

## سینتیک تغییرات فسفر قابل استخراج در تعدادی از خاک‌های همدان

فرنوش طهماسبی<sup>۱</sup> و علیرضا حسین پور<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۸۴/۴/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۴/۱۰)

### چکیده

ویژگی‌های خاک نقش مهمی در جذب فسفر دارد. اطلاعات درباره جذب فسفر در خاک‌های همدان محدود است. هدف از این پژوهش بررسی سرعت جذب فسفر در تعدادی از خاک‌های همدان به وسیله دو نوع عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (روش اولسن) و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای در مدت ۲۵۲۰ ساعت و انتخاب بهترین معادله سینتیکی جهت توصیف جذب فسفر و بررسی همبستگی خصوصیات جذب فسفر با ویژگی‌های خاک بود. به این منظور ۲۰۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک به صورت  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  به نمونه‌های خاک اضافه شد. خاک‌های کود داده شده با رطوبت ثابت ۲۰ درصد وزنی به مدت ۲۵۲۰ ساعت در انکوباتور در دمای  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  سانتی‌گراد نگهداری و در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۸، ۲۴، ۴۸، ۹۶، ۷۲، ۵۰۴، ۳۳۶، ۲۴۰، ۱۶۸، ۱۲۰، ۸۴۰، ۶۷۲، ۱۰۰۸، ۱۱۷۶، ۱۳۴۴، ۱۵۱۲، ۱۶۸۰، ۱۸۴۸، ۲۰۱۶، ۲۱۸۶ و ۲۵۲۰ ساعت پس از اضافه کردن کود فسفره به خاک‌ها، عمل نمونه‌برداری و عصاره‌گیری فسفر توسط عصاره‌گیر اولسن و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای انجام و معادله‌های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیکی، تابع نمایی و الوجیج ساده شده بر داده‌ها برآش داده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که سرعت جذب فسفر در ابتدا سریع بوده، سپس کاهش یافت و به مقدار ثابتی رسید. مقدار فسفری که پس از ۲۵۲۰ ساعت خوابانیدن جذب شد در روشن اولسن و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب در دامنه ۰/۲۵۳/۸-۰/۲۵۳/۱ و ۰/۱۶۲/۶-۰/۲۵۳/۱ میلی گرم در کیلوگرم بود. با توجه به بالا بودن ضرایب تشخیص و کم بودن خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی، دو معادله الوجیج ساده شده و تابع نمایی بهتر از معادله‌های دیگر جذب فسفر را تشریح نمودند. دامنه تغییرات ضرایب سرعت در معادله الوجیج ساده شده و تابع نمایی توسط عصاره‌گیر اولسن به ترتیب ۰/۰۳۶-۰/۰۴۹ و ۰/۱۸۴-۰/۰۳۸۲ و ۰/۱۵۷-۰/۰۳۰۴ میلی گرم در کیلوگرم در ساعت و در روشن بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب ۰/۰۷۶ و ۰/۰۷۴-۰/۰۳۳۶ میلی گرم در کیلوگرم در ساعت بود. نمودار معادله‌ها در ۳۳۶ ساعت دارای شکستگی بود. بنابراین دو معادله بر داده‌ها برآش شد (صرف تا ۰/۱۸۴-۰/۰۳۸۲ تا ۰/۰۷۶ تا ۰/۰۷۴-۰/۰۳۳۶ ساعت). در بخش اول نیز با توجه به بالا بودن ضرایب تشخیص و کم بودن خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی الوجیج، تابع نمایی و پخشیدگی پارابولیکی بهتر از معادله‌های دیگر جذب فسفر را تشریح نمودند. ضرایب سرعت تعیین شده در این معادله‌ها در خاک‌ها تغییرات زیادی داشت. در بخش دوم معادله‌های سینتیکی قادر به توصیف جذب فسفر نبودند. نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت جذب فسفر در خاک‌ها متفاوت بود و تحت تأثیر مقدار کربنات کلسیم، آهن و آلومینیوم بلوری و بی‌شکل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سینتیک، جذب فسفر، بی‌کربنات سدیم، بی‌کربنات، آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان و در حال حاضر دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

## مقدمه

می‌دهند (۹). علاوه بر کانی‌های فسفاته، فسفر به شکل‌های دیگری نیز در فاز جامد وجود دارد. یکی از راه‌های جذب فسفر واکنش آن با هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم است. این حالت شامل جایگزینی  $\text{PO}_4^{3-}$  به جای گروه‌های هیدروکسیل در سطوح این کلوئیدها است. فسفر به وسیله کانی‌های رسی نیز جذب سطحی می‌شود، اما توانایی این کانی‌ها در غیر قابل جذب کردن فسفر کمتر از اکسیدهای آهن و آلومینیوم است. رس‌های ۲:۱ نسبت به رس‌های ۱:۱ توانایی بیشتری در جذب فسفر دارند، زیرا گروه‌های لبه‌ای این کانی‌ها بیشتر است (۱۱). علاوه بر این نباید تأثیر زمان و دما را بر وضعیت فسفر خاک‌ها نادیده گرفت.

جذب فسفر در خاک‌ها را می‌توان به دو بخش جدا از هم تقسیم کرد: یک واکنش سریع اولیه که با یک واکنش آرام دنبال می‌گردد (۲۵). واکنش‌های جذبی که تبادل (جایگزینی) فسفر توسط آنیون‌ها را روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم دربرمی‌گیرد بسیار سریع هستند. واکنش‌های آرام‌تر شامل: ۱) حل شدن ترکیبات با حلایت بالا و رسوب آن به صورت ترکیبات با حلایت کمتر که این واکنش آرام شامل جابه‌جایی فسفر از پیوندهای ضعیف تر به پیوندهای قوی تری است که قابلیت جذب کمتری برای گیاه دارد و ۲) تشکیل پیوندهای کوالانسی  $\text{Al-P}$  یا  $\text{Fe-P}$  بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم (۲۵).

ترکیبات اولیه که در طی واکنش کود فسفر در خاک رسوب می‌کنند نسبتاً ناپایدارند و به آسانی با تغییر دما و زمان به ترکیباتی با حلایت کمتر و پایدارتر تبدیل می‌شوند (۲۵). مطالعات زیادی در مورد جذب فسفر در خاک‌ها انجام شده است (۳، ۴، ۱۰ و ۲۴). دلیل اصلی گسترش کمبود فسفر در خاک‌های کشاورزی تثیت آن عنصر در خاک‌ها بوده که تبدیل فسفات محلول به شکل غیر قابل دسترس برای گیاهان می‌باشد (۲۵). در تعیین فسفر قابل استفاده روش‌های عصاره‌گیری مختلفی وجود دارد. روش عصاره‌گیری با موادی مانند بی‌کربنات سدیم و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای

جذب و آزاد شدن فسفر از مهم‌ترین فرایندهایی هستند که غلظت فسفر در محلول خاک را کنترل می‌کنند (۳۰). برای مطالعه جامع یک واکنش هم بررسی ترمودینامیکی و هم سیتیکی آن واکنش ضروری است. چنین بررسی‌هایی مکمل یکدیگر می‌باشند (۱).

ترمودینامیک، جهت واکنش را توصیف می‌کند و پیش‌بینی می‌کند که آیا مواد برای رسیدن به پایدارترین حالت خود با هم واکنش خواهند داد یا نه. اما بعضی از واکنش‌ها بسیار کند هستند و بلاfaciale به پایدارترین حالت خود نمی‌رسند. سیتیک، مطالعه سازو کار (مسیر و محصولات حد واسط) و سرعت واکنش‌ها می‌باشد (۷). اتکینسون (۲) دو دلیل برای مطالعه سرعت واکنش‌های شیمیایی ارائه کرده است: پیش‌بینی این که واکنش‌ها با چه سرعتی به تعادل یا حالت شبه تعادل می‌رسند و پیش‌بینی سازوکار واکنش‌ها. معادله‌های سرعت هم‌چنین وسیله‌ای برای طبقه‌بندی واکنش‌ها به مرتبه‌های مختلف می‌باشند. واکنش‌های شیمیایی در خاک و محیط‌های آبی فرایندهایی پویا هستند (۲۵). بنابراین مطالعه سیتیکی برای توصیف و پیش‌بینی واکنش‌های جذب و دفع که در محیط‌های طبیعی رخ می‌دهد به کار می‌روند (۲۷).

بهمنظور رسیدن به توصیفی بهتر از تغییرات واکنش‌های فسفر در خاک با زمان نمی‌توان ماهیت سیتیکی چنین واکنش‌هایی را نادیده گرفت (۶، ۱۲، ۱۱ و ۱۹ و ۲۷). غلظت فسفر در محلول خاک با فرایندهای جذب-دفع کنترل می‌شود. ویژگی‌های مختلف خاک شامل پ-هاش سیستم جذب، مقدار اکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم، موادآلی و رس و هم‌چنین کاتیونی‌های موجود در لایه دوگانه، از طریق تأثیر دارند (۱۰). فسفر معدنی عموماً در خاک‌ها به صورت فسفات‌های کلسیم، آلومینیوم و آهن وجود دارد. فسفات‌های کلسیم در خاک‌های آهکی و فسفات‌های آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی قسمت عمده فسفر خاک را تشکیل

در خاک‌های ایران در مورد سرعت جذب فسفر و توصیف آن با مدل‌های سیتیکی مطالعه‌ای انجام نشده است، لذا این مطالعه با هدف کاربرد معادله‌های سیتیکی در توصیف جذب فسفر در تعدادی از خاک‌های همدان انجام شد.

## مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش ۱۲ نمونه خاک سطحی (۰-۳۰ سانتی‌متر) که از نظر فسفر قابل جذب، کربنات کلسیم و درصد رس تغییرات زیادی داشتند از خاک‌های استان همدان به روش تصادفی انتخاب شدند. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل: بافت خاک با روش هیدرومتر (۸)، پ-هاش در عصاره‌های ۱:۲ محلول به خاک ( محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) به روش الکترود شیشه‌ای (۳۰)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱ آب مقطر به خاک با استفاده از EC متر (۲۳)، ماده آلی به روش اکسایش تر (۲۱)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم در پ-هاش ۷ (۲۹)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (۱۷) و آهن و آلومینیوم بلوئی به روش سیترات-دی‌تیونات-آلومینیوم (۱۶) در سه تکرار تعیین شد.

بررسی سرعت جذب فسفر توسط دو عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم ۵٪ نرمال (اولسن) و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای انجام شد. در آغاز آزمایش به تمامی خاک‌ها ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر از نمک  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  به صورت محلول اضافه گردید. رطوبت خاک‌ها به ۲۰ درصد وزنی رسانده شد و در انکوباتور در دمای ثابت  $25 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. در مدت آزمایش با وزن کردن روزانه نمونه‌ها، رطوبت خاک‌ها با افزودن آب مقطر ثابت نگه داشته شد. سپس در زمان‌های مشخص ۱، ۲، ۴، ۸، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸، ۲۴۰، ۳۳۶، ۵۰۴، ۶۷۲، ۸۴۰، ۱۰۰۸ میلی‌گرم

به طور گستردگی در بیشتر خاک‌ها استفاده شده است (۱۳). اسپارکس (۲۷) تلاش‌های زیادی را جهت به دست آوردن مدل واکنش‌های فسفر در خاک‌ها انجام داد. به نظر می‌رسد که با کاربرد مدل‌هایی که شامل هر دو واکنش‌های تعادلی و غیرتعادلی باشد (۱۱) یا با استفاده از یک مدل چند مرحله‌ای مکانیکی می‌توان پیشگویی دقیق‌تری از تغییر و تبدیلات فسفر به عمل آورد (۱۱).

معادله‌های سیتیکی به کار رفته شامل: معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارabolیکی، تابع نمایی و الیویچ ساده شده است (۱۲). صمدی و گیلکز (۲۴) در ۱۴ خاک آهکی و قلیایی از شمال غربی استرالیا تغییرات فسفر اضافه شده به خاک را تحت تأثیر ویژگی‌های خاک، مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که کاهش فسفر عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات سدیم (روشن اولسن) با زمان از یک معادله سیتیکی مرتبه دوم پیروی می‌کند. ثابت سرعت سیتیکی (k) با افزایش آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات و آهن و آلومینیوم عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات-سیترات-دی‌تیونات (CBD) مقدار رس بدون کربنات کلسیم، گنجایش تبادل کاتیونی و نسبت آهن عصاره‌گیری شده با CBD به کربنات کلسیم فعال معادل افزایش می‌یابد.

گریفین و جورناک (۱۴) سیتیک واکنش کلسیت با فسفات را مورد مطالعه قرار دادند و برای برآش داده‌های خود در ۱۰ دقیقه اول واکنش از یک معادله سرعت مرتبه دوم استفاده کردند. نواک و آدریانو (۲۲) نیز چهار مدل مکانیکی را برای توصیف واکنش سیتیکی فسفات آزمون نموده و به این نتیجه رسیدند که معادله سرعت مرتبه دوم برای داده‌های آزمایش برآش بهتری دارد. هانسن و همکاران (۱۵) میزان تغییر فسفات در محلول خاک را از طریق ترسیم لگاریتم غلظت فسفر محلول در مقابل زمان واکنش توصیف کردند. در همه آزمایش‌ها یک جذب سریع در دقایق اولیه واکنش مشاهده شده است که اغلب با یک دوره زمانی که در آن تغییرات کمی در لگاریتم غلظت با زمان اتفاق می‌افتد دنبال می‌گردد.

## جدول ۱. معادله‌های سیتیکی استفاده شده

معادله	مدل
مرتبه صفر	$P_t = P_0 - K_a \cdot t$
مرتبه اول	$\ln P_t = \ln P_0 - K_a \cdot t$
الوویچ ساده شده	$P_t = a + 1/\beta \ln t$
انتشار پارابولیک	$P_t/P_a = a + b \cdot t^{0.5}$
تابع نمایی	$\ln P_t = \ln a + b \ln t$

در این معادلات:

$P_t$  و  $P_0$  به ترتیب مقدار فسفر استخراج شده در زمان  $t$  و زمان صفر،  $a$  مقدار فسفر جذب شده پس از ۲۵۲۰ ساعت و  $b$  و  $\beta$  ضرایب سرعت می‌باشد.

## نتایج و بحث

براساس نتایج می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای دامنه گسترهای از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بود (جدول ۲). در مورد درصد اجزای خاک دامنه تغییرات رس ۱۶/۸-۳۸/۶ درصد بود. دامنه تغییرات پ-هاش ۸/۸-۷/۲ و دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی ۳/۴-۱/۰ دسی زیمنس بر متر بود. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل ۷۵-۳۴/۲ ۰۰ و دامنه تغییرات کربن آلی ۲/۰-۰/۴ درصد بود. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی ۳۳/۸-۱۴/۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم بود. دامنه تغییرات آهن‌بلوری این خاک‌ها بین ۹۷۶/۵-۱۶۳۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در خاک‌های ۱ و ۱۱ بود. دامنه تغییرات آلومینیوم بلوری (آزاد) نیز ۷۱۵/۰-۱۴۰۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، که بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در خاک‌های ۱ و ۱۱ بود (جدول ۴). دامنه تغییرات آهن و آلومینیوم بی‌شکل (فعال) نیز به ترتیب بین ۷۶۸/۳-۱۲۰۰/۸ و ۶۰۳/۶-۱۳۴۹/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم، که بیشترین و کمترین مقدار مربوط به خاک‌های ۱ و ۱۱ بود (جدول ۴). دامنه تغییرات فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن ۹۰/۳۷-۱۳۳/۹ با میانگین ۲۶/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه تغییرات فسفر عصاره‌گیری شده به روش بی‌کربنات‌آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای ۱/۸۳-۴۸/۱۱ با میانگین

۱۱۷۶، ۱۵۱۲، ۱۳۴۴، ۱۸۴۸، ۲۰۱۶، ۲۱۸۶، ۲۳۵۲ و ۲۵۲۰ ساعت پس از اضافه کردن کود فسفره به خاک‌ها، عمل نمونه‌برداری و عصاره‌گیری فسفر توسط عصاره‌گیر اولسن و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای (۱۴) انجام شد. در هر زمان غلظت فسفر عصاره‌ها به روش رنگ‌سننجی تعیین شد. سپس مدل‌های سیتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیکی، الوویچ ساده شده و تابع نمایی را بر مقادیر فسفر استخراج شده برآذش داده (جدول ۱) و با توجه به ضریب تشخیص و خطای استاندارد برآورد، معادله یا معادله‌هایی که بیشترین ضریب تشخیص و کمترین خطای استاندارد برآورد را داشتند انتخاب و ثابت‌های آنها محاسبه شد. خطای استاندارد برآورد با توجه به فرمول زیر محاسبه شد:

$$SE = [\sum (P_t - P_0)^2 / n - 2]^{0.5}$$

در این معادله  $P_t$  و  $P_0$  به ترتیب نشان‌دهنده مقدار فسفر استخراج شده و برآذش شده به وسیله مدل در زمان  $t$  و  $n$  تعداد نقاط آزمایشی است. در پایان ثابت‌های معادله‌های سیتیکی محاسبه و بهترین معادله‌ها جهت توصیف غیرقابل جذب شدن فسفر در این خاک‌ها تعیین شد. هم‌چنین میان ثابت‌های سرعت معادله‌های سیتیکی و ویژگی‌های خاک معادلات رگرسیونی برآذش تا ویژگی‌هایی از خاک که بر سرعت غیرقابل جذب شدن فسفر تأثیر دارند، مشخص گردد.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	نمونه برداری	محل	قابلیت هدایت $dS m^{-1}$	الکتریکی	پ-هاش	کاتیونی $Cmol kg^{-1}$	گنجایش تبادل آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	سیلت	شن
۱	موئی جین		۰/۲۶	۷/۲	۲۰/۲	۳/۷	۱/۲	۲۱/۸	%	۳/۶	۷۴/۶
۲	سولان		۰/۳۲	۷/۷	۱۸/۷	۱/۲	۲/۰	۱۶/۸	۱۸/۶	۶۴/۶	
۳	مریانج		۰/۲۹	۷/۹	۲۰/۳	۰/۸	۱۱/۷	۲۶/۸	۸/۶	۶۴/۶	
۴	یکن آباد		۰/۲۱	۷/۴	۲۱/۸	۰/۵	۰/۷	۲۳/۶	۱۷/۷	۵۸/۷	
۵	بهار		۰/۲۴	۷/۹	۱۶/۶	۱/۵	۷/۷	۲۶/۸	۲۱/۶	۵۱/۶	
۶	لاله جین		۰/۲۴	۷/۹	۳۰/۱	۱/۳	۴/۷	۳۱/۸	۲۸/۶	۳۹/۶	
۷	کوریجان		۰/۲۱	۷/۶	۲۴/۸	۱/۰	۳۴/۲	۲۸/۶	۲۷/۷	۴۳/۷	
۸	دوراهی کوریجان		۰/۲۸	۷/۸	۲۴/۸	۰/۶	۲۲/۷	۳۱/۸	۱۸/۶	۴۹/۶	
۹	سه راهی نوژه		۳/۴۰	۸/۸	۲۳/۸	۰/۴	۱۳/۷	۳۶/۸	۲۸/۶	۳۴/۶	
۱۰	کبودرآهنگ		۰/۲۵	۷/۸	۲۸/۷	۱/۰	۸/۲	۳۸/۶	۱۷/۷	۴۳/۷	
۱۱	ستقرآباد		۰/۲۳	۸/۰	۱۸/۲	۱/۵	۱۹/۵	۲۰/۰	۲۲/۳	۵۷/۶	
۱۲	شهاب الدین		۰/۱۳	۷/۸	۱۴/۶	۱/۴	۲۴/۵	۲۱/۸	۱۶/۹	۶۱/۳	

جدول ۳. فسفر قابل استخراج قبل و پس از اضافه کردن کود و انکوباسیون در خاک‌های مطالعه شده (میلی گرم در کیلو گرم)

شماره خاک	فسفر قابل استخراج اولیه				شماره خاک	
	فسفر قابل استخراج پس از انکوباسیون		فسفر قابل استخراج قبل			
	بیکربنات آمونیوم- دی	بیکربنات سدیم	بیکربنات آمونیوم- دی	بیکربنات سدیم		
۱	۹۰/۳	۴۸/۱	۵۲/۱	۱۳/۰		
۲	۸۲/۹	۳۸/۲	۲۹/۱	۱۹/۲		
۳	۵۳/۸	۲۹/۰	۲۰/۰	۱۴/۸		
۴	۱۶/۵	۶/۸	۲۰/۶	۱۴/۳		
۵	۳۱/۹	۱۵/۳	۴۲/۶	۵/۷		
۶	۱۰/۶	۲/۵	۴۸/۰	۷/۹		
۷	۱۱/۷	۳/۴	۲۴/۳	۶/۹		
۸	۵/۲	۱/۸	۲۸/۵	۵/۶		
۹	۱/۳	۱/۸	۳۵/۷	۳/۶		
۱۰	۱۵/۸	۴/۶	۳۳/۹	۵/۱		
۱۱	۱/۳	۲/۴	۳۵/۸	۵/۳		
۱۲	۱/۵	۲/۶	۱۱/۹	۹/۳		

## جدول ۴. مقادیر آهن و آلومینیوم بلوری و بی شکل در خاک های مطالعه شده (میلی گرم در کیلوگرم)

آلومینیوم		آهن		شماره خاک
بی شکل	بلوری	بی شکل	بلوری	
۱۲۰۰/۸	۱۴۰۶/۷	۱۳۴۹/۷	۱۶۳۰/۸	۱
۹۹۹/۳	۱۱۱۰/۰	۱۰۴۵/۶	۱۳۹۰/۴	۲
۱۰۰۲/۱	۱۱۸۰/۰	۱۱۰۰/۴	۱۴۲۰/۸	۳
۱۱۷۰/۹	۱۳۸۰/۰	۱۳۰۰/۴	۱۵۹۵/۰	۴
۹۸۴/۱	۱۰۹۰/۰	۱۰۲۰/۰	۱۳۵۰/۶	۵
۷۴۵/۰	۸۲۰/۳	۷۷۱/۳	۱۰۷۸/۸	۶
۸۸۰/۵	۹۹۹/۰	۹۳۲/۴	۱۲۲۰/۴	۷
۷۵۰/۶	۱۰۰۵/۷	۸۲۱/۴	۱۳۰۰/۰	۸
۱۰۸۹/۴	۱۲۵۰/۰	۱۲۵۰/۵	۱۵۳۰/۲	۹
۱۰۷۵/۴	۱۲۹۹/۱	۱۱۸۰/۳	۱۴۶۰/۳	۱۰
۵۷۸/۳	۷۱۵/۰	۶۰۳/۶	۹۷۶/۵	۱۱
۱۲۰۰/۰	۱۲۶۸/۱	۱۱۰۰/۳	۱۴۰۰/۳	۱۲

بی کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب ۱۶۲/۷-۲۵۳/۸ و ۱۶۲/۷-۲۵۳/۸ و ۱۹۳/۳-۲۳۵/۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود. در روش بی کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای در خاک ۱ بیشترین و در خاک ۱۲ کمترین مقدار فسفر جذب شده است. در روش اولین در خاک های ۶ و ۲ کمترین و بیشترین مقدار فسفر جذب شده است. اختلاف مقادیر عصاره گیری شده توسط دو عصاره گیر مریبوط به سازوکارهای متفاوت در استخراج فسفر توسط این دو روش عصاره گیری می باشد. در روش بی کربنات سدیم فسفر از طریق تبادل آئیونی و هیدرولیز کاتیونی استخراج می شود. در حالی که در عصاره گیر بی کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای کمپلکس کردن نیز در استخراج فسفر از خاک نقش دارد.

مقدار فسفر استخراج شده اولیه و فسفر استخراج شده پس از ۲۵۲۰ ساعت خوابانیدن در جدول ۴ آورده شده است. مقایسه نتایج جدول ۴ نشان می دهد که در برخی از خاک ها (خاک های شماره ۱، ۲ و ۳) در دو عصاره گیر مقدار فسفر استخراج شده پس از ۲۵۲۰ ساعت کمتر از مقدار فسفر استخراج شده اولیه در آن خاک ها است. در واقع می توان گفت

۱۳/۱ میلی گرم در کیلوگرم بود (جدول ۳).

جذب فسفر فرایندی است که فسفات محلول در اثر واکنش با ترکیبات آلی و معدنی خاک به شکل کمتر محلول تبدیل و در نتیجه فسفر قابل جذب گیاه کاهش می یابد (۴). فسفر در خاک توسط اجزای مختلف خاک از جمله: کانی های رسی، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و مواد آلی، تشییت شده و از دسترس گیاه خارج می شود. تشییت فسفر بستگی به سرعتی دارد که فسفر محلول می تواند به شکل های تشییت شده تبدیل شود. مقدار فسفر استخراج شده به عنوان تابعی از زمان در هر دو عصاره گیر در جدول های ۵ و ۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول ها سرعت جذب فسفر در هر دو عصاره گیر در ابتدا سریع است و سپس کاهش یافته و به مقدار تقریباً ثابتی می رسد هم چنین بیش از ۹۰٪ فسفر جذب شده در هر دو عصاره گیر در طول مدت خوابانیدن مریبوط به بخش اول (۳۳۶ ساعت پس از شروع آزمایش) است. دامنه تغییرات مقدار فسفر جذب شده (اختلاف فسفر قابل جذب اولیه و فسفر قابل جذب پس از ۲۵۲۰ ساعت)، پس از ۲۵۲۰ ساعت توسط بی کربنات سدیم و

جدول ۵. فسفر استخراج شده با روش اولسن در زمانهای مختلف پس از اضافه کردن کود  
(میلی گرم بر کیلوگرم)

۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زمان(ساعت)
۱۳۴/۶	۱۲۶/۷	۲۰۶/۶	۱۸۷/۱	۱۰۷/۷	۱۳۰/۰	۱۳۷/۰	۱۵۲/۳	۲۰۳/۴	۱۹۱/۰	۱۰۲/۰	۲۲۶/۳	۲
۱۲۸/۳	۱۲۴/۹	۱۹۹/۶	۱۸۰/۳	۹۲/۹	۱۲۹/۴	۱۲۹/۰	۱۴۵/۳	۲۰۳/۰	۱۸۶/۱	۱۴۸/۱	۲۲۴/۹	۴
۱۲۷/۷	۱۱۶/۴	۱۹۲/۲	۱۷۶/۴	۸۴/۱	۱۲۸/۹	۱۱۹/۴	۱۳۷/۷	۲۰۲/۶	۱۱۴/۹	۱۲۴/۴	۲۱۰/۰	۸
۱۱۹/۱	۱۱۴/۳	۱۸۵/۴	۱۷۱/۲	۸۲/۰	۱۲۱/۱	۱۰۵/۸	۱۳۳/۴	۲۰۲/۵	۱۰۹/۷	۱۴۴/۲	۲۰۰/۷	۲۴
۶۰/۶	۶۵/۷	۱۲۵/۴	۱۶۳/۹	۸۱/۹	۹۶/۹	۱۰۵/۰	۱۲۸/۴	۱۱۷/۲	۷۴/۵	۱۳۱/۰	۱۹۲/۸	۴۸
۵۱/۲	۶۰/۶	۹۹/۹	۱۲۴/۹	۸۰/۶	۷۹/۶	۱۰۳/۰	۱۲۴/۳	۱۰۵/۸	۷۱/۲	۱۲۴/۹	۱۷۶/۷	۷۲
۴۷/۶	۵۱/۷	۴۸/۷	۷۰/۹	۷۸/۳	۶۲/۰	۱۰۰/۱	۱۱۶/۰	۹۰/۳	۶۸/۵	۱۲۲/۱	۱۴۸/۴	۹۶
۴۶/۶	۵۰/۷	۴۷/۶	۶۴/۹	۷۴/۴	۵۷/۸	۷۲/۷	۱۱۳/۳	۶۷/۳	۵۳/۴	۱۱۵/۶	۱۰۵/۷	۱۲۰
۴۴/۳	۴۷/۱	۴۷/۰	۵۸/۰	۵۱/۱	۵۱/۹	۶۰/۸	۱۱۱/۵	۶۷/۰	۲۷/۱	۱۱۴/۸	۱۰۱/۶	۱۴۴
۴۲/۴	۴۳/۷	۴۶/۵	۵۷/۰	۴۷/۹	۴۳/۵	۵۸/۰	۹۶/۳	۵۵/۰	۲۵/۵	۱۰۲/۵	۱۰۱/۱	۱۶۸
۳۹/۹	۴۳/۵	۴۶/۰	۵۲/۹	۴۲/۴	۴۲/۰	۵۶/۹	۵۵/۶	۵۰/۴	۲۴/۶	۱۰۰/۰	۸۰/۰	۲۴۰
۳۷/۴	۴۲/۸	۴۰/۰	۵۱/۹	۴۱/۵	۴۰/۱	۵۳/۲	۵۲/۴	۴۶/۰	۲۰/۹	۴۹/۳	۵۷/۸	۳۳۶
۳۲/۳	۴۲/۵	۳۲/۵	۴۷/۷	۳۶/۴	۴۴/۵	۳۸/۷	۴۳/۰	۳۹/۰	۲۰/۸	۳۹/۵	۵۲/۰	۵۰۴
۳۱/۱	۵۶/۸	۲۹/۵	۴۵/۹	۳۱/۷	۴۱/۳	۳۵/۲	۳۷/۶	۳۸/۲	۳۷/۹	۳۱/۸	۴۹/۵	۶۷۲
۳۰/۰	۵۳/۹	۳۱/۱	۴۴/۲	۲۹/۴	۴۳/۱	۳۳/۴	۳۴/۱	۳۸/۱	۳۱/۳	۴۷/۲	۴۳/۴	۸۴۰
۳۸/۵	۵۲/۰	۴۲/۴	۴۲/۹	۲۸/۷	۴۱/۶	۳۲/۰	۳۳/۶	۳۵/۳	۳۸/۶	۴۹/۰	۴۱/۰	۱۰۰۸
۳۱/۴	۵۰/۵	۴۷/۱	۴۶/۶	۲۶/۴	۴۱/۲	۳۶/۱	۳۳/۳	۳۰/۱	۳۵/۰	۴۹/۰	۵۱/۸	۱۱۷۸
۲۷/۰	۵۰/۲	۴۳/۹	۴۶/۰	۲۱/۰	۴۰/۰	۳۸/۴	۳۲/۸	۴۵/۸	۳۶/۶	۴۸/۱	۵۸/۳	۱۳۴۴
۲۴/۸	۴۹/۸	۴۱/۵	۴۲/۲	۱۹/۷	۳۸/۱	۳۹/۴	۳۲/۱	۳۹/۵	۳۴/۵	۴۷/۲	۶۰/۶	۱۵۱۲
۲۲/۷	۴۹/۳	۴۸/۷	۴۹/۵	۱۸/۹	۳۷/۲	۴۳/۸	۳۴/۵	۳۶/۴	۳۰/۶	۴۶/۱	۶۲/۴	۱۶۸۰
۲۰/۴	۴۷/۹	۴۶/۲	۴۷/۸	۱۸/۲	۳۰/۴	۴۵/۲	۳۸/۵	۳۳/۰	۳۷/۰	۴۱/۳	۶۳/۵	۱۸۴۸
۱۸/۲	۴۳/۷	۴۲/۷	۴۶/۱	۱۷/۱	۲۸/۷	۴۳/۲	۴۸/۸	۳۱/۱	۳۲/۷	۳۱/۸	۶۵/۵	۲۰۱۶
۱۷/۰	۴۰/۹	۴۰/۰	۳۸/۷	۱۶/۲	۲۷/۱	۵۰/۱	۴۶/۸	۲۹/۶	۲۸/۲	۳۳/۵	۶۰/۹	۲۱۸۴
۱۳/۵	۳۷/۳	۳۷/۲	۳۷/۲	۲۰/۲	۲۵/۶	۴۸/۷	۴۴/۱	۲۵/۳	۲۶/۰	۲۹/۲	۵۲/۳	۲۲۵۲
۱۱/۹	۳۵/۸	۳۳/۹	۳۵/۷	۱۸/۰	۲۴/۳	۴۸/۰	۴۲/۶	۲۰/۶	۲۰/۰	۲۹/۱	۵۲/۱	۲۵۲۰

جدول ۶. فسفر استخراج شده با روش بیکربنات آمونیوم- دی تی پی ای در زمان‌های مختلف پس از اضافه کردن کود  
(میلی‌گرم بر کیلوگرم)

۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زمان(ساعت)
۹۶/۲	۸۴/۶	۷۰/۸	۳۱/۶	۸۸/۴	۹۱/۳	۴۹/۳	۷۱/۵	۷۵/۵	۹۱	۷۰/۴	۸۹/۷	۲
۹۴/۴	۸۲/۹	۶۴/۸	۳۰/۰	۸۸/۴	۹۰/۳	۴۸/۰	۶۳/۲	۷۰/۷	۸۷/۴	۶۴/۹	۸۸/۶	۴
۹۲/۵	۸۱/۵	۶۳/۶	۲۸/۲	۷۹/۹	۸۵/۴	۴۷/۲	۶۰/۴	۶۸/۲	۸۵/۵	۶۳/۱	۸۳/۲	۸
۸۶/۸	۸۱/۰	۶۲/۰	۲۶/۲	۵۷/۸	۸۲/۴	۴۲/۶	۵۷/۳	۶۷/۶	۷۳/۹	۶۲/۳	۸۰/۷	۲۴
۸۶/۶	۴۳/۳	۳۰/۸	۲۵/۱	۵۴/۱	۷۸/۸	۴۲/۲	۵۶/۸	۵۰/۸	۷۳/۴	۵۵/۸	۷۹/۶	۴۸
۳۳/۱	۳۰/۵	۳۰/۵	۲۴/۰	۵۳/۷	۷۳/۳	۳۹/۰	۵۵/۹	۴۹/۷	۵۶/۰	۵۵/۳	۷۹/۱	۷۲
۲۸/۰	۲۸/۰	۳۰/۳	۲۳/۲	۵۳/۲	۶۶/۸	۳۰/۷	۵۵/۷	۴۸/۰	۵۴/۹	۵۰/۶	۷۸/۷	۹۶
۲۵/۴	۲۰/۸	۲۶/۳	۲۱/۶	۵۰/۱	۵۹/۱	۲۹/۹	۵۴/۹	۴۶/۶	۴۷/۲	۴۴/۴	۷۰/۷	۱۲۰
۲۵/۰	۲۰/۰	۲۲/۱	۲۰/۸	۴۲/۷	۳۷/۹	۲۸/۴	۴۳/۵	۴۴/۶	۴۴/۲	۴۳/۲	۶۹/۴	۱۴۴
۲۴/۱	۱۹/۱	۲۲/۰	۱۹/۸	۳۲/۷	۳۱/۸	۲۸/۰	۳۸/۲	۴۲/۴	۴۴/۲	۴۲/۰	۶۶/۲	۱۶۸
۱۸/۱	۹/۶	۲۱/۹	۱۷/۸	۲۶/۸	۲۲/۹	۲۷/۹	۳۶/۹	۳۵/۲	۳۵/۲	۳۹/۴	۵۵/۲	۲۴۰
۱۷/۰	۵/۶	۲۱/۶	۱۶/۵	۲۲/۳	۱۹/۴	۲۴/۲	۲۹/۴	۳۳/۰	۳۳/۰	۳۵/۶	۵۲/۴	۳۳۶
۱۵/۲	۵/۲	۱۷/۱	۱۶/۰	۲۰/۲	۱۸/۶	۲۳/۶	۱۱/۶	۱۸/۶	۲۲/۵	۱۸/۶	۱۷/۶	۵۰۴
۱۳/۹	۴/۹	۱۵/۶	۱۳/۰	۱۷/۵	۱۱/۳	۲۲/۳	۱۱/۱	۱۸/۴	۲۲/۵	۱۵/۷	۱۶/۶	۶۷۲
۱۳/۲	۱۲/۴	۱۵/۰	۱۲/۴	۱۲/۱	۱۰/۴	۹/۷	۱۰/۹	۱۷/۴	۱۶/۷	۲۰/۷	۱۶/۴	۸۴۰
۱۱/۹	۱۲/۳	۱۴/۲	۱۲/۰	۱۲/۰	۱۱/۷	۸/۸	۱۰/۷	۱۷/۶	۲۸/۵	۱۹/۸	۱۵/۶	۱۰۰۸
۱۲/۶	۱۲/۱	۱۲/۲	۱۱/۸	۱۱/۵	۱۴/۵	۸/۲	۹/۷	۲۶/۵	۲۷/۵	۲۷/۳	۱۸/۴	۱۱۷۸
۱۶/۴	۱۲/۰	۹/۸	۱۱/۲	۱۰/۲	۱۳/۷	۷/۷	۹/۲	۲۴/۷	۲۳/۵	۲۸/۱	۱۹/۴	۱۳۴۴
۱۵/۰	۱۱/۸	۸/۱	۱۰/۷	۹/۸	۱۱/۴	۸/۰	۹/۲	۲۲/۰	۲۲/۵	۲۹/۳	۲۰/۲	۱۵۱۲
۱۴/۲	۸/۶	۷/۸	۹/۶	۸/۸	۱۰/۴	۹/۲	۸/۴	۲۱/۵	۲۰/۶	۲۵/۸	۱۹/۸	۱۶۸۰
۱۲/۳	۸/۵	۷/۵	۷/۳	۸/۴	۱۰/۰	۱۰/۱	۸/۰	۱۸/۳	۱۹/۲	۲۳/۳	۱۹/۵	۱۸۴۸
۱۰/۸	۷/۹	۶/۶	۶/۶	۷/۵	۸/۴	۹/۹	۷/۵	۱۷/۸	۱۷/۷	۲۱/۰	۱۹/۰	۲۰۱۶
۱۰/۷	۷/۱	۶/۰	۵/۴	۶/۵	۷/۸	۸/۵	۶/۶	۱۶/۶	۱۶/۱	۲۰/۸	۱۳/۶	۲۱۸۴
۹/۷	۶/۴	۵/۷	۴/۳	۶/۲	۷/۱	۸/۳	۶/۱	۱۵/۸	۱۵/۰	۱۹/۶	۱۳/۰	۲۳۵۲
۹/۳	۵/۳	۵/۱	۳/۶	۵/۷	۶/۹	۷/۹	۵/۷	۱۴/۳	۱۴/۸	۱۹/۲	۱۲/۰	۲۵۲۰

آگینین و تیسن (۳) در مطالعه خود دریافتند که جذب فسفر در ابتدا سریع و سپس کاهش و بعد از ۵۰ روز جذب فسفر به حالت پایداری رسید. اختر و عالم (۴) نیز در مطالعه خود دریافتند که با افزایش زمان خوابانیدن قابلیت دسترسی فسفر در هر دو منع فسفر آلی و معدنی در خاک به تدریج کاهش یافت.

که در این خاک‌ها به دلیل عدم رسیدن به شرایط تعادل در نتیجه خوابانیدن، شرایط لازم برای انجام واکنش‌های ترکیبات فسفر و تبدیل آنها به ترکیباتی با حلالیت کمتر وجود داشته است. در برخی از این خاک‌ها علاوه بر فسفر افزوده شده، مقداری از فسفر اولیه موجود در آنها نیز جذب شده است.

جدول ۷. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورد معادلات سیتیکی در روش اولسن

شماره خاک	معادله مرتبه صفر SE	$r^2$	معادله مرتبه اول SE	$r^2$	معادله الوریچ ساده شده SE	$r^2$	معادله انتشار پارابولیکی SE	$r^2$	معادله تابع نمایی SE	$r^2$
۱	۰/۴۷	۰/۴۷۰	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۰۱۳	۰/۸۲
۲	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۰۰۸	۰/۷۸
۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۰۲۴	۰/۴۵
۴	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۰۱۷	۰/۹۲
۵	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۰۱۰	۰/۸۰
۶	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۰۱۲	۰/۸۰
۷	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۰۱۴	۰/۸۸
۸	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۱۱	۰/۸۴
۹	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۰۱۵	۰/۷۷
۱۰	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۰۲۰	۰/۷۵
۱۱	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۰۱۵	۰/۸۰
۱۲	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۰۱۷	۰/۹۱

جدول ۸. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورد معادلات سیتیکی در روش بیکربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای

شماره خاک	معادله مرتبه صفر SE	$r^2$	معادله مرتبه اول SE	$r^2$	معادله الوریچ ساده شده SE	$r^2$	معادله انتشار پارابولیکی SE	$r^2$	معادله تابع نمایی SE	$r^2$
۱	۷۰/۱	۱۷/۴	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۴	۰/۴	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۰۰۸	۰/۸۵
۲	۰/۵۱	۱۵/۰	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۳	۰/۳	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۰۱۰	۰/۸۵
۳	۰/۵۳	۲۲/۱	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۳	۰/۳	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۱۳	۰/۹۰
۴	۰/۶۰	۱۴/۴	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۳	۰/۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۰۰۹	۰/۸۶
۵	۰/۶۹	۱۴/۵	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۳	۰/۳	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۰۱۰	۰/۸۰
۶	۰/۶۵	۱۰/۴	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۳	۰/۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۱۰	۰/۸۰
۷	۰/۵۹	۲۲/۲	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۴	۰/۴	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۰۱۴	۰/۸۵
۸	۰/۶۰	۱۹/۸	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۳	۰/۳	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۰۱۳	۰/۸۸
۹	۰/۸۲	۳/۹	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۱	۰/۱	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۰۰۴	۰/۸۴
۱۰	۰/۵۲	۱۶/۶	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۳	۰/۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۱۶	۰/۸۵
۱۱	۰/۳	۲۵/۳	۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۷	۰/۷	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۰۲۵	۰/۸۲
۱۲	۰/۴۰	۲۷/۵	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵	۰/۵	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۰۲۲	۰/۸۸

سرعت جذب فسفر از ۵ مدل سیتیکی استفاده شد (جدول ۱). ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد معادله‌های سیتیکی در توصیف سرعت جذب فسفر توسط روش‌های اولسن و بیکربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب در جدول‌های ۷ و ۸ آورده شده است. معادله یا معادله‌هایی که ضریب تشخیص بالا و خطای استاندارد برآورد پایینی دارند به عنوان معادله یا

هم‌چنین با رو (۵) در بررسی‌های خود نشان داد که جذب فسفر از ۱ الی ۳ روز شدیداً افزایش اما از ۳ الی ۹۱ روز تغییرات چندانی نشان نداده است. بیسوس و قوشی (۷) مشاهده کردند که در یک خاک الوریال قلیایی با افزایش در زمان و دمای خوبانیدن بازیافت فسفر اضافه شده کاهش یافت. چنانچه در بخش مواد و روش‌ها گفته شد، برای تشریح

جدول ۹. ضرایب سرعت معادله‌های الوریج و تابع نمایی در خاک‌های مطالعه شده (میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت)

شماره	خاک	معادله الوریج	معادله تابع نمایی	روش اولسن	روش بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای
		معادله تابع نمایی	معادله الوریج	معادله تابع نمایی	معادله الوریج
۱	۲۷/۶۱	۰/۲۳۴	۱۲/۱۴	۰/۲۸۲	۰/۲۸۲
۲	۱۸/۷۹	۰/۲۳۳	۷/۴۰	۰/۱۸۴	۰/۱۸۴
۳	۲۰/۱۰	۰/۲۴۱	۱۱/۵۲	۰/۲۵۸	۰/۲۵۸
۴	۲۶/۹۶	۰/۳۰۴	۸/۸۳	۰/۲۲۹	۰/۲۲۹
۵	۱۸/۷۷	۰/۲۳۳	۱۰/۱۴	۰/۳۶۷	۰/۳۶۷
۶	۱۴/۳۷	۰/۱۸۵	۶/۳۴	۰/۲۶۸	۰/۲۶۸
۷	۱۵/۲۵	۰/۲۲۳	۱۳/۴۴	۰/۳۷۹	۰/۳۷۹
۸	۱۲/۶۱	۰/۲۴۹	۱۲/۲۶	۰/۳۸۲	۰/۳۸۲
۹	۲۱/۷۰	۰/۲۲۴	۳/۶۶	۰/۲۳۲	۰/۲۳۲
۱۰	۲۴/۵۸	۰/۲۴۰	۹/۰۶	۰/۳۳۱	۰/۳۳۱
۱۱	۱۲/۳۰	۰/۱۵۷	۱۱/۷۰	۰/۳۸۱	۰/۳۸۱
۱۲	۱۷/۰۳	۰/۲۹۳	۱۳/۰۸	۰/۳۳۲	۰/۳۳۲

جدول ۱۰. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های خاک با ثابت‌های سرعت معادلات الوریج و تابع نمایی

ویژگی‌های خاک‌ها	بی کربنات سدیم	بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای	تابع نمایی	الوریج	تابع نمایی	الوریج	تابع نمایی	الوریج
پ-هاش	-۰/۰۸ <sup>ns</sup>	-۰/۳۴*	-۰/۱۰ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*
گنجایش تبادل کاتیونی	-۰/۰۵ <sup>ns</sup>	-۰/۴۰*	-۰/۰۶ <sup>ns</sup>	-۰/۰۳ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*	-۰/۰۴*
کربنات کلسیم معادل	۰/۴۹*	۰/۳۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>
درصد رس	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	-۰/۱۴ <sup>ns</sup>	-۰/۰۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>				
آهن بلوری	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۲*	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۲*	۰/۷۷**	۰/۷۷**	۰/۷۷**
آلومینیوم بلوری	-۰/۱۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۶۰**	-۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۶۰**	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۷۸**
آهن بی شکل	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۱**	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۵۱**	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۰/۷۹**
آلومینیوم بی شکل	-۰/۰۲ <sup>ns</sup>	-۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۳**	-۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۵۳**	۰/۷۸**	۰/۷۸**	۰/۷۸**

تابع نمایی در جدول‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است. ضریب سرعت در معادله الوریج در عصاره‌گیرهای اولسن و بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای به ترتیب  $۰/۰۴۹-۰/۰۴۹$  و  $۰/۰۷۶-۰/۰۷۶$  میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت بود. ضرایب سرعت جذب فسفر در معادله تابع نمایی در عصاره‌گیرهای اولسن و بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای به ترتیب  $۰/۳۰۴-۰/۳۰۴$  و  $۰/۱۵۷-۰/۱۵۷$  میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت بود. در روش اولسن در معادله

معادله‌هایی که سرعت جذب فسفر را بهتر توصیف می‌کنند انتخاب شدند. با توجه به نتایج معادله‌های الوریج و تابع نمایی به دلیل بالا بودن ضریب تشخیص و پایین بودن خطای استاندارد برآورد، می‌توانند در این خاک‌ها جهت توصیف سرعت جذب فسفر استفاده شوند، ولی معادله‌های دیگر به دلیل پایین بودن ضریب تشخیص مناسب نیستند.

ضرایب سرعت جذب فسفر در معادله الوریج و

جدول ۱۱. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورده معادلات سیتیکی در بخش اول در روش اولسن

شماره خاک	معادله مرتبه صفر SE r <sup>2</sup>	معادله مرتبه اول SE r <sup>2</sup>	معادله الوویچ ساده شده SE r <sup>2</sup>	معادله انتشار پارابولیکی SE r <sup>2</sup>	معادله تابع نمایی SE r <sup>2</sup>
۱	۰/۸۹	۰/۵۶	۰/۰۹	۰/۷۲	۰/۲۵۲
۲	۰/۹۵	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۲۱۸
۳	۰/۶۳	۰/۸۳	۰/۳۶	۰/۰۲۰	۰/۳۱۰
۴	۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۲۳	۰/۰۱۱	۰/۲۵۶
۵	۰/۹۳	۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۰۰۵	۰/۲۳۴
۶	۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۱۵	۰/۰۰۷	۰/۱۶۶
۷	۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۲۱	۰/۰۱۱	۰/۲۰۹
۸	۰/۶۹	۰/۸۱	۰/۱۶	۰/۰۱۰	۰/۱۸۰
۹	۰/۷۵	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۰۱۹	۰/۲۸۵
۱۰	۰/۶۹	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۰۱۵	۰/۳۰۱
۱۱	۰/۵۸	۰/۳۱	۰/۷۰	۰/۰۱۶	۰/۱۴۵
۱۲	۰/۶۳	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۰۱۵	۰/۱۷۵

جدول ۱۲. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورده معادلات سیتیکی در بخش اول در روش بیکربنات آمونیوم دی‌تی‌پی‌ای

شماره خاک	معادله مرتبه صفر SE r <sup>2</sup>	معادله مرتبه اول SE r <sup>2</sup>	معادله الوویچ ساده شده SE r <sup>2</sup>	معادله انتشار پارابولیکی SE r <sup>2</sup>	معادله تابع نمایی SE r <sup>2</sup>
۱	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۸۶	۰/۰۸۹
۲	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۱۳	۰/۸۷	۰/۰۸۵
۳	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۱۷	۰/۸۷	۰/۱۳۶
۴	۰/۷۷	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۹۷
۵	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۰۹	۰/۰۰۵	۰/۱۴۸
۶	۰/۶۴	۰/۷۶	۰/۱۵	۰/۰۰۹	۰/۱۰۴
۷	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۰۰۸	۰/۳۵۶
۸	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۰۰۷	۰/۱۸۹
۹	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۶۹
۱۰	۰/۶۳	۰/۷۰	۰/۲۹	۰/۰۱۴	۰/۱۶۳
۱۱	۰/۷۵	۰/۹۵	۰/۲۰	۰/۰۱۳	۰/۴۴۱
۱۲	۰/۷۱	۰/۸۰	۰/۳۳	۰/۰۱۶	۰/۳۴۴

خاک‌های ۸ و ۲ بود. نتایج مطالعات همبستگی (داده‌ها نشان داده نشده است) بین ویژگی‌های خاک و ضرایب سرعت معادله‌های سیتیکی در دو عصاره‌گیر نشان داد که همبستگی معنی‌داری میان ثابت سرعت معادله الوویچ و تابع نمایی با آهن و آلومینیوم بلوری و بسی‌شکل در عصاره‌گیر اولسن و ثابت

الوویچ بیشترین و کمترین ضریب سرعت به ترتیب در خاک‌های ۳ و ۱ و در معادله تابع نمایی به ترتیب در خاک‌های ۴ و ۱۱ بود. در روش بیکربنات آمونیوم دی‌تی‌پی‌ای در معادله الوویچ بیشترین و کمترین ضریب سرعت به ترتیب در خاک‌های ۱۲ و ۷ و در معادله تابع نمایی به ترتیب در

جدول ۱۳. ضرایب سرعت معادله‌های سینتیکی در بخش اول در خاک‌های مطالعه شده

ویژگی‌های خاک	الوویج ساده شده	بیکربنات سدیم		بیکربنات آمونیوم - دی‌تی‌پی‌ای	تابع نمایی
		انتشار پارابولیک	الوویج ساده شده		
۱	۰/۰۳	۰/۱۹۹	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۷
۲	۰/۰۸	۰/۱۳۹	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱
۳	۰/۰۳	۰/۵۷۳	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۰
۴	۰/۰۳	۰/۲۴۸	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۴
۵	۰/۰۶	۰/۱۲۹	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲
۶	۰/۰۶	۰/۱۲۵	۰/۲۲	۰/۱۲	۰/۱۲
۷	۰/۰۵	۰/۱۹۴	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۲۲
۸	۰/۰۹	۰/۱۳۲	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۲۱
۹	۰/۰۳	۰/۱۹۲	۰/۳۸	۰/۱۰	۰/۱۰
۱۰	۰/۰۲	۰/۳۰۹	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۲۴
۱۱	۰/۰۵	۰/۱۷۵	۰/۰۶	۰/۴۱	۰/۴۱
۱۲	۰/۰۴	۰/۲۱۸	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۳۳

نشده است). با توجه به جدول‌های ۵ و ۶ در فاصله زمانی ۳۳۶ تا ۲۵۲۰ ساعت در اکثر خاک‌ها افزایش فسفر قابل جذب یا به عبارتی رهاسازی فسفر مشاهده می‌شود که احتمالاً می‌توان این رهاسازی را به فعالیت ریزجانداران خاک نسبت داد. مندوza و Barro در مطالعه خود روی ۵ خاک در آرژانتنین یک کاهش اولیه در فسفر محلول را که با یک روند افزایشی دنبال می‌شد مشاهده کردند. آنها افزایش در غلظت فسفر محلول را ناشی از رهاسازی فسفر موجود در خاک و فعالیت ریزجانداران خاک دانستند (۲۰).

ضرایب سرعت برآورد شده در معادله‌های پخشیدگی پارابولیکی و الوویج و تابع نمایی در بخش اول در جدول ۱۳ آورده شده است. ضریب سرعت جذب به روش اولسن در معادله پخشیدگی پارابولیکی به ترتیب در دامنه الوویج در دامنه  $-0/۰۵۷۳$  و  $-0/۱۲۵$  بر ساعت به توان نیم و ضریب سرعت در معادله الوویج در دامنه  $0/۰۸$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت بود. ضریب سرعت جذب با روش بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای در معادله تابع نمایی و الوویج در دامنه  $0/۰۷-0/۰۵$  و  $0/۰۳۸$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت بود.

سرعت معادله تابع نمایی با کربنات کلسیم در عصاره‌گیر بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای وجود داشت.

با بررسی روند تغییرات فسفر قابل استخراج مشخص شد که ۳۳۶ ساعت پس از شروع آزمایش فسفر استخراج شده تغییر زیادی نداشت. این نتیجه نشان‌دهنده سازوکارهای متفاوت جذب فسفر در دو بخش می‌باشد. احتمالاً در بخش اول (پس از اضافه کردن کود تا ۳۳۶ ساعت پس از آزمایش) فسفر در اثر جذب سطحی غیرقابل جذب می‌شود ولی در بخش دوم (۳۳۶ تا ۱۵۲۰ ساعت پس از آزمایش) سازوکار رسوب باعث جذب فسفر می‌شود. به همین دلیل نمودارها به دو بخش تقسیم و در هر بخش (شروع تا ۳۳۶ و ۳۳۶ تا ۲۵۲۰ ساعت) معادله‌های سینتیکی بر داده‌ها برآش شدند. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که در بخش اول معادله‌های پخشیدگی پارابولیکی و الوویج در عصاره‌گیر اولسن و معادله‌های الوویج و تابع نمایی در عصاره‌گیر بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای می‌توانند سرعت جذب فسفر را توضیح دهند (جدول‌های ۱۱ و ۱۲). در بخش دوم به دلیل پایین بودن ضرایب تشخیص هیچ کدام از معادله‌ها نتوانستند سرعت جذب فسفر را توضیح دهند (نتایج نشان داده

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که جذب فسفر در دو مرحله انجام شد. مرحله اول ۳۳۶ ساعت پس از اضافه کردن فسفر که در این مرحله سرعت جذب فسفر سریع بود. مرحله دوم ۳۳۶ ساعت تا ۲۵۲۰ ساعت که در این مرحله سرعت جذب فسفر کند بود. در دو مرحله احتمالاً جذب فسفر با دو سازوکار متفاوت انجام می‌شود. در بخش دوم به دلیل کم بودن ضریب تشخیص هیچ‌کدام از معادله‌ها قادر به توصیف غیرقابل جذب شدن فسفر نبودند. شاید بتوان علت عدم توانایی معادله‌های سیتیکی در توصیف جذب فسفر در بخش دوم را ناشی از فعالیت ریز جاندارانی دانست که در معدنی شدن فسفر آلی و افزایش فسفر قابل استخراج نقش دارند. با توجه به نتایج مطالعات هم‌بستگی، در این خاک‌ها آهن و آلومینیوم بلوری و بی‌شکل وجود دارد (ضرایب هم‌بستگی به ترتیب  $r=0.65$ ,  $0.64$  و  $0.60$  بود). این نتیجه حاکی از نقش اکسیدهای آهن و آلومینیوم بی‌شکل و بلوری در جذب فسفر در خاک‌ها است. هم‌چنان هم‌بستگی معنی‌داری، میان ثابت سرعت معادله الوویچ در بخش اول در عصاره‌گیر اولسن با آهن و آمونیوم-دی‌تی‌بی‌ای و کربنات کلسیم معادل وجود داشت ( $r=0.65$ ) که نشان دهنده نقش کربنات کلسیم در افزایش جذب و ثبات فسفر در خاک‌ها است. لیندسی و همکاران (۱۸) گزارش نمودند که در خاک‌های آهکی فسفر در اثر ترکیب با کربنات کلسیم سریعاً به ترکیبات فسفات کلسیم که حلالیت کمی دارند تبدیل شده و قابلیت جذب آنها کاهش می‌یابد. شارپلی و اسمیت (۲۶) مشاهده کردند که غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های آهکی بعد از کاربرد مقادیر کم کود با مقدار اکسیدهای آهن و بعد از کاربرد مقادیر بالای کود با مقدار کربنات کلسیم خاک هم‌بستگی معنی‌داری داشت.

هم‌چنان هم‌بستگی مثبت معنی‌داری که بین ثابت سرعت معادله تابع نمایی در بخش اول در عصاره‌گیر بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای و درصد کربنات کلسیم وجود دارد ( $r=0.60$ ) تأیید کننده نقش این کانی‌ها در جذب فسفر در خاک می‌باشد (نتایج هم‌بستگی نشان داده نشده است).

## منابع مورد استفاده

۱. پارسافر، غ.و. ب. نجفی. ۱۳۷۴. شیمی فیزیک: سیتیک شیمیابی و ترمودینامیک آماری. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
2. Atkinson, R.J., F.J. Hingston, A.M. Posner and J.P. Quirk. 1970. Elovich equation for the kinetics of isotope exchange reaction at solid-liquid interfaces. *Nature* 226: 148-149.
3. Agbenin, J.O. and H. Tiessen. 1995. Phosphorus sorption at field capacity and soil ionic strength: kinetics and transformation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 59: 998-1005.
4. Akhtar, M. and S.M. Alam. 2001. Effect of Incubation periode on phosphate sorption from two P sources. *Bio. Sci.* 3: 124-125.
5. Barrow, N. J. 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate from soil. *J. Soil Sci.* 34: 733-750.
6. Barrow, N. J. 1985. Reactions of anions and cations with variable-charge soils. *Adv. Agron.* 38: 183- 230.
7. Biswas, P.P. and G. Ghoshi. 1988. Temperature effect on kinetics of P availability from partially water soluble and citrate soluble P fraction on nitrophosphate in alkaline alluvial soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 36: 48-52.
8. Bowyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 56: 464-465.

9. Cathcart, J.B. 1986. World Phosphate Reserves and Resources. In: Khasawenah, F.E. et al (Eds.), *The Role of Phosphorus in Agriculture*. ASA, CSSA, SSSA. Madison, WI.
10. Dhillon, N.S., T.S. Dhesi and B.S. Brar. 2004. Phosphate Sorption-desorption Characteristics of some Ustifluents of Punjab. *Soil Sci. Soc. India*, 52: 17-22.
11. Enfield, C.G. and R. Ellis, Jr. 1983. The movement of phosphorus in soil. In: Nelson et al. (Eds.), *Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems*. SSSA. Special Publication No. 11, Madison, WI.
12. Enfield, C.G., C.C. Hardin, Jr. and B.E. Beldose. 1976. Comparison of five Kinetic models for orthophosphate reactions in mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 210: 243-249.
13. Fixen, P.E. and J.H. Grove. 1990. Testing soils for phosphorous. In: Westerman, R.L. et al. (Eds.), *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA. Madison, WI.
14. Griffin, R.A. and J.J. Jurinak. 1973. Kinetics of the phosphate interaction with calcite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 38:75-79.
15. Hansen, H.C.B., P.E. Hansen and J. Majid. 1999. Empirical modeling of the kinetics of phosphate sorption to macropore materials in aggregate subsoil. *Eur. J. Soil Sci.* 50:317-327.
16. Leoppert, R.H. 1996. Iron. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
17. Loepert, R.H. and D.L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. In: D.L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Chemical methods*. SSSA. Madison, WI.
18. Lindsay, W.L., J.R. Lehr and H.F. Stephenson. 1959. Nature of the reactions of mono calcium phosphate mono hydrine in soil: III. Studies with metastable triple point solution. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 23: 342-345.
19. Mansel, R.S., H.M. Selim and J.G.A. Fiskell. 1977. Simulated transformations and transport of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 124: 102-109.
20. Mendoza, R.E. and N.J. Barrow. 1987. Characterizing the rate of reaction of some Argentinian soils with phosphate. *Soil Sci.* 143: 105-112.
21. Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
22. Novak, L.T. and D.C. Adriano. 1975. Phosphorus movement in soils: soil-orthophosphate reaction kinetics. *J. Environ. Qual.* 4:261-266.
23. Rhodes, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
24. Samadi, A. and R.J. Gills. 1999. Phosphorus transformations and their relationships with calcareous soil properties of Southern Western Australia. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63: 809-815.
25. Sanyal, S.K., and S.K. Dedatta. 1991. Chemistry of phosphorus transformation in soil. *Adv. Soil Sci.* 16: 2-21.
26. Sharpley, A.N. and S.J. Smith. 1985. fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49:127-130.
27. Sparks, D.L. 1986. Kinetics of reaction in pure and in mixed systems. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Soil Physical Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL.
28. Sparks, D.L. 1998. Kinetics of sorption-release reaction on natural particles. In: P. M. Huang, et al (Eds.), *Structure and Surface Reactions of Soil Particles*. John Wiley and Sons, USA.
29. Sumner, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
30. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*. SSSA. Madison, WI.
31. Wahba, M.M., S.M. EL-Ashry and A.M. Zaghloul. 2002. Kinetics of phosphate adsorption as affected by Vertisols properties. 17th World Congress of Soil Sci. Bankock, Thailand.