سینتیک تغییرات فسفر قابل استخراج در تعدادی از خاک‌های همدان

فرنوش طهماسبی[۱] و علیرضا حسین پور[۲*]

(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 KH_2PO_4 به نمونه‌های خاک اضافه شد. خاک‌های کود داده شده با رطوبت ثابت ۲۰ درصد وزنی به مدت ۲۵۲۰ ساعت در انکوباتور در دمای ۱±۲۵درجه سانتی‌گراد نگه‌داری و در زمان‌های ۱، ۲ ، ۴، ۸ ، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸، ۲۴۰ ، ۳۳۶ ،۵۰۴ ،۶۷۲، ۸۴۰، ۱۰۰۸، ۱۱۷۶ ، ۱۳۴۴، ۱۵۱۲، ۱۶۸۰، 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 انجام و معادله‌های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیکی، تابع نمایی و الوویچ ساده شده بر داده‌ها برازش 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 روش اولسن و بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب در دامنه ۲۵۳/۸-۱۶۲/۶ و ۲۵۳/۱-۱۹۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. با توجه به بالا بودن ضرایب تشخیص و کم بودن خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی، دو معادله الوویچ ساده شده و تابع نمایی بهتر از معادله‌های دیگر جذب فسفر را تشریح نمودند. دامنه تغییرات ضرایب سرعت در معادله الوویچ ساده شده و تابع نمایی توسط عصاره‌گیر اولسن به ترتیب ۰/۴۹-۰/۰۳۶ و ۰/۳۰۴-۰/۱۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در ساعت و در روش بی کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب ۰/۷۶-۰/۰۷۴ و ۰/۳۸۲-۰/۱۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در ساعت بود. نمودار معادله‌ها در ۳۳۶ ساعت دارای شکستگی بود. بنابراین دو معادله بر داده‌ها برازش شد(صفر تا ۳۳۶ و ۳۳۶ تا ۲۵۲۰ساعت) . در بخش اول نیز با توجه به بالا بودن ضرایب تشخیص و کم بودن خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی الوویچ، 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 بوعلی‌سینا، همدان و در حال حاضر دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

مقدمه

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 سینتیکی آن واکنش ضروری است. چنین بررسی‌هایی مکمل یکدیگر می‌باشند(۱).

ترمودینامیک، جهت واکنش را توصیف می‌کند و پیش بینی 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 بلافاصله به پایدارترین حالت خود نمی‌رسند. سینتیک، 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 : پیش بینی این‌که واکنش‌ها با چه سرعتی به تعادل یا حالت شبه تعادل می‌رسند و پیش بینی 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 سینتیکی برای توصیف و پیش بینی واکنش‌های جذب و دفع که در محیط‌های طبیعی رخ می‌دهد به کار می‌روند (۲۷).

به منظور رسیدن به توصیفی بهتر از تغییرات واکنش‌های فسفر در خاک با زمان نمی‌توان ماهیت سینتیکی چنین واکنش‌هایی را نادیده گرفت(۶، ۱۱، ۱۲، 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 بر فرایندهای جذب و دفع در خاک بر قابلیت جذب فسفر 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 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 آلومینوم است. این حالت شامل جایگزینی 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 ۱:۱ نسبت به رس‌های ۲:۱ 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 حلالیت بالا و رسوب آن به صورت ترکیبات با حلالیت کمتر که این واکنش آرام شامل جابه‌جایی فسفر از پیوندهای ضعیف تر به پیوندهای قوی تری است که قابلیت جذب کمتری برای گیاه دارد و۲) تشکیل پیوندهای کووالانسی Al-P یا Fe-P برروی 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 حلالیت کمتر و پایدارتر تبدیل می‌شوند (۲۵). مطالعات زیادی در مورد جذب فسفر در خاک‌ها انجام شده است(۳، ۴، ۱۰و ۲۴). دلیل اصلی گسترش کمبود فسفر در خاک‌های کشاورزی تثبیت 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

به‌طورگسترده‌ای در بیشتر خاک‌ها استفاده شده است(۱۳).

اسپارکس (۲۷) تلاش‌های زیادی را جهت به‌دست 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 تغییرو تبدیلات فسفر به عمل آورد (۱۱).

معادله‌های سینتیکی به کار رفته شامل: معادله مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیکی، تابع نمایی و الوویچ 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 بی‌کربنات‌سدیم (روش اولسن) با زمان از یک معادله سینتیکی مرتبه دوم پیروی می‌کند. ثابت سرعت سینتیکی (k) با افزایش آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات و آهن و آلومینیوم عصاره‌گیری شده با بی‌کربنات- سیترات- دی تیونات(CBD) مقدار رس بدون کربنات‌کلسیم، گنجایش تبادل‌کاتیونی و نسبت آهن عصاره گیری شده با CBD به کربنات کلسیم فعال معادل افزایش می‌یابد.

گریفین و جورناک(۱۴) سینتیک واکنش کلسیت با فسفات را مورد مطالعه قرار دادند و برای برازش 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 سینتیکی فسفات آزمون نموده و به این نتیجه رسیدند که معادله سرعت مر تبه دوم برای داده‌های آزمایش برازش 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.

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

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش ۱۲ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) 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 میلی متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل: بافت خاک با روش هیدرومتر (۸)، پ-هاش در عصاره‌های ۲:۱ محلول به خاک (محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار) به روش الکترود شیشه‌ای(۳۰)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۲:۱ 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-هاش۷ (۲۹)، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (۱۷) و آهن و آلومینیوم بلوری به روش سیترات-دی‌تیونات-بی‌کربنات و آهن و آلومینیوم بی‌شکل به روش اگزالات آمونیوم (۱۶) در سه تکرار تعیین شد.

بررسی سرعت جذب فسفر توسط دو عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (اولسن) و بی‌کربنات آمونیوم- دی‌تی‌پی‌ای انجام شد. در آغاز آزمایش به تمامی خاک‌ها ۲۰۰ میلی گرم در کیلوگرم فسفر از نمک KH_2PO_4 به صورت محلول اضافه گردید. رطوبت خاک‌ها به ۲۰ درصد وزنی رسانده شد و در انکوباتور در دمای ثابت ۱±۲۵ 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،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

جدول۱. معادله‌های سینتیکی استفاده شده

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

در این معادلات:

P_t و P_o به ترتیب مقدار فسفر استخراج شده در زمان t و زمان صفر، P_a مقدار فسفر جذب شده پس از ۲۵۲۰ ساعت و Kd ، b و β ضرایب سرعت می باشد.

۱۱۷۶، ۱۳۴۴، ۱۵۱۲، ۱۶۸۰، 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 رنگ‌سنجی تعیین شد. سپس مدل‌های سینتیکی مرتبه صفر، مرتبه اول، پخشیدگی پارابولیکی، الوویچ ساده شده و تابع نمایی را بر مقادیر فسفر استخراج شده برازش 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:

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

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

نتایج و بحث

براساس نتایج می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای دامنه گسترده‌ای از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بود (جدول۲). در مورد درصد اجزای خاک دامنه تغییرات رس ۳۸/۶-۱۶/۸ درصد بود. دامنه تغییرات پ-هاش ۸/۸ - ۷/۲ و دامنه تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی ۳/۴ - ۰/۱ دسی زیمنس بر متر بود. دامنه تغییرات کربنات‌کلسیم معادل ۳۴/۲-۰/۷۵ 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 ۱۶۳۰/۸ - ۹۷۶/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در خاک‌های ۱ و ۱۱ بود. دامنه تغییرات آلومینیوم بلوری (آزاد) نیز ۱۴۰۶/۷-۷۱۵/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب در خاک‌های ۱ و ۱۱ بود (جدول ۴). دامنه تغییرات آهن و آلومینیوم بی‌شکل (فعال) نیز به‌ترتیب بین ۱۳۴۹/۷-۶۰۳/۶ و ۱۲۰۰/۸-۵۷۸/۳ میلی گرم در کیلوگرم، که بیشترین و کمترین مقدار مربوط به خاک‌های ۱و۱۱ بود (جدول۴). دامنه تغییرات فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن ۹۰/۳۷-۱/۳۳ با میانگین ۲۶/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و دامنه تغییرات فسفر عصاره‌گیری شده به روش بی‌کربنات‌آمونیوم- دی‌تی‌پی‌ای ۴۸/۱۱-۱/۸۳ با میانگین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	محل نمونه برداری	قابلیت هدایت الکتریکی $dS\ m^{-1}$	پ- هاش	گنجایش تبادل کاتیونی $Cmol_c kg^{-1}$	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	رس	سیلت	شن
						%			
۱	موئی جین	۰/۲۶	۷/۲	۲۰/۲	۱/۲	۳/۷	۲۱/۸	۳/۶	۷۴/۶
۲	سولان	۰/۳۲	۷/۷	۱۸/۷	۲/۰	۱/۲	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	۲۳/۷	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	سنقرآباد	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 (میلی‌گرم در کیلوگرم)

شماره خاک	فسفر قابل استخراج اولیه		فسفر قابل استخراج پس از انکوباسیون	
	بیکربنات سدیم	بیکربنات آمونیوم- دی تی پی ای	بیکربنات سدیم	بیکربنات آمونیوم- دی تی پی ای
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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

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

۱۳/۱ میلی‌گرم 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 می‌یابد (۴). فسفر در خاک توسط اجزای مختلف خاک از جمله: کانی‌های رسی، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و مواد آلی، تثبیت شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. تثبیت فسفر بستگی به سرعتی دارد که فسفر محلول می‌تواند به شکل‌های تثبیت شده تبدیل شود.

مقدار فسفر استخراج شده به عنوان تابعی از زمان در هر دو عصاره‌گیر در جدول‌های ۵ و۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول‌ها سرعت جذب فسفر در هر دو عصاره‌گیر در ابتدا سریع است و سپس کاهش یافته و به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد هم‌چنین بیش از ۹۰٪ فسفر جذب شده در هر دو عصاره‌گیر در طول مدت خوابانیدن مربوط 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 بی‌کربنات سدیم و بی‌کربنات آمونیوم- دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب ۲۵۳/۸-۱۶۲/۷ و ۲۳۵/۱-۱۹۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در روش بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای در خاک ۱ بیشترین و در خاک ۱۲ کمترین مقدار فسفر جذب شده است. در روش اولسن در خاک‌های ۶ و ۲ کمترین و بیشترین مقدار فسفر جذب شده است. اختلاف مقادیرعصاره گیری شده توسط دو عصاره‌گیر مربوط به سازوکارهای متفاوت در استخراج فسفر توسط این دو روش عصاره‌گیری می‌باشد. در روش بی‌کربنات سدیم فسفر از طریق تبادل آنیونی و هیدرولیز کاتیونی استخراج می‌شود. در حالی که در عصاره‌گیر بی‌کربنات‌آمونیوم- دی‌تی‌پی‌ای کمپلکس‌کردن 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 می‌دهد که در برخی از خاک‌ها (خاک‌های شماره ۱، ۲ و ۳) در دو عصاره‌گیر مقدار فسفر استخراج شده پس از ۲۵۲۰ ساعت کمتر از مقدار فسفر استخراج شده اولیه در آن خاک‌ها است. در واقع می‌توان گفت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

زمان(ساعت)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۲	۲۲۶/۳	۱۵۲/۰	۱۹۱/۰	۲۰۳/۴	۱۵۲/۳	۱۳۷/۰	۱۳۰/۰	۱۰۷/۷	۱۸۷/۱	۲۰۶/۶	۱۲۶/۷	۱۳۴/۶
۴	۲۲۴/۹	۱۴۸/۱	۱۸۶/۱	۲۰۳/۰	۱۴۵/۳	۱۲۹/۰	۱۲۹/۴	۹۲/۹	۱۸۰/۳	۱۹۹/۶	۱۲۴/۹	۱۲۸/۳
۸	۲۱۰/۵	۱۴۴/۴	۱۱۴/۹	۲۰۲/۶	۱۳۷/۷	۱۱۹/۴	۱۲۸/۹	۸۴/۱	۱۷۶/۴	۱۹۲/۲	۱۱۶/۴	۱۲۷/۷
۲۴	۲۰۰/۷	۱۴۴/۲	۱۰۹/۷	۲۰۲/۵	۱۳۳/۴	۱۰۵/۸	۱۲۱/۱	۸۲/۰	۱۷۱/۲	۱۸۵/۴	۱۱۴/۳	۱۱۹/۱
۴۸	۱۹۲/۸	۱۳۱/۰	۷۴/۵	۱۱۷/۲	۱۲۸/۴	۱۰۵/۰	۹۶/۹	۸۱/۹	۱۶۳/۹	۱۲۵/۴	۶۵/۷	۶۰/۶
۷۲	۱۷۶/۷	۱۲۴/۹	۷۱/۲	۱۰۵/۸	۱۲۴/۳	۱۰۳/۰	۷۹/۶	۸۰/۶	۱۲۴/۹	۹۹/۹	۶۰/۶	۵۱/۲
۹۶	۱۴۸/۴	۱۲۲/۱	۶۸/۵	۹۰/۳	۱۱۶/۰	۱۰۰/۱	۶۲/۰	۷۸/۳	۷۰/۹	۴۸/۷	۵۱/۷	۴۷/۶
۱۲۰	۱۰۵/۷	۱۱۵/۶	۵۳/۴	۶۷/۳	۱۱۳/۳	۷۲/۷	۵۷/۸	۷۴/۴	۶۴/۹	۴۷/۶	۵۰/۷	۴۶/۶
۱۴۴	۱۰۱/۶	۱۱۴/۸	۲۷/۱	۶۷/۰	۱۱۱/۵	۶۰/۸	۵۱/۹	۵۱/۱	۵۸/۰	۴۷/۰	۴۷/۱	۴۴/۳
۱۶۸	۱۰۱/۱	۱۰۲/۵	۲۵/۵	۵۵/۵	۹۶/۳	۵۸/۵	۴۳/۵	۴۷/۹	۵۷/۰	۴۶/۵	۴۳/۷	۴۲/۴
۲۴۰	۸۰/۰	۱۰۰/۰	۲۴/۶	۵۰/۴	۵۵/۶	۵۶/۹	۴۲/۰	۴۲/۴	۵۲/۹	۴۶/۰	۴۳/۵	۳۹/۹
۳۳۶	۵۷/۸	۴۹/۳	۲۰/۹	۴۶/۰	۵۲/۴	۵۳/۲	۴۰/۱	۴۱/۵	۵۱/۹	۴۰/۰	۴۲/۸	۳۷/۴
۵۰۴	۵۲/۰	۳۹/۵	۲۰/۸	۳۹/۰	۴۳/۰	۳۸/۷	۴۴/۵	۳۶/۴	۴۷/۷	۳۲/۵	۴۲/۵	۳۲/۳
۶۷۲	۴۹/۵	۳۱/۸	۳۷/۹	۳۸/۲	۳۷/۶	۳۵/۲	۴۱/۳	۳۱/۷	۴۵/۹	۲۹/۵	۵۶/۸	۳۱/۱
۸۴۰	۴۳/۴	۴۷/۳	۳۱/۳	۳۸/۱	۳۴/۱	۳۳/۴	۴۳/۱	۲۹/۴	۴۴/۲	۳۱/۱	۵۳/۹	۳۰/۰
۱۰۰۸	۴۱/۰	۴۹/۵	۳۸/۶	۳۵/۳	۳۳/۶	۳۲/۵	۴۱/۶	۲۸/۷	۴۲/۹	۴۲/۴	۵۲/۵	۳۸/۵
۱۱۷۸	۵۱/۸	۴۹/۰	۳۵/۰	۳۰/۱	۳۳/۳	۳۶/۱	۴۱/۲	۲۶/۴	۴۶/۶	۴۷/۱	۵۰/۵	۳۱/۴
۱۳۴۴	۵۸/۳	۴۸/۱	۳۶/۶	۴۵/۸	۳۲/۸	۳۸/۴	۴۰/۰	۲۱/۰	۴۶/۰	۴۳/۹	۵۰/۲	۲۷/۰
۱۵۱۲	۶۰/۶	۴۷/۲	۳۴/۵	۳۹/۵	۳۲/۱	۳۹/۴	۳۸/۱	۱۹/۷	۴۲/۲	۴۱/۵	۴۹/۸	۲۴/۶
۱۶۸۰	۶۳/۴	۴۶/۱	۳۰/۶	۳۶/۴	۳۴/۵	۴۳/۸	۳۷/۲	۱۸/۹	۴۹/۵	۴۸/۷	۴۹/۳	۲۲/۷
۱۸۴۸	۶۳/۵	۴۱/۳	۳۷/۰	۳۳/۰	۳۸/۵	۴۵/۲	۳۰/۴	۱۸/۲	۴۷/۸	۴۶/۲	۴۷/۹	۲۰/۴
۲۰۱۶	۶۵/۵	۳۱/۸	۳۲/۷	۳۱/۱	۴۸/۸	۴۳/۲	۲۸/۷	۱۷/۱	۴۶/۱	۴۲/۷	۴۳/۷	۱۸/۲
۲۱۸۴	۶۰/۹	۳۳/۵	۲۸/۲	۲۹/۶	۴۶/۸	۵۰/۱	۲۷/۱	۱۶/۲	۳۸/۷	۴۰/۰	۴۰/۹	۱۷/۵
۲۳۵۲	۵۲/۳	۲۹/۲	۲۶/۰	۲۵/۳	۴۴/۱	۴۸/۷	۲۵/۶	۲۰/۲	۳۷/۲	۳۷/۲	۳۷/۳	۱۳/۵
۲۵۲۰	۵۲/۱	۲۹/۱	۲۰/۰	۲۰/۶	۴۲/۶	۴۸/۰	۲۴/۳	۱۸/۵	۳۵/۷	۳۳/۹	۳۵/۸	۱۱/۹

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

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

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.

آگبنین 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 منبع فسفر آلی و معدنی در خاک به تدریج کاهش یافت.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

شماره خاک	معادله مرتبه صفر		معادله مرتبه اول		معادله الوویچ ساده شده		معادله انتشار پارابولیکی		معادله تابع نمایی	
	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE
۱	۰/۴۷	۵۳/۰	۰/۴۹	۰/۴۴	۰/۸۸	۲۴/۱	۰/۶۹	۰/۰۱۳	۰/۸۲	۰/۲۵
۲	۰/۶۸	۲۷/۵	۰/۷۴	۰/۳۱	۰/۸۶	۱۷/۸	۰/۸۵	۰/۰۰۸	۰/۷۸	۰/۲۸
۳	۰/۲۷	۵۲/۶	۰/۲۹	۰/۶۲	۰/۷۸	۲۵/۴	۰/۴۵	۰/۰۲۴	۰/۷۸	۰/۳۸
۴	۰/۴۵	۵۱/۸	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۸۹	۲۲/۰	۰/۶۶	۰/۰۱۷	۰/۹۲	۰/۲۱
۵	۰/۵۶	۳۲/۵	۰/۵۷	۰/۴۱	۰/۸۷	۱۷/۱	۰/۷۸	۰/۰۱۰	۰/۸۰	۰/۲۷
۶	۰/۴۰	۳۰/۴	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۸۷	۱۳/۲	۰/۶۳	۰/۰۱۲	۰/۸۰	۰/۲۲
۷	۰/۴۵	۳۲/۴	۰/۶۲	۰/۳۶	۰/۹۰	۱۲/۷	۰/۶۵	۰/۰۱۴	۰/۸۸	۰/۱۸
۸	۰/۵۷	۲۲/۹	۰/۷۲	۰/۳۵	۰/۹۲	۹/۲	۰/۷۷	۰/۰۱۱	۰/۸۴	۰/۲۵
۹	۰/۴۰	۴۶/۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۸۱	۲۴/۹	۰/۵۹	۰/۰۱۵	۰/۷۷	۰/۲۸
۱۰	۰/۳۱	۵۷/۷	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۸۰	۲۹/۰	۰/۵۱	۰/۰۲۰	۰/۷۵	۰/۳۲
۱۱	۰/۲۹	۳۳/۵	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۸۰	۱۵/۰	۰/۴۶	۰/۰۱۵	۰/۸۰	۰/۱۸
۱۲	۰/۴۶	۳۳/۱	۰/۷۳	۰/۳۸	۰/۹۱	۱۲/۷	۰/۶۶	۰/۰۱۷	۰/۹۱	۰/۲۱

جدول ۸. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورد معادلات سینتیکی در روش بیکربنات آمونیوم-دی تی پی ای

شماره خاک	معادله مرتبه صفر		معادله مرتبه اول		معادله الوویچ ساده شده		معادله انتشار پارابولیکی		معادله تابع نمایی	
	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE
۱	۷۰/	۱۷/۴	۰/۷۳	۰/۴	۰/۸۴	۵/۶	۰/۸۷	۰/۰۰۸	۰/۸۵	۰/۳۸
۲	۰/۵۱	۱۵/۰	۰/۵۵	۰/۳	۰/۸۷	۷/۰	۰/۷۱	۰/۰۱۰	۰/۸۵	۰/۲۴
۳	۰/۵۳	۲۲/۱	۰/۷۲	۰/۳	۰/۹۶	۶/۳	۰/۷۳	۰/۰۱۳	۰/۹۰	۰/۲۰
۴	۰/۶۰	۱۴/۴	۰/۷۱	۰/۳	۰/۹۴	۵/۳	۰/۸۰	۰/۰۰۹	۰/۸۶	۰/۲۱
۵	۰/۶۹	۱۴/۵	۰/۸۴	۰/۳	۰/۸۹	۸/۲	۰/۸۷	۰/۰۱۰	۰/۸۰	۰/۴۲
۶	۰/۶۵	۱۰/۴	۰/۷۸	۰/۳	۰/۹۲	۴/۶	۰/۸۳	۰/۰۱۰	۰/۸۰	۰/۳۱
۷	۰/۵۹	۲۲/۲	۰/۷۸	۰/۴	۰/۸۹	۱۰/۹	۰/۷۹	۰/۰۱۴	۰/۸۵	۰/۳۷
۸	۰/۶۰	۱۹/۸	۰/۸۶	۰/۳	۰/۹۷	۵/۰	۰/۸۱	۰/۰۱۳	۰/۸۸	۰/۳۳
۹	۰/۸۲	۳/۹	۰/۹۴	۰/۱	۰/۹۳	۲/۴	۰/۹۵	۰/۰۰۴	۰/۸۴	۰/۳۲
۱۰	۰/۵۲	۱۶/۶	۰/۸۱	۰/۳	۰/۹۲	۶/۲	۰/۷۱	۰/۰۱۶	۰/۸۵	۰/۳۲
۱۱	۰/۳	۲۵/۳	۰/۴۸	۰/۷	۰/۸۶	۱۱/۳	۰/۵۹	۰/۰۲۵	۰/۸۲	۰/۴۱
۱۲	۰/۴۰	۲۷/۵	۰/۵۸	۰/۵	۰/۸۵	۱۳/۳	۰/۶۱	۰/۰۲۲	۰/۸۸	۰/۲۴

همچنین بارو (۵) در بررسی‌های خود نشان داد که جذب فسفر از ۱ الی ۳ روز شدیدا افزایش اما از ۳ الی ۹۱ روز تغییرات چندانی نشان نداده است. بیسواس و قوشی(۷) مشاهده کردند که در یک خاک الوویال قلیایی با افزایش در زمان و دمای خولبانیدن بازیافت فسفر اضافه شده کاهش یافت.

چنانچه در بخش مواد و روش‌ها گفته شد، برای تشریح سرعت جذب فسفر از ۵ مدل سینتیکی استفاده شد (جدول ۱). ضرایب تشخیص و خطای استاندارد برآورد معادله‌های سینتیکی 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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

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

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

ویژگی‌های خاک‌ها	بی کربنات سدیم		بیکربنات آمونیوم – دی تی پی ای	
	الوویچ	تابع نمایی	الوویچ	تابع نمایی
پ–هاش	$-۰/۰۸^{ns}$	$-۰/۱۰^{ns}$	$-۰/۳۴^{*}$	$-۰/۰۴^{ns}$
گنجایش تبادل کاتیونی	$۰/۰۵^{ns}$	$-۰/۰۶^{ns}$	$-۰/۴۰^{*}$	$-۰/۰۳^{ns}$
کربنات کلسیم معادل	$-۰/۳۷^{*}$	$-۰/۰۷^{ns}$	$۰/۳۵^{ns}$	$۰/۴۹^{*}$
درصد رس	$۰/۰۲^{ns}$	$-۰/۰۵^{ns}$	$-۰/۱۴^{ns}$	$-۰/۰۲^{ns}$
آهن بلوری	$۰/۷۷^{**}$	$۰/۵۲^{*}$	$-۰/۰۲^{ns}$	$-۰/۲۴^{ns}$
آلومینیوم بلوری	$۰/۷۸^{**}$	$۰/۶۰^{**}$	$-۰/۰۳^{ns}$	$-۰/۱۷^{ns}$
آهن بی شکل	$۰/۷۹^{**}$	$۰/۵۱^{**}$	$-۰/۰۲^{ns}$	$-۰/۲۵^{ns}$
آلومینیوم بی شکل	$۰/۷۸^{**}$	$۰/۵۳^{**}$	$-۰/۰۱^{ns}$	$-۰/۲۵^{ns}$

معادله‌هایی که سرعت جذب فسفر را بهتر توصیف می‌کنند انتخاب شدند. با توجه به نتایج معادله‌های الوویچ 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 الوویچ و تابع نمایی در جدول‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است. ضریب سرعت در معادله الوویچ در عصاره‌گیرهای اولسن و بی کربنات آمونیوم– دی‌تی‌پی‌ای به‌ترتیب ۰/۴۹–۰/۰۳ و ۰/۷۶–۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بر ساعت بود. ضرایب سرعت جذب فسفر در معادله تابع نمایی در عصاره‌گیرهای اولسن و بی‌کربنات آمونیوم– دی‌تی‌پی‌ای به ترتیب ۰/۳۰۴–۰/۱۵۷ و ۰/۳۸۲–۰/۱۸۴ میلی گرم در کیلوگرم بر ساعت بود. در روش اولسن در معادله

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

جدول ۱۱. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورد معادلات سینتیکی در بخش اول در روش اولسن

شماره	معادله مرتبه صفر		معادله مرتبه اول		معادله الوویچ ساده شده		معادله انتشار پارابولیکی		معادله تابع نمایی	
خاک	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE
۱	۰/۸۹	۲۱/۴	۰/۵۶	۰/۰۹	۰/۸۲	۲۸/۱	۰/۹۶	۰/۰۰۵	۰/۷۲	۰/۲۵۲
۲	۰/۹۵	۶/۳	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۸۸	۱۷/۱	۰/۹۰	۰/۰۰۵	۰/۵۱	۰/۲۱۸
۳	۰/۶۳	۴۵/۶	۰/۸۳	۰/۳۶	۰/۹۵	۱۷/۶	۰/۸۶	۰/۰۲۰	۰/۸۶	۰/۳۱۰
۴	۰/۷۵	۳۵/۵	۰/۸۵	۰/۲۳	۰/۸۶	۲۷/۲	۰/۹۰	۰/۰۱۱	۰/۸۳	۰/۲۵۶
۵	۰/۹۳	۹/۲	۰/۹۳	۰/۰۹	۰/۷۳	۱۸/۲	۰/۹۲	۰/۰۰۵	۰/۵۹	۰/۲۳۴
۶	۰/۷۸	۱۶/۹	۰/۸۴	۰/۱۵	۰/۸۸	۱۲/۵	۰/۹۲	۰/۰۰۷	۰/۸۰	۰/۱۶۶
۷	۰/۷۱	۲۴/۵	۰/۸۳	۰/۲۱	۰/۸۷	۱۵/۹	۰/۹۰	۰/۰۱۱	۰/۸۲	۰/۲۰۹
۸	۰/۶۹	۱۶/۲	۰/۸۱	۰/۱۶	۰/۸۱	۱۱/۴	۰/۸۳	۰/۰۱۰	۰/۷۳	۰/۱۸۰
۹	۰/۷۵	۳۱/۳	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۸۰	۲۷/۹	۰/۸۹	۰/۰۱۹	۰/۷۶	۰/۲۸۵
۱۰	۰/۶۹	۴۵/۳	۰/۷۵	۰/۳۷	۰/۸۹	۲۶/۳	۰/۸۹	۰/۰۱۵	۰/۸۳	۰/۳۰۱
۱۱	۰/۵۸	۳۱/۴	۰/۶۸	۰/۳۰	۰/۹۳	۱۳/۳	۰/۸۲	۰/۰۱۶	۰/۹۱	۰/۱۴۵
۱۲	۰/۶۳	۲۸/۸	۰/۷۰	۰/۳۱	۰/۹۱	۱۴/۴	۰/۸۵	۰/۰۱۵	۰/۹۰	۰/۱۷۵

جدول ۱۲. ضرایب تشخیص و خطای استاندار برآورد معادلات سینتیکی در بخش اول در روش بیکربنات آمونیوم دی تی پی ای

شماره	معادله مرتبه صفر		معادله مرتبه اول		معادله الوویچ ساده شده		معادله انتشار پارابولیکی		معادله تابع نمایی	
خاک	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE	r^2	SE
۱	۰/۹۲	۳/۸	۰/۹۵	۰/۴۱	۰/۸۲	۵/۶	۰/۹۶	۰/۰۰۲	۰/۸۶	۰/۰۸۹
۲	۰/۶۶	۹/۷	۰/۷۹	۰/۱۳	۰/۹۲	۴/۸	۰/۸۴	۰/۰۰۸	۰/۸۷	۰/۰۸۵
۳	۰/۶۸	۱۶/۶	۰/۸۳	۰/۱۷	۰/۹۴	۷/۸	۰/۸۷	۰/۰۱۰	۰/۸۷	۰/۱۳۶
۴	۰/۷۷	۸/۲	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۹۳	۴/۶	۰/۹۴	۰/۰۰۵	۰/۸۹	۰/۰۹۷
۵	۰/۸۳	۶/۲	۰/۹۰	۰/۰۹	۰/۸۱	۶/۳	۰/۹۰	۰/۰۰۵	۰/۸۳	۰/۱۴۸
۶	۰/۶۴	۷/۹	۰/۷۶	۰/۱۵	۰/۸۹	۴/۱	۰/۸۳	۰/۰۰۹	۰/۸۵	۰/۱۰۴
۷	۰/۹۱	۸/۳	۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۸۳	۱۴/۸	۰/۹۳	۰/۰۰۸	۰/۸۱	۰/۳۵۶
۸	۰/۷۷	۱۲/۴	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۹۴	۶/۷	۰/۹۳	۰/۰۰۷	۰/۸۳	۰/۱۸۹
۹	۰/۸۲	۲/۴	۰/۸۹	۰/۰۷	۰/۹۵	۱/۳	۰/۹۷	۰/۰۰۲	۰/۹۰	۰/۰۶۹
۱۰	۰/۶۳	۱۴/۳	۰/۷۰	۰/۲۹	۰/۹۱	۶/۹	۰/۸۶	۰/۰۱۴	۰/۹۰	۰/۱۶۳
۱۱	۰/۷۵	۱۷/۴	۰/۹۵	۰/۲۰	۰/۸۸	۱۲/۱	۰/۹۲	۰/۰۱۳	۰/۸۷	۰/۴۴۱
۱۲	۰/۷۱	۲۰/۵	۰/۸۰	۰/۳۳	۰/۸۱	۱۶/۵	۰/۸۷	۰/۰۱۶	۰/۷۹	۰/۳۴۴

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

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

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

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 برازش شدند. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد که در بخش اول معادله‌های پخشیدگی پارابولیکی و الوویچ در عصاره‌گیر اولسن و معادله‌های الوویچ و تابع نمایی در عصارگیر بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای می‌توانند سرعت جذب فسفر را توضیح دهند (جدول‌های ۱۱ و ۱۲). در بخش دوم به دلیل پایین بودن ضرایب تشخیص هیچ‌کدام از معادله‌ها نتوانستند سرعت جذب فسفر را توضیح دهند (نتایج نشان داده نشده است). با توجه به جدول‌های ۵ و۶ 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. مندوزا و بارو در مطالعه خود روی ۵ خاک در آرژانتین 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 الوویچ 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 ۰/۵۷۳- ۰/۱۲۵بر ساعت به توان نیم و ضریب سرعت در معادله الوویچ در دامنه ۰/۰۸-۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت بود. ضریب سرعت جذب با روش بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای در معادله تابع نمایی و الوویچ در دامنه ۰/۴۱-۰/۰۷ و ۰/۳۸-۰/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ساعت بود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

با توجه به نتایج، هم‌بستگی معنی‌داری بین ثابت سرعت معادله الوویچ در بخش اول در عصاره‌گیر اولسن با آهن و آلومینیوم بلوری و بی‌شکل وجود دارد (ضرایب هم بستگی به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۶۵، ۶۴/ و ۰/۶۰ بود). این نتیجه حاکی از نقش اکسیدهای آهن و آلومینیوم بی شکل و بلوری در جذب فسفر در خاک‌ها است. هم‌چنین هم بستگی معنی داری، میان ثابت سرعت معادله الوویچ در بخش اول درعصاره‌گیر بی‌کربنات آمونیوم- دی‌تی‌پی‌ای و کربنات کلسیم معادل وجود داشت (r=۰/۶۵) که نشان دهنده نقش کربنات کلسیم در افزایش جذب و تثبیت فسفر در خاک‌ها است. لیندسی و همکاران (۱۸) گزارش نمودند که در خاک‌های آهکی فسفر در اثر ترکیب با کربنات‌کلسیم سریعاً به ترکیبات فسفات کلسیم که حلالیت کمی دارند تبدیل شده و قابلیت جذب آنها کاهش می‌یابد. شارپلی و اسمیت (۲۶) مشاهده کردندکه غلظت فسفرقابل استفاده در خاک‌های آهکی بعد از کاربرد مقادیر کم کود با مقداراکسیدهای آهن و بعد از کاربرد مقادیر بالای کود با مقدار کربنات‌کلسیم خاک هم بستگی معنی‌داری داشت.

هم‌چنین 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=۰/۶۰) تأیید کننده نقش این کانی‌ها در جذب فسفر در خاک می‌باشد (نتایج هم‌بستگی نشان داده نشده است).

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 سینتیکی در توصیف جذب فسفردر بخش دوم را ناشی از فعالیت ریزجاندارانی 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 و کربنات کلسیم بر جذب فسفر تأثیر دارند. در پایان پیشنهاد می‌شود:

چنین مطالعاتی با محلول‌های عصاره‌گیر دیگر انجام و ضرایب سرعت جذب فسفر در محلول‌های مختلف مقایسه شود. هم‌چنین توصیه می‌شود ضرایب سرعت جذب فسفر که به روش‌های شیمیایی در آزمایشگاه تعیین می‌شوند با شاخص‌های گیاهی و سرعت جذب فسفر توسط گیاه مقایسه شود.

منابع مورد استفاده

۱. پارسافر، غ.و ب. نجفی. ۱۳۷۴. *شیمی فیزیک: سینتیک شیمیایی 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]

9. Cathcart, J.B.1986.World Phosphate Reserves and Resources. *In*: Khasawenh. 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. Loeppert, 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.42.40.9]