینتیکی برازش داده شده برای تغییرات فسفر قابل‌جذب در طول زمان: هفت معادله سینتیکی شامل معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، مرتبه سوم، پخشیدگی پارابولیک، الویج ساده شده و تابع نمایی برای بررسی توصیف رفتار فسفر قابل‌استفاده مورد استفاده قرار گرفتند (فقط خاک شماره ۶ و میانگین خاک‌ها آورده شده است) (شکل‌های ۳ و ۴).

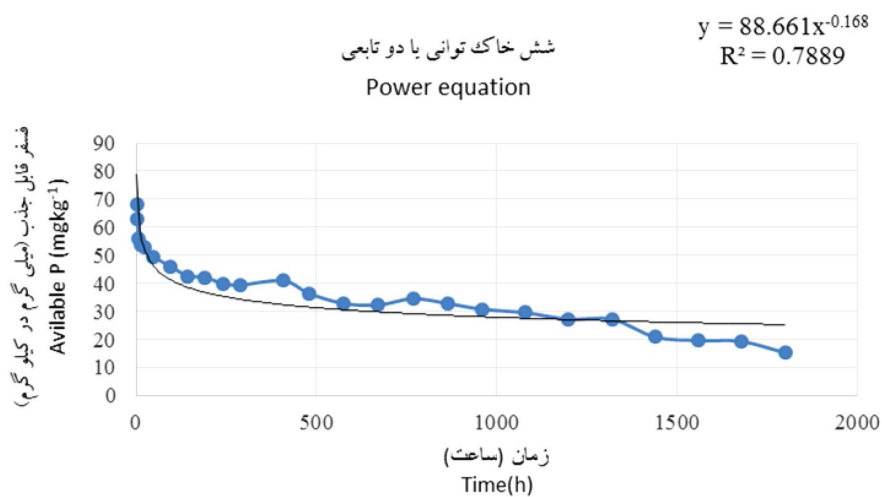
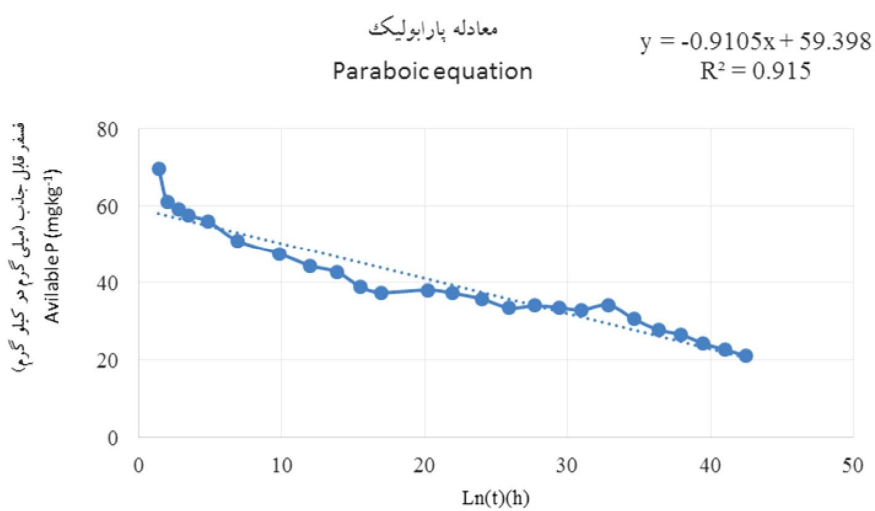
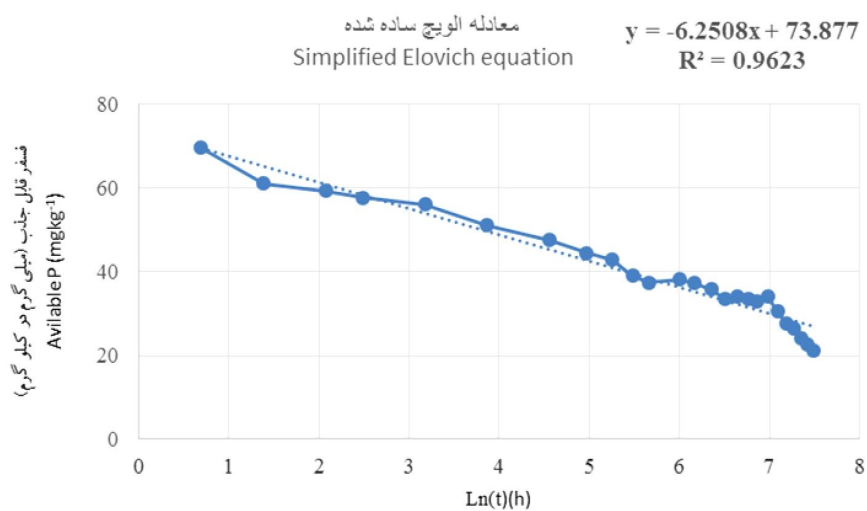
و آلومینیم از طریق تبادل آنیونی، افزایش سرعت پخشیدگی فسفر در شرایط غرقاب، آزاد شدن فسفر محبوس در اکسیدهای فریک هیدراته بر اثر احیای آهن و احیای فسفات فریک نامحلول به فسفات فرو محلول نیز از جمله عوامل مؤثر بر افزایش فسفر در این شرایط است (۳۴ و ۳۵).

بررسی رفتار فسفر در خاک‌های مورد مطالعه تحت شرایط غرقابی: جذب فسفر در خاک در مراحل اولیه سریع بوده و سپس جذب آن کند شده و فسفر در این مرحله به صورت فسفات‌های معدنی (با قابلیت جذب کم برای گیاه) رسوب می‌نماید. با گذشت زمان فسفر مصرفی یا به داخل کانی پخشیده می‌شود و یا بر روی

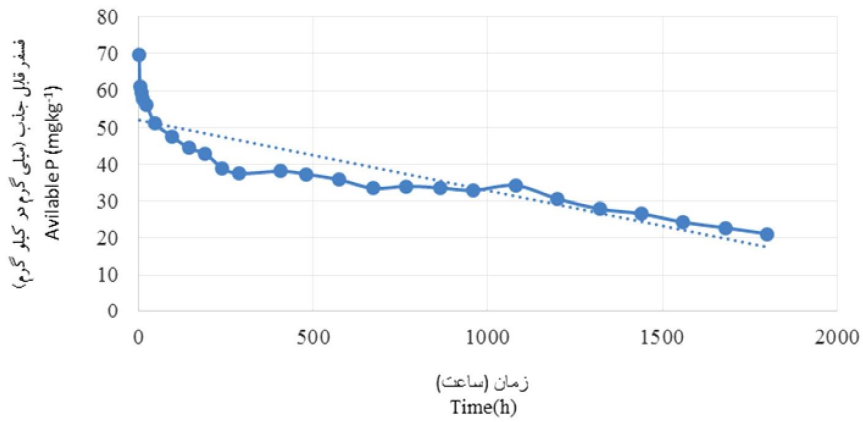


شکل ۲- رفتار فسفر افزوده شده به نمونه‌های خاک (جداگانه و متوسط خاک‌ها) در طول زمان واکنش (۷۵ روز).

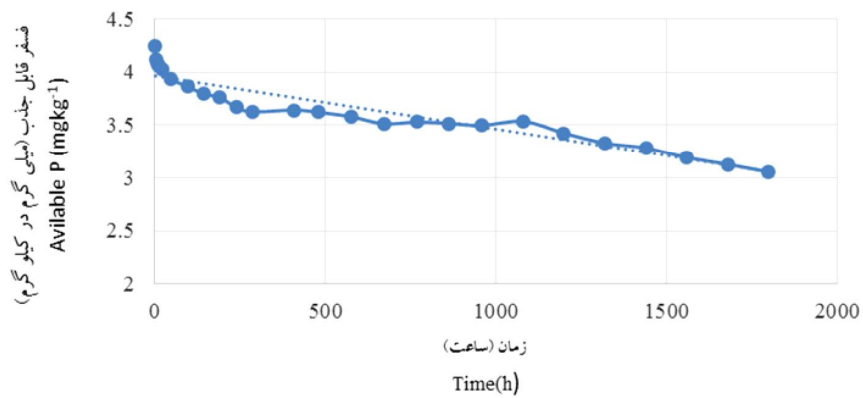
Figure 2. Behavior of added phosphorus (each soil and mean of all) during reaction times (75 days).



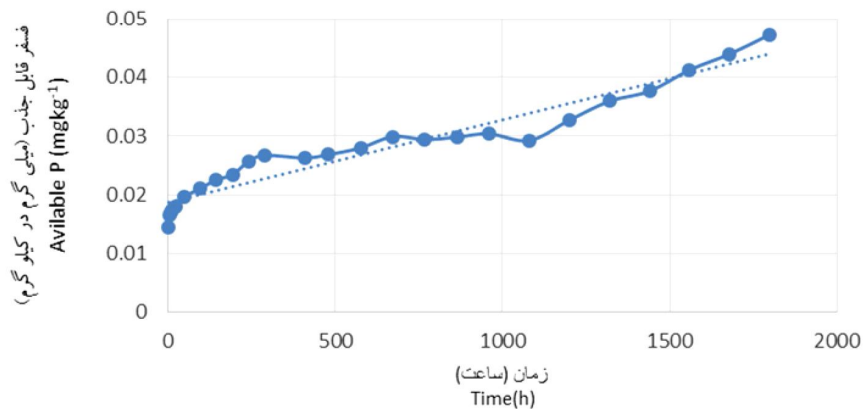
معادله مرتبه صفر
Zero order equation
 $y = -0.0192x + 52.098$
 $R^2 = 0.7763$

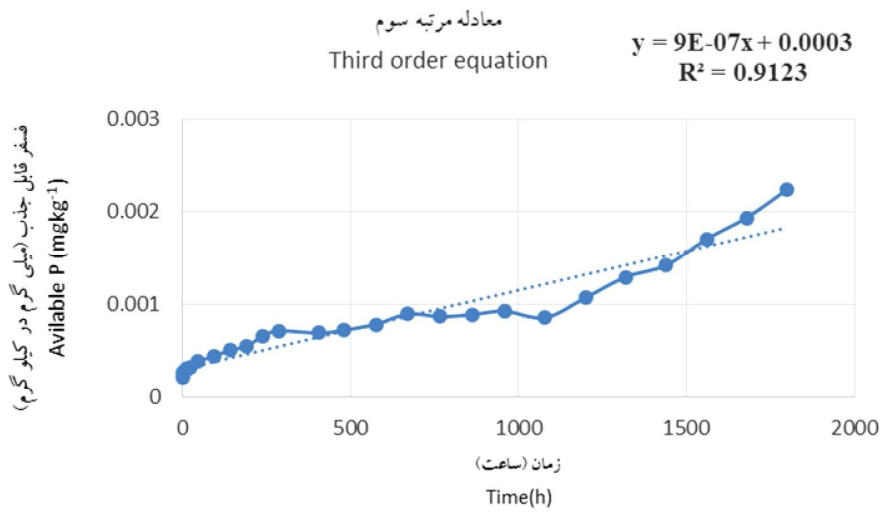


معادله مرتبه اول
First order equation
 $y = -0.0005x + 3.9578$
 $R^2 = 0.8801$

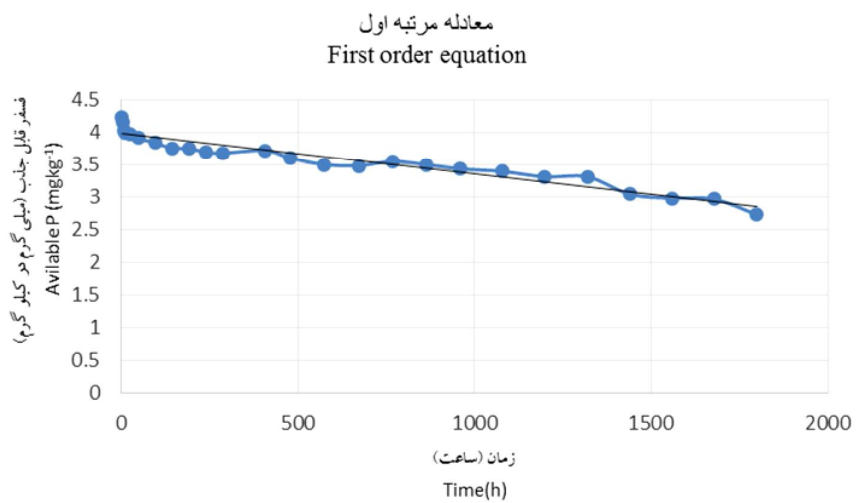
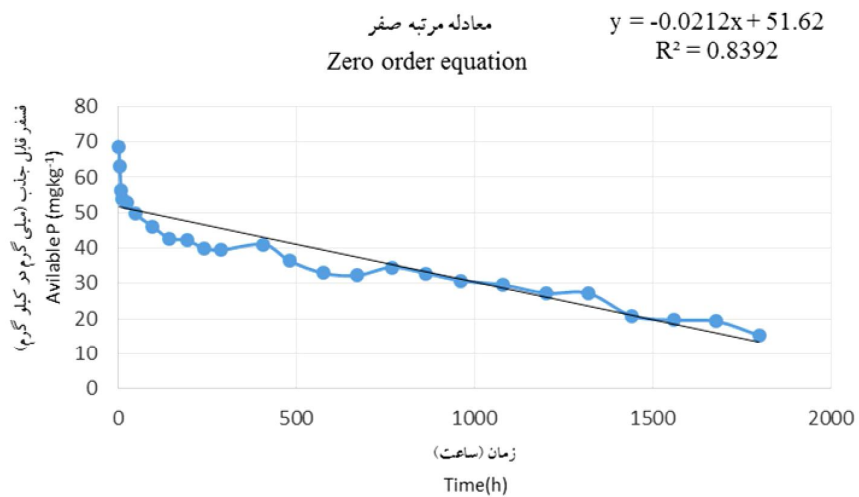


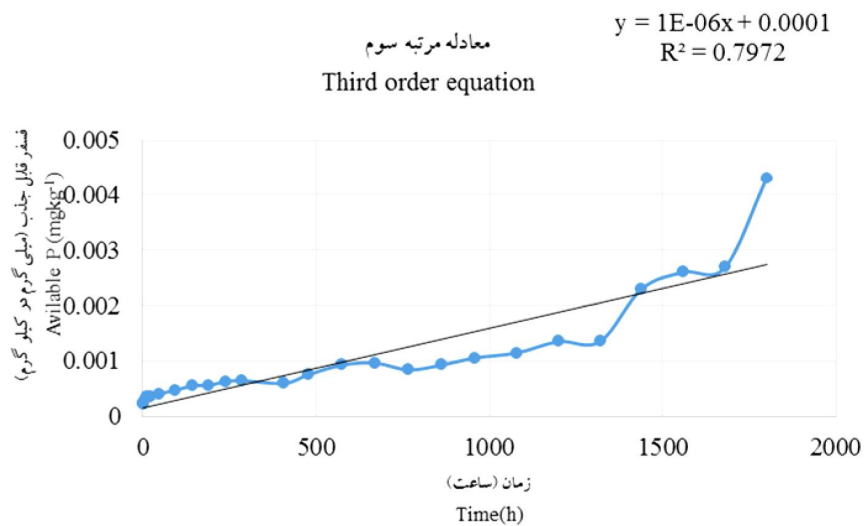
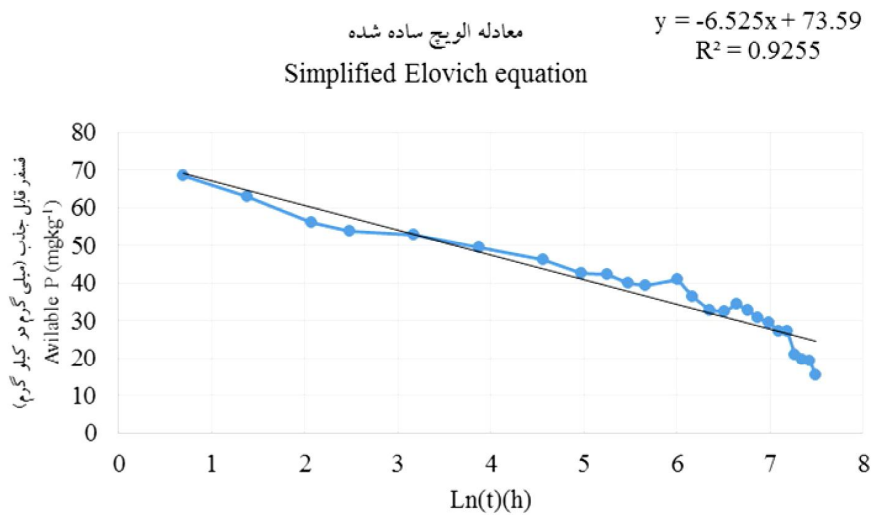
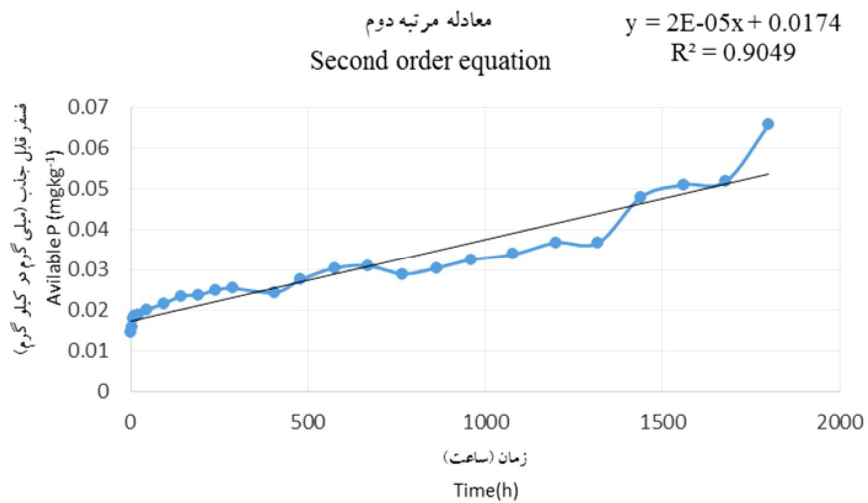
معادله مرتبه دوم
Second order equation
 $y = 1E-05x + 0.0186$
 $R^2 = 0.9292$

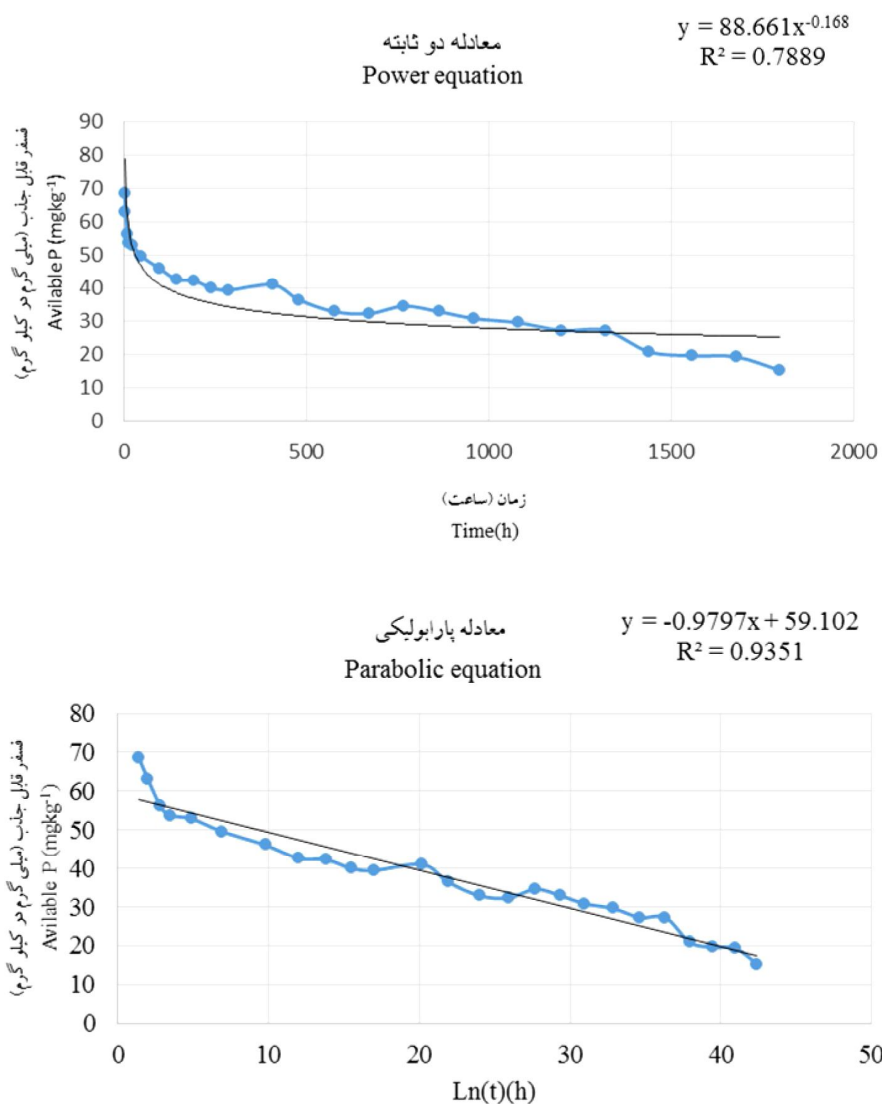




شکل ۳- معادله‌های سینتیکی خاک شماره ۶.
Figure 3. Kinetic equations of soil number 6.







شکل ۴- معادله‌های سینتیکی میانگین خاک‌های مورد مطالعه.
Figure 4. Kinetic equations for mean of all six soils.

رهایسازی فسفر در جدول ۳ و ضرایب معادلات شش‌گانه فوق در جدول ۴ آورده شده است.

ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد معادلات سینتیکی به‌کار گرفته شده برای توصیف

جدول ۳- ضرایب تینین و خطای معیار تخمین مربوط به هفت معادله سینتیکی در خاک‌های مورد مطالعه و میانگین خاک‌ها.

تابع توانی		دیفیوزن پارابولیک		الوج ساده شده		مرتبه سوم		مرتبه دوم		مرتبه اول		مرتبه صفر		خاک Soils Number
Power	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	SEE	R ²	
3.59	0.79	>100	0.93	>100	0.94	21.86	0.70	21.83	0.90	19.94	0.93	3.79	0.81	1
4.43	0.73	>100	0.93	>100	0.88	24.57	0.81	24.56	0.90	22.54	0.93	3.31	0.86	2
6.48	0.61	>100	0.88	>100	0.78	25.76	0.55	25.76	0.73	23.66	0.86	2.68	0.87	3
3.74	0.77	>100	0.92	>100	0.88	22.05	0.88	22.04	0.94	20.09	0.93	3.16	0.84	4
2.48	0.79	>100	0.85	>100	0.93	23.70	0.62	23.68	0.78	21.68	0.82	4.12	0.72	5
2.22	0.88	>100	0.92	>100	0.96	24.52	0.91	24.50	0.93	22.44	0.88	3.51	0.78	6
3.01	0.79	>100	0.93	>100	92.50	23.68	0.8	23.66	0.91	21.63	0.93	3.4	0.84	میانگین Average

* میانگین فسفر قابل جذب تمام خاک‌های مورد مطالعه به عنوان یک خاک مجزا در نظر گرفته و محاسبات بر روی آن‌ها انجام شده است.

جدول ۴- پارامترهای مدل‌های سینتیکی.

Table 4. Parameters of kinetic models.

تابع توانی Power	دیفیوژن پارابولیک Parabolic Diffusion		الویچ ساده شده Simplified Elovich		مرتبه سوم Third Order			مرتبه دوم Second Order			مرتبه اول First Order			مرتبه صفر Zero Order		خاک Soils Number
	a	Kp	q ₀	βs	αs	k ₃	1. q ₀ ²	k ₂	1. q ₀	k ₁	Lnq ₀	k ₀	q ₀			
-0.08	95.795	-1.078	57.297	0.0136	0.0007	-4037.1	2148.3	5 × 10 ⁻⁴	0.0173	-0.0008	3.92	0.023	48.87	1		
0.184	97.919	-1.098	62.637	0.0128	0.0008	1 × 10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	0.0156	-0.0007	4.03	-0.024	54.46	2		
-0.14	85.265	-0.901	61.406	0.0137	0.0034	1 × 10 ⁻⁶	6 × 10 ⁻⁵	2 × 10 ⁻⁵	0.0156	-0.0006	4.05	-0.020	55.09	3		
-0.18	86.373	-0.973	55.972	0.0143	0.0017	2 × 10 ⁻⁶	1 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁵	0.0183	-0.0007	3.91	-0.021	48.67	4		
-0.16	85.702	-0.919	57.901	0.0137	0.0016	1 × 10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁴	2 × 10 ⁻⁵	0.0185	-0.0006	3.93	-0.019	50.53	5		
-0.148	84.927	-0.919	59.398	0.0135	0.0019	9 × 10 ⁻⁷	0.0003	1 × 10 ⁻⁵	0.0186	5 × 10 ⁻⁴	3.96	-0.019	52.09	6		
-0.168	88.661	-0.979	59.101	0.0136	0.0017	1 × 10 ⁻⁶	0.0001	2 × 10 ⁻⁵	0.0173	-0.0065	3.97	-0.021	51.62	میانگین Average		

* میانگین فسفر قابل جذب تمام خاک‌های مورد مطالعه به عنوان یک خاک میچرا در نظر گرفته و محاسبات بر روی آن‌ها انجام شده است.

فسفر اضافه شده به ۱۴ خاک آهکی و قلیایی از شمال غربی استرالیا را تحت تأثیر ویژگی‌های خاک مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که کاهش فسفر عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات سدیم (روش اولسن) با زمان از یک معادله سینتیکی مرتبه دوم پیروی می‌کند. جباری و بستانی (۱۸) بیان داشتند که معادله مرتبه دوم بهترین معادله برای توصیف سینتیک تغییرات فسفر قابل‌استفاده در همه تیمارها بوده است. بیانکی و حسین‌پور (۵) نیز نشان دادند که رهاسازی فسفر توسط معادلات پخشیدگی پارابولیک، مرتبه اول و تابع نمایی به خوبی قابل توصیف بود. رئیسی و حسین‌پور (۳۷ و ۳۸) در بررسی اثرهای ریزو فسفر خاک بر سینتیک آزادسازی فسفر در نه خاک نتیجه‌گیری نمود که توابع مرتبه اول و نمایی و نیز معادله الویچ ساده می‌توانند روند آزادشدن فسفر از ناحیه ریزو فسفر و غیرریزو فسفری خاک‌ها را به خوبی تشریح کنند. همچنین نتایج این مطالعات با یافته‌های صفری‌سنجانی و سدری (۳۹) نیز مورد تأیید قرار می‌گیرد.

از آنجایی که مطالعه و پیش‌بینی روند تغییرات فسفر قابل‌استفاده در اراضی شالیزاری در جهت مدیریت و استفاده صحیح از منابع خاکی و همچنین در فراهمی و قدرت تامین فسفر از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار بوده و نیاز است تا در نهایت به یک مدل مناسب و بهینه دست یافت. استفاده از سایر مؤلفه‌ها در محاسبات ضروری است. از جمله این مؤلفه‌ها شیب و عرض از مبدأ و رابطه آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه است. شیب معادله بیانگر سرعت رهاسازی و عرض از مبدأ آن نشان‌دهنده سرعت اولیه و غلظت اولیه عنصر مورد بررسی می‌باشد. در جدول ۴ ضرایب معادلات سینتیکی آورده شده است. مقدار ثابت b که شیب

معادلاتی که ضریب تشخیص بالا و خطای استاندارد برآورد کم داشته باشند روند تغییرات فسفر قابل‌استفاده را در خاک بهتر توصیف می‌کنند. در تعدادی از بررسی‌ها نشان داده شده است که مدل‌های سینتیکی مختلف، داده‌های سرعت را براساس ضرایب همبستگی و خطاهای معیار تخمین، به خوبی توضیح می‌دهند (۴۳). ضریب همبستگی بالا بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده مقدار فسفر قابل‌استفاده نشان‌دهنده توانایی بالای معادلات برای برازش داده‌های مربوط به تغییرات فسفر قابل‌استفاده است. براساس ضریب تشخیص بالا و خطای استاندارد کم (جدول ۳) معادلات هفت‌گانه مرتبه صفر، مرتبه اول، مرتبه دوم، مرتبه سوم، پخشیدگی پارابولیک، الویچ ساده شده و تابع نمایی رفتار یکسانی را در خاک‌های مورد بررسی از خود نشان می‌دهند. این ضریب برای میانگین داده‌های فسفر قابل‌استفاده نیز همانند شش خاک مجزا می‌باشد. معادلات مرتبه یک و دو (بالاترین ضریب تشخیص) و مرتبه صفر و تابع توانی (کم‌ترین خطای استاندارد) به دلیل ضریب تشخیص بالا و خطای استاندارد کم و تقریباً مشابه می‌توانند سرعت تغییرات فسفر قابل‌استفاده را بهتر توصیف کنند. در تعدادی از پژوهش‌ها، سینتیک آزادسازی فسفر از خاک در غیاب ریشه گیاه با استفاده از محلول بافر شده بی‌کربنات سدیم مطالعه شده است (۵، ۱۵ و ۴۶). نواک و آدریانو (۳۱) با بررسی واکنش سینتیکی فسفات با چهار مدل مکانیکی بیان داشتند که معادله سینتیکی مرتبه دوم برای داده‌های آزمایش برازش بهتری دارند. گریفن و ژورنیاک (۱۶) نیز در بررسی سینتیک واکنش کلسیت با فسفات خاک در ۱۰ دقیقه اول واکنش، معادله مرتبه دوم را مناسب‌ترین معادله سرعت به دست آوردند. صمدی و گیلز (۴۰) تغییرات

ثابت b به‌عنوان معیاری از سرعت جذب فسفر توسط مکان‌های سطحی نام‌برده و برخی از پژوهشگران معتقدند که این ثابت منعکس‌کننده قدرت پیوند فسفر به سطح ذرات خاک است. البته برخی دیگر معتقدند که این ثابت b نشان‌دهنده انتشار فسفر داخل ذرات خاک نیز می‌تواند باشد (۴).

معادله است می‌تواند به‌عنوان معیاری از سرعت کاهش غلظت در نظر گرفته شود. تفاوت بین مقادیر b نشان می‌دهد که قدرت خاک‌ها در تامین فسفر برای گیاه متفاوت است. در معادلات عمدتاً توانی ضریب b در همه خاک‌ها کوچک‌تر از یک است که نشان می‌دهد فسفر قابل‌استفاده با زمان کاهش می‌یابد. همچنین به‌رغم ماهیت تجربی معادلات سینتیکی معمولاً از

جدول ۵- ضریب همبستگی بین ثابت سرعت معادلات انتخابی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 5. Correlation coefficient between slopes of selected kinetic models and physical and chemical properties of selected soils.

رس Clay	شن Sand	فسفر قابل جذب		کربنات کلسیم معادل TNV	کربن آلی Organic Carbon	اسیدیته pH	معادله‌ها Equations
		غرقابی Flooded soils	غیرغرقابی Non-Flooded soils				
-0.25	0.32	-0.37	-0.39	0.34	-0.80**	-0.80**	مرتبۀ صفر Zero Order
0.50*	-0.27	0.88**	0.67**	-0.96**	0.18	0.15	مرتبۀ اول First Order
-0.60**	0.68**	-0.51*	-0.51*	0.68**	-0.51*	-0.51*	مرتبۀ دوم Second Order

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

غیرغرقابی (0.51^*) و غرقابی (0.51^*)، درصد شن (0.68^{**}) و درصد رس (0.60^{**}) را نشان داده‌اند، در حالی که معادله توانی با هیچ‌یک از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها همبستگی (منفی یا مثبت) معنی‌داری را نشان نداده است. شیب معادله مرتبۀ صفر فقط با اسیدیته (0.80^{**}) و کربن آلی (0.80^{**}) و مرتبۀ اول نیز با کربنات کلسیم معادل (0.96^{**})، فسفر قابل جذب در شرایط غیرغرقابی (0.67^{**}) و غرقابی (0.67^{**}) همبستگی معنی‌داری نشان داده‌اند. با توجه به این‌که ثابت‌های سرعت معادله مرتبۀ دوم همبستگی بالایی با مقادیر فسفر قابل‌استفاده در شرایط غیرغرقابی و غرقابی و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها نشان دادند

یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مقایسه معادلات توصیف‌کننده آزادسازی فسفر، مقایسه میزان همبستگی ثابت سرعت آن‌ها با شاخص‌های گیاهی و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها می‌باشد (۱۸ و ۳۷). همبستگی بین ثابت سرعت (b) معادلات انتخابی با ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و میزان فسفر قابل جذب در خاک غیرغرقاب و در شرایط غرقابی در جدول ۵ آورده شده است. در بین معادلات گزینش شده تنها شیب منحنی معادله مرتبۀ دوم با تمام ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها همبستگی (منفی یا مثبت) معنی‌داری (اسیدیته (0.51^*) و کربن آلی (0.51^*))، کربنات کلسیم معادل (0.68^{**})، فسفر قابل جذب در شرایط

توصیه می‌شود این معادله برای توصیف رفتار فسفر در خاک‌های مورد مطالعه به کار روند. ویژگی‌های خاک که بر روی تثبیت فسفر مؤثرند عبارت از مقدار و نوع رس خاک، اسیدیته خاک، مواد آلی خاک، دمای خاک، مقدار AL^{3+} ، شرایط اکسیداسیون و احیا خاک و ترشحات ریشه می‌باشند. این عوامل بیش‌تر برهمکنشی هستند تا افزایش‌دهنده یکدیگر و به همین دلیل پیش‌بینی تثبیت معدنی فسفر در طیف گسترده‌ای از شرایط خاک را دشوار می‌سازند (۴۷).

تقسیم فسفر براساس رفتار فسفر طی زمان واکنش:
 بررسی رفتار فسفر قابل‌استفاده در این آزمایش (شکل ۲) نشان می‌دهد که غلظت فسفر قابل‌استفاده در مراحل اولیه (تا ۴۸ ساعت اولیه) سریع و سپس با گذشت زمان (تا ۲۸۸ ساعت) به‌تدریج با سرعتی متوسط تا ۶۰۰ ساعت کاهش یافت، پس از آن کاهش مقدار فسفر با سرعت تقریباً ثابتی تا روز آخر آزمون ادامه یافت. براساس شکل ۵ که درصد کاهش فسفر طی زمان را نشان می‌دهد ۵۰ درصد فسفر افزوده شده در قبل از ۳۰۰ ساعت یا ۱۲ روز (A) و ۷۰ درصد در حدود دو ماه (شروع مرحله زایشی گیاه برنج) (B) پس از کودپاشی از دسترس گیاه خارج می‌شود. بنابراین برنامه‌ریزی برای تقسیم کود فسفره در اراضی شالیزاری می‌تواند به خروج آن از دسترس گیاه در فصل رشد کمک نماید. کاربرد کود فسفره در تقسیم سه‌مرحله‌ای به‌طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد دانه و کاه، تعداد و وزن خوشه، غلظت نیتروژن و جذب آن در برنج در مقایسه با کاربرد پایه‌ای آن شده

است (۴۲). در این مطالعه با تقسیم ۸/۸ کیلوگرم فسفر در هکتار در سه مرحله باعث ۱۰٪ افزایش در عملکرد دانه و ۱۳ درصد افزایش در عملکرد کاه در مقایسه با کاربرد فسفر در یک زمان مشاهده شد (۴۲). در پژوهشی دیگر توسط آرچانا و دیگران (۳) در هند با تقسیم ۸۵ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 در دو مرحله (۵۰٪ کاربرد پایه و ۵۰٪ اوایل پنجه‌زنی) افزایشی در حدود ۲۰ درصد در عملکرد دانه را گزارش کرده‌اند. نتایج مشابهی برای تقسیم‌های دو و سه مرحله‌ای توسط یاداو (۵۱) نیز گزارش شده است. نتایج این پژوهش بیانگر افت شدید ۵۰ و ۷۰ درصدی فسفر قابل‌استفاده است که در اثر افزودن کود فسفره وارد بخش محلول و تبادل‌ی خاک شده است. بنابراین اندیشیدن به این‌که در زمان‌های ۱۲ و ۶۰ روز خاک نیاز به فسفر مکمل دارد دور از ذهن نیست. سینگ و همکاران (۴۲)، یاداو (۵۱) و آرچانا (۳) همگی بر این نکته که بین ۱۲ تا ۲۰ روز پس از نشاکاری با افزودن کود سرک فسفر می‌توان به افزایش عملکردی تا ۲۰ درصد دست یافت اتفاق نظر دارند. همچنین بابو و دیگران (۶)، مینا و دیگران (۲۷)، کومار و همکاران (۲۲) و آرچانا و دیگران (۳) نشان دادند که علاوه بر افزایش عملکرد و یا عدم افزایش عملکرد با تقسیم کود فسفره می‌توان میزان کوددهی مزارع کشاورزان را تا ۲۵ درصد هم کاهش داد که این به اقتصاد کشاورزان تولیدکننده برنج و کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از فسفر کمک شایانی می‌کند.



شکل ۵- درصد کاهش فسفر قابل جذب طی زمان در خاک در شرایط غرقابی (میانگین شش خاک).

Figure 5. Reduction percentage of available phosphorus during time of incubation at flooding condition (average of six soils).

تقریباً ثابتی تا روز آخر آزمون ادامه می‌یابد نتایج بر کاهش ۵۰ درصد فسفر افزوده شده در قبل از ۳۰۰ ساعت یا ۱۲ روز و ۷۰ درصد در حدود دو ماه (شروع مرحله زایشی گیاه برنج) پس از کودپاشی تأکید دارد. بنابراین نیاز است تا در زمان‌های ۱۲ و ۶۰ روز به خاک فسفر مکمل به صورت تقسیط افزود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در آزمونی تأثیر تقسیط دو مرحله‌ای کود فسفره (۵۰ درصد پایه و ۵۰ درصد ۱۲ تا ۲۰ روز پس از نشاکاری و یا ۵۰ درصد پایه و ۵۰ درصد ۶۰ روز پس از نشاکاری) و یا سه مرحله‌ای (۵۰ درصد پایه، ۲۵ درصد سرک در ۱۲ تا ۲۰ روز پس از نشاکاری و ۲۵ درصد سرک ۶۰ روز پس از نشاکاری) برای برنج‌های محلی و توسعه یافته مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این پژوهش نشان داد که در تمام خاک‌ها و علی‌رغم تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، مقدار فسفر قابل استفاده یک ماه پس از غرقاب به طور معنی‌داری بیش‌تر (۷۲ درصد) از مقدار فسفر قابل استفاده خاک در شرایط خاک هواخشک است و این افزایش به طور میانگین $4/93$ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک بود که معادل میانگین حدود $29/15$ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل است. روند تغییرات فسفر قابل استفاده خاک طی زمان، نشان می‌دهد که این تغییرات فرآیندی سه مرحله‌ای را طی می‌کند. غلظت فسفر قابل استفاده در مراحل اولیه (تا ۴۸ ساعت اولیه) زیاد و سپس با گذشت زمان (تا ۲۸۸ ساعت) با سرعت متوسطی به تدریج کاهش یافت (تا ۶۰۰ ساعت)، پس از آن کاهش مقدار فسفر با سرعت

منابع

1. Aharoni, C., Sparks, D., Levinson, L., and Raviana, J. 1991. Kinetics of soil chemical reaction. Relationships between empirical equation and diffusion models. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 55: 1307-1312.
2. Akhgar, A., and Tofighi, H. 1999. Evaluation of pH, Eh, soluble Fe and available phosphorus changes at North of Iran paddy soils with and without rice plants. In: *Proceeding of 6th Iranian Congeres of Soil Science*. Ferdosi University, Mashhad, Iran. (In Persian)
3. Archana, K., Prabhakar Reddy, T., Anjaiah, T., and Padmaja, B. 2016. Effect of dose and time of application of phosphorous on yield and economics of rice grown on P accumulated soil. *Inter. J. Sci. Environ. Technol.* 5: 5. 3309-3319.
4. Barrow, N.J. 1979. The effects of temperature on the reactions between inorganic phosphate and soil. *J. Soil Sci.* 30: 271-279.
5. Biabanaki, F., and Hosainpoor, A.R. 2007. Kin etic of phosphorus desorption and correlation of kinetics medels coefficient with some of soil characters and plant indexes at some soils of Hamedan. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour.* 11: 491-503. (In Persian)
6. Bubba, M.O., Arias, C.A., and Porix, H. 2003. Phosphorus adsorption maximum of sands for use as media in subsurface flow cultivated reed beds as measured by the Langmuir adsorption isotherms. *Water Research.* 37: 3390-3400.
7. Chen, Y.S.R., James, N.B., and Werner, S. 1973. Kinetic study of phosphate reaction with aluminum oxide and kaolinite. *Environmental Science and Technology.* 7: 4. 327-332.
8. Chien, S.H., and Clayton, W.R. 1980. Application of Elovich equation to the kinetics of phosphate release and sorption in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 265-268.
9. Dhillon, N.S., and Dev, G. 1988. Transformation of soil inorganic phosphorus reactions under various crop rotations. *J. Ind. Soc. Soil Sci.* 39: 709-713.
10. Fox, R.L., and Kamprath, E. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluation the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society of American Proceeding.* 34: 902-907.
11. Freese, D., Van Riemsdijk, W.H., and Vander Zee, S. 1995. Modeling phosphate sorption kinetics in acid soils. *Eurp. J. Soil Sci.* 46: 239-245.
12. Garcia-Rodeja, I., and Gil-Sotres, F. 1997. Prediction of parameters describing phosphorus desorption kinetics in soils of Galicia (Northwest Spain). *J. Environ. Qual.* 26: 1363-1369.
13. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods.* 2nd ed., Madison, USA.
14. Goldberg, S., Scalera, E., and Adamo, P. 2008. Molybdenum adsorption by volcanic Italian soils. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 39: 693-706.
15. Gorgin, N., Fekri, M., and Sadegh, L. 2011. Impact of organic-matter application on phosphorus-desorption kinetics in two agricultural soils in southeastern Iran. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* 42: 514-527.
16. Griffin, R.A., and Jurinak, J.J. 1973. Kinetics of the phosphate interaction with calcite. *Soil Science Society of American Proceeding.* 38: 75-79.
17. Halford, I.C.R. 1980. Greenhouse evaluation of four phosphorous Soil tests in relation to phosphate buffering and labile phosphate in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 555-559.
18. Jabari, H., and Bostani, A. 2004. Kinetic of available phosphorus changes in presence of municipal waste at some soils of Iran. *Iran. J. Soil Water Res.* 45: 2. 211-219. (In Persian)
19. Jackson, M.L. 1958. *Soil chemical Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
20. Khan, M.S., Zaidi, A., and Wani, P.A. 2007. Role of phosphate – solubilizing microorganisms in sustainable agriculture- A review. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 29-43.
21. Javid, S., and Rowell, D.L. 2002. A laboratory study of the effect of time and temperature on the decline in Olsen P following phosphate addition to calcareous soils. *Soil Use Management.* 18: 127-134.
22. Kumar, A.D.V.S.L.P., Rao, M.S., and Satyanarayana, M. 2015. Influence of soil test based application of phosphorous fertilizers on yield of paddy: A case study in khammam District of Andhra Pradesh. *J. Rice Res.* 8: 1. 48-50.

23. Laegreid, M., Bockman, O.C., and Kaarstad, O. 1999. Agriculture, Fertilizer and the Environment. CABI Publishing, Porsgrunn, Norway.
24. Lindsay, W.L., Velke, P.G., and Chien, S.H. 1989. Phosphate minerals. P 1089-1130, In: J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments. 2nd ed., SSSA Book Series No. 1, Madison, WI. USA.
25. Loeppert, R.H., and Suarez, G.L. 1996. Carbonates and Gypsum. Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods. Madison, Wisconsin, USA.
26. Malakooti, M.J., and Kavooosi, M. 2004. Balanced Nutrition of Rice. Sena publication company, Tehran, Iran. (In Persian)
27. McDowell, R.W., and Sharpley, A.N. 2003. Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. Geoderma. 112: 143-154.
28. Meena, R.K., Neupane, M.P., and Singh, S.P. 2014. Effect of phosphorous levels and bioorganic sources on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Inter. J. Agric. Sci. 11: 286-289.
29. Najafi, N., and Towfighi, H. 2008. Changes in pH, EC and concentration of phosphorus in soil solution during submergence and rice growth period in some paddy soils of north of Iran. Proceedings of the International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology, 29 October-1 November, Kusadasi, Turkey, Pp: 555-567.
30. Najafi, N., and Towfighi, H. 2011. Effects of soil moisture regimes and phosphorus fertilizer on available and inorganic P fractions in some paddy soils, north of Iran. Iran. J. Water Soil Res. 42: 2. 257-269. (In Persian)
31. Najafi, N., and Towfighi, H. 2014. Changes in available phosphorus and inorganic native phosphorus fractions after waterlogging in the paddy soils of north of Iran. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science. 18: 67. 151-163. (In Persian)
32. Novak, L.T., and Petschauer, F.J. 1979. Kinetics of the reaction between orthophosphate ions and Muskegon dune sand. J. Environ. Qual. 8: 312-318.
33. Olsen, S.R., and Khasawneh, F.E. 1980. Use and limitation of physical-chemical criteria for assessing the state of phosphorus in soils. P 361-404, In: F.E. Khasawneh, E.C. Sample and E.J. Kamprath (Eds.), the Role of Phosphorus in Agriculture. 361-404. Pub SSSA. Madison, WI. USA.
34. Ovalles, F.A., and Collins, M.E. 1984. Soil landscape relationships and soil P availability in North Central Florida. Soil Science Society of American Proceeding. 50: 401-408.
35. Ponnampetuma, F.N. 1972. The Chemistry of submerged soils. Advanced Agronomy. 24: 29-96.
36. Ponnampetuma, F.N. 1978. Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. IRRRI. Soil and Rice. Los Banos, Laguna, Philippines, Pp: 421-441.
37. Qadeer, R., and Akhtar, S. 2005. Kinetics Study of Lead Ion Adsorption on Active Carbon. Turk. J. Chem. 29: 95-99.
38. Raeisi, T., and Hossainpoor, A. 2013. Wheat rhizospheric effects on phosphorus desorption kinetic. Water Soil J. (Agricultural Science and Industry). 27: 4. 780-791. (In Persian)
39. Raeisi, T., and Hossainpoor, A. 2015. Bean rhizospheric effects on phosphorus desorption kinetic of Shahr-e-Kurd calcareous soils. Know. Water Soil J. 25: 2. 67-80. (In Persian)
40. Safari Sinigani, A.A., and Sedri, S. 2011. Effects of sterilization and temperature on the decrease kinetic of phosphorus bioavailability in two different soil types. J. Soil Sci. Plant Nutr. 11: 2. 109-122.
41. Samadi, A., and Gills, R.J. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of Southern Western Australia. Soil Sci. Soc. Amer. J. 63: 809-815.
42. Sharpley, A.N., and Ahuja, L.R. 1983. A diffusion interpretation of soil phosphorus desorption. J. Soil Sci. 135: 322-326.
43. Singh, A.L., Singh, P.K., and Latha, P. 1988. Effect of split application of phosphorous on the growth of azolla and low land rice. Fertility Research. 16: 2. 109-117.

44. Sparks, D.L., and Jardine, P.M. 1984. Comparison of kinetic equation of describe K-Ca exchange in pure and in mixed systems. *J. Soil Sci.* 138: 115-122.
45. Sparks, D.L. 1999. *Kinetics of soil chemical processes.* San Diego, CA, Academic Press, Inc.
46. Sui, Y., and Thompson, M.L. 2000. Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in Molisol. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 164-169.
47. Toor, G.S., and Bahl, G.S. 1999. Kinetics of phosphate desorption from different soils as influenced by application of poultry manure and fertilizer phosphorus and its uptake by soybean. *Bio-resource Technology.* 69: 117-121.
48. Ustan, S. 2004. Kinetic and equilibrium study of phosphours in soils of Iran. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
49. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science.* 37: 1. 29-38.
50. Wright, R.B., Lockaby, B.G., and Walbridge, M.R. 2001. Phosphorus availability in an artificially flooded Southeastern floodplain forest soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 65: 1293-1302.
51. Yadav, S.L., Ramteke, J.R., Gedam, V.B., and Powar, M.S. 2004. Effect of time of application of phosphorus and potassium on the yield and nutrients uptake of rice hybrids. *J. Maharashtra Agric. Univ.* 29: 2. 242-243.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Behavior of available phosphorus during submerged condition in rice paddy soils by adding phosphorus fertilizer

*Sh. Mahmoud Soltani¹, M. Kavosi², M. Allahgholipoor¹,
M. Shakouri³ and M. Paykan⁴

¹Assistant Prof. of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, ²Associate Prof. of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, ³Ph.D. Student, Dept. of Management of Soil Resources, Faculty of Agriculture, Guilan University, ⁴Chemistry Laboratory Officer of Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Received: 07/22/2017; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Phosphorus (P), next to nitrogen is the most limiting factor of rice growth and development. Phosphorus deficiency have has severe negative impact on rice yield. Despite of vital importance of P on rice production in paddy fields, its recovery is too low-less than 25% of applied P fertilizers-and the rest unrecovered P will fix in paddy soils through various aging process and fractions, or/and lost along inefficient off stream and runoff movement. The one year project was conducted to identify and improve these trends. The main objectives of current study are: To characterize P behaviors on six different types of paddy soils, to explore the P kinetics equations and their coefficients and to study the possibility of P fertilizers splitting through results of P kinetics findings.

Materials and Methods: A two factors factorial experiment was done based on complete random design with six levels of soils and two levels of P fertilizer (0 and 45 kg ha⁻¹ P₂O₅ in source of pure K₂HPO₄). 2.5 g of sieved and air dried soil samples were submerged by 5 ml for 30 days in 25 °C. The submerged soils treated by P levels and available P sequentially extracted in the following time sequences: 2, 4, 6, 8, 10 and 12 hours and 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 17, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 and 75 days after P treatment. The extracted available P was run with the zero, first, second and third order equations, Elovich kinetic equation and power function equation and parabolic diffusion equation to calculate the coefficients of equations. The best fitted equation was selected according to the determination coefficient (R²) and the standard error of estimate (SEE).

Results: The findings of this research showed that in spite of different physical and chemical soil characteristics, the available P increased significantly through submerging (72%) compared to no flooded condition, averagely about 6.7 to 8.2 mg kg⁻¹ in all soils. Moreover, the desorption curves of available P indicated a rapid decrease of P concentration (until 48 hours after adding P) and followed by gradual reduction until 600 hours after adding P and continued to end of experiment by very slow and constant slope. The first and second order equation (highest R²), zero and power function equations (highest SEE) could describe the P desorption process. Finally, the second order model were selected to express the P behavior in all soils because of the high R² values, lower SEE and the significant correlation with soil properties. The slope of second order equation indicated significant correlation with pH (-0.51**), organic carbon (-0.51**), calcium carbonate content (0.68**), available P of un- flooded condition (-0.51**), available P of submerged soils (-0.51**), Sand (0.68**) and clay content (-0.60).

Conclusion: Also P desorption curves showed three different reactions by time, 50% and 70% of P reduction was occurred before 12 days and 60 days, respectively. Therefore, it might be concluded that P splitting at the begging of vegetative and reproductive stages is achievable.

Keywords: Rice, Available phosphorus, Kenitics equations, Flooded condition, Paddy fields

* Corresponding Author; Email: shmsoltani@gmail.com