

بررسی رفتار جذبی فسفر در خاک‌های زراعی منطقه خوی

ابراهیم سپهر^{۱*}، جواد بیاض زاده^۲، حمیدرضا ممتاز^۳، بهنام دولتی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۴)

چکیده

فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای تغذیه گیاه است که میزان جذب آن توسط گیاه به وسیله واکنش‌های انحلال، رسوب و جذب و واجذب کنترل می‌شود. به منظور بررسی رفتار جذب فسفر در خاک‌های منطقه خوی، آزمایشات جذب به صورت بچ (Batch) با ۶۰ نمونه خاک زراعی و ۹ غلظت اولیه فسفر بین $0-30 \text{ mg l}^{-1}$ در قدرت یونی 0.1 مولار CaCl_2 انجام گرفت. پس از تعادل، مقدار فسفر باقیمانده در محلول اندازه‌گیری و داده‌های آزمایشی با مدل‌های لانگ مویر، فروندلیچ و تمکین برازش یافتند. بر اساس ضریب تبیین (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE)، مدل لانگ مویر در مقایسه با مدل‌های فروندلیچ و تمکین برازش نسبتاً خوبی با داده‌های آزمایشی نشان داد. میزان حداکثر جذب تک لایه‌ای لانگ مویر (q_{\max}) بین 135 تا 486 mg kg^{-1} و پارامتر انرژی جذب لانگ مویر (K_L) بین 0.09 تا 0.52 L mg^{-1} متغیر بود. همچنین پارامترهای ظرفیت (K_F) و شدت جذب (n) فروندلیچ نیز متفاوت بود و بین $16/0-123/4 \text{ mg kg}^{-1}$ و $1/1-2/4$ و پارامترهای A و K_T تمکین نیز به ترتیب بین $10/3-196/3 \text{ mg kg}^{-1}$ و $17/3-88/7 \text{ L kg}^{-1}$ قرار گرفتند. بیشترین مقدار q_{\max} ، K_F و A در خاک‌هایی با درصد رس و کربنات کلسیم زیاد مشاهده شد و بین پارامترهای جذب معادلات با میزان رس ($r=0.70^{**}$) و کربنات کلسیم ($r=0.65^{**}$) همبستگی معنی‌داری به دست آمد. نتایج نشان داد که مقدار غلظت تعادلی فسفر (EPC) در دامنه‌ی $0.09-0.89 \text{ mg l}^{-1}$ با مقدار متوسط 0.35 mg l^{-1} قرار داشت. همچنین بین EPC و فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم بیشترین همبستگی معنی‌دار وجود داشت ($r=0.90^{**}$). مقدار ظرفیت بافری فسفر (PBC) نیز در دامنه‌ی $3/2$ تا $122/4 \text{ mg kg}^{-1}$ با متوسط مقدار $33/5$ قرار داشت. تجزیه‌ی آماری نشان داد که PBC با میزان رس ($r=0.80^{**}$) و کلسیم کربنات ($r=0.43^{**}$) ارتباط مثبت و معنی‌دار دارد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های جذبی فسفر، مدل‌های جذب، پارامترهای جذب فسفر

۱- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

۲- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳ - استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

* پست الکترونیک: e.sepehr@urmia.ac.ir

مقدمه

فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای تغذیه گیاه است و پس از نیتروژن بیشترین مصرف کود را در دنیا دارد. به طوری که سالانه بیش از ۳۹ میلیون تن کودهای فسفاته در دنیا (FAO, 2012) و ۸۰۰ هزار تن در ایران مصرف می شود (Sepehr & Mousavi 2013). فسفر بخاطر شیمی پیچیده اش، هم در خاک های آهکی و هم در خاک های اسیدی مشکل جذب دارد و کمتر از ۲۰ درصد کود مصرفی آن جذب گیاه شده و بقیه در خاک انباشته و تثبیت می شود (Vance et al., 2003). از سوی دیگر با ظهور کشاورزی متمرکز، کمبود فسفر در خاک به پدیده ای گسترده مبدل شده است (Bolt et al., 1976) لذا جهت جبران این کمبود سالیانه مقادیر زیادی کودهای شیمیایی فسفردار به خاک اضافه می گردد. ولی به دلیل وارد شدن فسفر در واکنش های مختلف با اجزای خاک فراهمی این عنصر در خاک کاهش می یابد (Afif et al., 1996) نتیجه این امر کاهش راندمان جذب فسفر به وسیله گیاه، تجمع فسفر در خاک، آلودگی محیط زیست و به هم خوردن توازن بین عناصر غذایی می گردد.

محققان به منظور بررسی رفتار جذب فسفر در خاک از هم دماهای جذب فسفر استفاده می کنند که با استفاده از این روش می توان غلظت فسفر در فاز محلول خاک، انرژی و حداکثر جذب فسفر توسط خاک، قدرت بافری خاک در برابر تغییرات غلظت فسفر در محلول و وضعیت تعادل فسفر در فاز محلول و فاز جامد و ارتباط بین آن ها را برآورد نمود. همچنین در توصیه کود فسفره می توان از هم دماهای جذب فسفر کمک گرفت (Samadi 2003). معادله لانگمویر نخستین بار برای توضیح جذب فسفات در خاک توسط اولسن (Olsen 1954) به کار برده شد. برآورد حداکثر جذب فسفر توسط معادله لانگمویر از مزایای اصلی آن می باشد. همچنین هم دماهای جذب فسفر، مقدار فسفر جذب شده را به عنوان تابعی از غلظت تعادلی نشان می دهند و با استفاده از آن ها می توان برخی از شاخص های بافری خاک، قدرت تثبیت فسفر، توصیه ی کودی و غیره را تخمین زد (Malakuti & Homaei, 1994). با توجه به اینکه فسفر در خاک های آهکی به مقدار زیاد توسط واکنش های جذب و رسوب در سطوح کانی های کربناتی ابقا می شود (Freeman & Rowell 1981) و بیش از ۶۰ درصد از اراضی زیر کشت در ایران به درجات

مختلفی آهکی بوده (Salardini, 2003) و ابقای فسفر در خاک های آهکی بسیار مشکل ساز است، لذا کاربرد مواد آلی برای خاک های ایران مناسب به نظر می رسد. در خاک های آهکی جذب سطحی فسفر به شدت تحت تأثیر واکنش های جذب سطحی و رسوب در سطح کربنات کلسیم می باشد (Freeman & Rowell 1981., Amer et al., 1985). این دو فرآیند می توانند پشت سرهم یا هم-زمان اتفاق بیافتد و به هیچ وجه قابل تفکیک نیستند. جذب سطحی فسفر عمدتاً به واکنش های تبادل لیگاندی بین هیدروکسیل های روی سطح کانی ها و یون فسفات در محلول خاک نسبت داده می شود. میزان جذب فسفر به-طور معنی داری به بسیاری از ویژگی های خاک از قبیل مقدار و نوع رس، سطح ویژه و کربنات کلسیم مرتبط است (Sharpley et al., 1989., Sanyal & De Datta, 1991).

بسیاری از مطالعات انجام شده روی خاک های آهکی نشان داده که رفتار فسفر به طور عمده به وسیله حضور مقادیر ناچیز اکسیدهای آهن و آلومینیم کنترل می شود. ریان و همکاران (Ryan et al., 1985a) نشان دادند که جذب فسفر در ۲۰ خاک آهکی لبنان با آهن قابل استخراج با اکسالات آمونیوم رابطه مستقیم دارد. همچنین سالیس و تورنت (Solis & Torrent, 1989) نشان دادند که مقدار فسفر جذب شده بعد از ۶ روز در غلظت تعادلی یک mg P l^{-1} همبستگی خوبی با درصد اکسیدهای آهن و رس ها در ۲۴ خاک آهکی جنوب اسپانیا داشت. به دلیل فرآیندهای جذب سطحی و رسوب، تمامی کود فسفره اضافه شده برای گیاهان قابل جذب نمی باشد. احتمالاً در خاک های آهکی رسوب نامحلول Ca-P مهم ترین فاکتور در زمان کاهش قابلیت استفاده فسفر می باشد (Sample et al., 1980). شارپلی و همکاران (Sharply et al., 1984) گزارش کردند که قسمتی از کود اضافه شده که به صورت قابل استفاده برای گیاه (Available) در خاک باقی می ماند، رابطه معکوس با مقدار کربنات کلسیم در ۲۰ خاک آهکی مورد مطالعه داشت. همچنین ایشان در خاک های آهکی نشان دادند که قابلیت جذب بین ۳۰ تا ۱۸۰ روز پس از اضافه کردن فسفر با مقدار کربنات کلسیم رابطه داشت. با توجه به اینکه فسفر در خاک تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می گیرد، ارزیابی وضعیت آن نیز در خاک بسیار پیچیده بوده

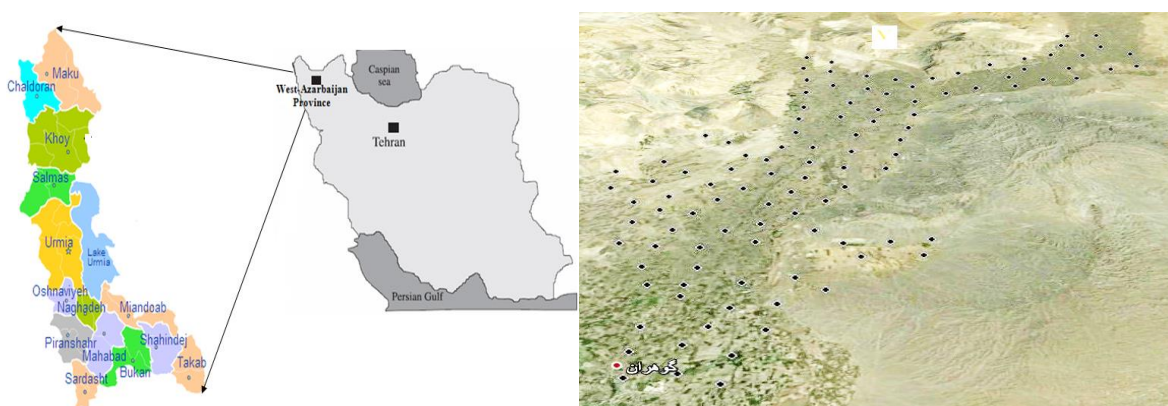
که مشکل اساسی خاک‌ها در ارتباط با جذب فسفر حضور آهک و زیاده‌آسیدیت می‌باشد. بنابراین با توجه به کشت وسیع کدو و کاربرد کودهای آلی مرغی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه و اهمیت مدیریت ویژه مصرف کودهای شیمیایی این تحقیق با هدف: (۱) بررسی رفتار جذب فسفر در خاک‌های زراعی منطقه خوی (۲) بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها بر رفتار جذب فسفر (۳) برازش داده‌های جذب فسفر در این خاک-ها با معادلات لانگمویر و فروندلیچ و تمکین (۴) بررسی پارامترهای معادلات جذب فسفر و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های خاک این منطقه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، شرق شهرستان خوی در قسمت شمالی استان آذربایجان غربی بین ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی به مساحت تقریبی ۱۰۰۰۰ هکتار با کاربری کشت آبی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه برای بیش از ۵ دهه تحت کشت متناوب کدو، آفتابگردان، چغندر قند و گندم قرار دارد که در کشت کدو به آن‌ها کود مرغی اضافه شده است. برای نیل به اهداف با استفاده از نرم افزار Arc GIS لایه‌های اطلاعات مکانی مانند محدوده اراضی، توپوگرافی و ... به دست آمد. سپس GRID با فواصل تقریباً یک کیلومتری جهت تعیین موقعیت نمونه برداری در سامانه تصویر UTM ایجاد و به دستگاه GPS انتقال داده شد.

و روش‌های ارائه شده هر کدام برای وضعیت و شرایط خاصی پیشنهاد شده است. لذا روشی مناسب‌تر است که کمتر تحت تاثیر عوامل بوده و تحت شرایط مختلف به-تواند جواب‌گو باشد.

جذب و آزاد شدن فسفر مهم‌ترین فرایندهایی هستند که غلظت فسفر در محلول خاک را کنترل می‌کنند (Stui *et al.*, 2000). مواد آلی خاک نیز با فسفر بر هم کنش داشته و به روش‌های گوناگون بر واکنش جذب فسفر در خاک اثر می‌گذارند (Saunders 1965). دلگاده و همکاران (Delgado *et al.*, 2002) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شوند چرا که کود مرغی سرشار از فسفر قابل معدنی شدن بوده و در اثر کاربرد این کود میزان جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد. علت این امر احتمالاً به دلیل بلوک شدن مکان‌های جذب توسط ماده آلی حاصل از تجزیه کود یا به دلیل اشغال این مکان‌ها توسط فسفر حاصل از تجزیه این کود باشد (Khorshid *et al.*, 2009). به همین دلیل به نظر می‌رسد کود مرغی با اعمال مدیریت صحیح برای تامین فسفر در شرایط خاک-های ایران مناسب باشد. لذا با توجه به اهمیت وضعیت تغذیه‌ای عناصر به خصوص فسفر در خاک‌های استان آذربایجان غربی برای گیاهان استراتژیک از قبیل چغندر قند و آفتابگردان و کدو و ... لازم است، پژوهش‌های کاربردی صورت گیرد. صمدی (Samadi 2003) وضعیت فسفر در خاک‌های زیر کشت چغندر قند را در جنوب استان آذربایجان غربی بررسی کرد و به این نتیجه رسید



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری

Figure 1. Sampling location

سانتی متری به صورت شبکه‌ای برداشت شد. نمونه‌ها پس

در این مطالعه ۶۰ نمونه خاک زراعی از عمق ۰-۳۰

q_e : مقدار جذب فسفر در واحد وزن خاک (mg kg^{-1})، K_F و n ثابت های معادله فروندلیچ و C_e : غلظت تعادلی فسفر^۵ (mg l^{-1}) می باشند.

۳) معادله ی تمکین^۶:

$$q_e = A + k_T \ln C_e \quad (۴)$$

q_e : مقدار جذب فسفر در واحد وزن خاک (mg kg^{-1})، A و K_T ثابت های معادله تمکین و C_e : غلظت تعادلی فسفر (mg l^{-1}) هستند. پارامترهای حاصله جهت برآورد آماره های توصیفی با نرم افزار SAS، تهیه و جداول و اشکال به کمک نرم افزار Excel و برازش داده های آزمایشی با مدل های جذب توسط نرم افزار Sigma plot 10 انجام گرفت. همچنین مقادیر r بر اساس همبستگی ضریب پیرسون (Pearson Correlation Coefficient) و خطای استاندارد (SE) برای پارامترهای مختلف بر اساس رابطه (۵) تعیین شد.

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (۵)$$

در رابطه (۵) SE خطای استاندارد، S انحراف معیار نمونه و n تعداد کل نمونه می باشد.

برآورد پارامترها جذب

غلظت تعادلی فسفر (EPC): محل تقاطع منحنی جذب با محور x ها، نیاز استاندارد فسفر (SPR): نیاز فسفری خاک محاسبه شده از هم دماهای جذب فسفر بر اساس غلظت تعادلی 0.3 میلی گرم در لیتر، ظرفیت بافری فسفر (PBC): با رسم نمودار فسفر جذب شده در مقابل غلظت تعادلی فسفر در محلول حاصل شده که شیب این معادله به عنوان شاخصی از ظرفیت بافری خاک است، ظرفیت بافری ماکسیمم (MBC): از حاصل ضرب ثابت متناسب با انرژی پیوند (K_L) و حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در معادله لانگمویر محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه های فیزیکی شیمیایی خاک های زراعی که تحت کشت تناوب زراعی کدو، آفتابگردان، گندم و چغندر قند بوده اند و در زراعت کدو، کود مرغی به آنها اضافه شده بود در جدول ۱ نشان داده شده است. حداقل و حداکثر pH خاک های مورد مطالعه به ترتیب 7.5 و 8.8

از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و بعد از عبور از الک 2 میلی متری مورد آزمایش قرار گرفت. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی شامل pH و EC (عصاره گل اشباع)، کربنات کلسیم معادل (CCE) (Nelson 1982)، کربن آلی (Walkley & Black, 1934)، بافت خاک (Bouyoucos) 1962 فسفر قابل استفاده (Olsen 1954) اندازه گیری شدند.

مطالعات جذب فسفر

هم دماهای^۱ جذب فسفر با استفاده از روش جئو و فوکس (Juo, & Fox., 1977) و سمپل و همکاران (Sample, et al., 1980) که توسط محققین زیادی برای خاک های آهکی مورد استفاده قرار می گیرد، تعیین شد. به $2/5$ گرم نمونه خاک، 25 میلی لیتر محلول 0.01 مولار کلسیم کلرید حاوی سری غلظت های فسفر ($0, 2/5, 5, 10, 15, 20, 25$ و 30 میلی گرم بر لیتر) از منبع KH_2PO_4 اضافه شد. خاک ها بعد از 24 ساعت تکان خوردن در دمای 25 ± 5 درجه ی سلسیوس به مدت ده دقیقه در 3000 دور در دقیقه سانتریفیوژ و از کاغذ صافی عبور داده شد. غلظت فسفر در محلول نهایی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر^۲ در طول موج 880 نانومتر تعیین شد. اختلاف بین فسفر اولیه و نهایی طبق رابطه ی زیر به عنوان فسفر جذب شده، محاسبه شد (Nair et al, 1994)

$$q_e = (P_i - P_e)V/m \quad (۱)$$

q_e : مقدار فسفر جذب شده (mg kg^{-1})، p_i : مقدار فسفر اولیه (mg l^{-1})، P_e : مقدار فسفر نهایی (mg l^{-1})، V : حجم محلول خاک (ml)، m : وزن نمونه خاک (g). سپس داده های به دست آمده از معادلات جذب فسفر با معادلات غیر خطی زیر و با استفاده از نرم افزار Sigma Plot V10 برازش داده شدند.

۱) معادله ی لانگ مویر^۳:

$$q_e = q_{max} K_L C_e / (1 + K_L C_e) \quad (۲)$$

q_e : مقدار جذب فسفر در واحد وزن خاک (mg kg^{-1})، q_{max} : حداکثر جذب فسفر (mg kg^{-1})، K_L : ثابت مربوط به انرژی پیوند، C_e : غلظت تعادلی فسفر (mg l^{-1})

۲) معادله ی فروندلیچ^۴:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (۳)$$

4- Freundlich Equation

5- Equilibrium Phosphorous Concentration

6- Temkin Equation

1- Isotherms

2- Spectrophotometer

3- Langmuir Equation

حاصله حاکی از افزایش نسبی متوسط فسفر قابل استفاده اکثر خاک‌ها ناشی از افزودن اثر مستقیم کود مرغی باشد. اثر غیر مستقیم کود نیز اضافه کردن مواد آلی به خاک است. می‌توان تا حدودی اثرات این فاکتورها را با استفاده از پارامترهای هم‌دماهای جذب تفکیک کرد چرا که کاهش مقادیر حداکثر جذب، قدرت پیوند، ضرایب معادله فروندلیچ و قدرت بافری خاک ناشی از اثر غیر مستقیم این کود باشد (Khorshid *et al.*, 2009). محققان افزایش فسفر قابل جذب تحت تاثیر افزایش کود حیوانی را گزارش کردند (Mozaffari & Sims, 1996).

با متوسط ۸/۲ در محدوده قلیایی و عمدتاً با مقادیر رس زیاد سنگین بافت تعیین شدند. همچنین مقادیر کربنات کلسیم معادل خاک‌ها در محدوده‌ی ۸-۳۸ درصد (مقدار متوسط ۲۱ درصد) مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی خاک‌ها به ترتیب ۲/۹۷ و ۰/۱۴ درصد و شوری خاک نیز در محدوده متوسط ارزیابی شد (Carrow & Duncan, 2011). مقدار فسفر قابل استخراج با روش اولسن (Olsen-P) شاخصی از قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه در خاک‌های آهکی است (Kuo 1996). تغییرات فسفر قابل جذب در خاک‌های مورد مطالعه در دامنه‌ی ۴۹-۶ و متوسط آن ۲۱ mg kg^{-1} بود. نتایج

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1. Some physicochemical properties of studied soil

Parameters	Minimum	Maximum	Average	Median
Clay (%)	12	69	37	38
Silt (%)	9	54	30	32
Sand (%)	7	73	33	31
Pava (mg kg^{-1})	6	49	22	22
CCE (%)	8	38	21	21
pH	7.5	8.8	8.2	8.2
EC (dS m^{-1})	1.0	2.6	1.9	1.85
OC (%)	0.14	2.97	1.40	1.37

(2013) در خاک‌های استان آذربایجان غربی داشتند مقدار این پارامتر را بین ۱۲۷ تا ۲۳۸ mg kg^{-1} گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بین این پارامتر و میزان رس بیشترین همبستگی وجود دارد. نتایج مشابهی نیز توسط دیلون و دیلون (Dhillon & Dhillon 1984) گزارش شده است. غلظت فسفر در محلول خاک ارتباط نزدیکی با فرآیندهای جذب سطحی فسفر به وسیله اجزای خاک از جمله کانی-های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم و مواد آلی دارد (Moshi *et al.*, 1974). به طور کلی خاک‌هایی که دارای رس بیشتری می‌باشند، مقادیر بیشتری از فسفر را در مقایسه با خاک‌های حاوی رس کمتر، تثبیت می‌کنند (Tisdale *et al.*, 1985). از عوامل موثر در جذب و قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی، وجود ترکیبات واکنش پذیر کربنات کلسیم می‌باشد، به طوری که فسفر در حضور این ترکیبات به مرور زمان به شکل‌های نامحلول و غیر قابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌شود (Olsen *et al.*, 1954). نتایج نشان داد که در خاک‌های با مقدار رس بالا، نمودار جذب فسفر نسبت به خاک‌هایی که دارای رس کمتری هستند بالاتر قرار می

هم‌دماهای جذب فسفر

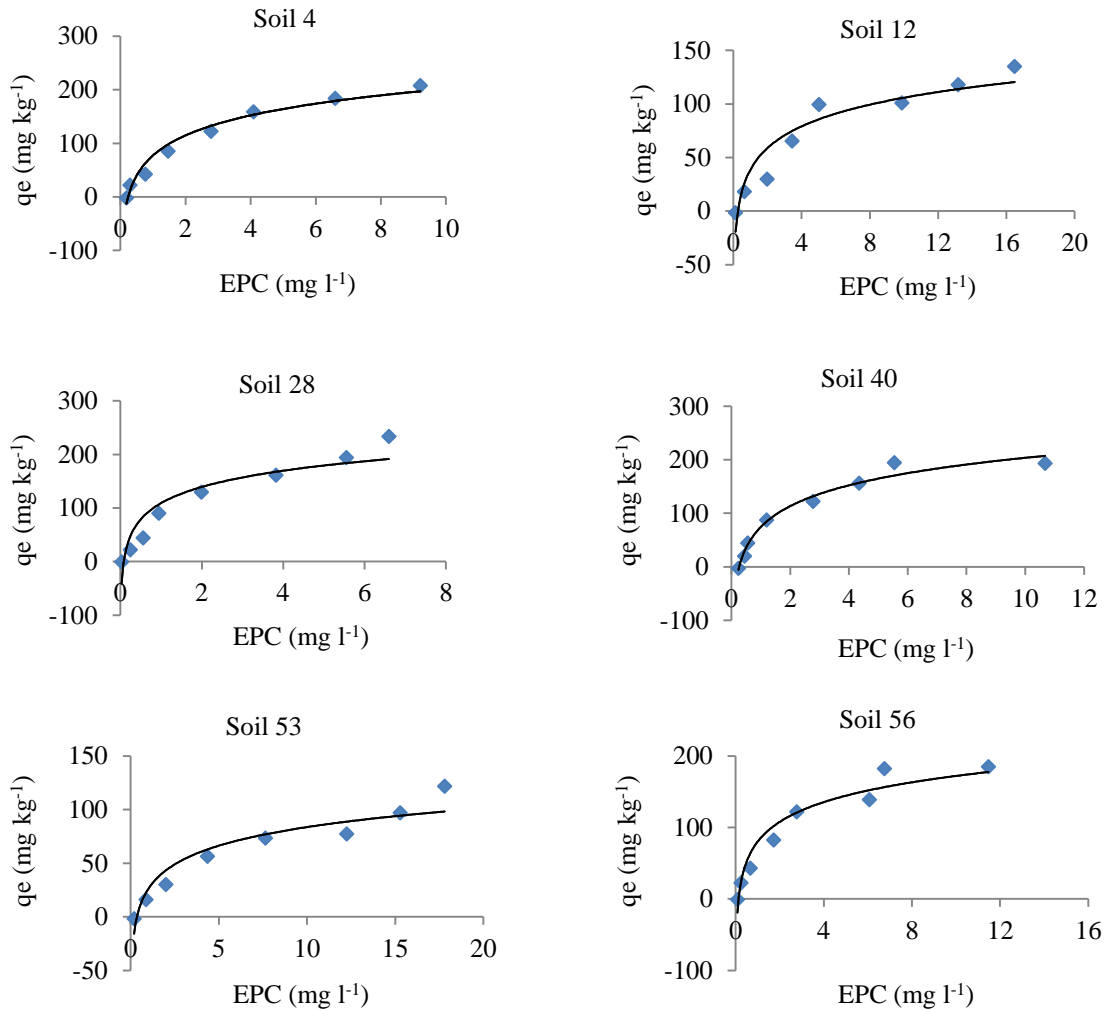
داده‌های جذب فسفر بر روی معادلات لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش داده شدند. برازش داده‌های جذب فسفر بر روی معادله‌ی لانگمویر نشان داد که ضریب تبیین (R²) این معادله در خاک‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی ۰/۹۹-۰/۹۰ (به طور متوسط ۰/۹۷) و خطای استاندارد (SE) بین ۶/۶ تا ۳۳/۷ با متوسط ۱۱/۹ قرار دارد (شکل ۲ و جدول ۲).

پارامتر q_{\max} معادله‌ی لانگمویر (حداکثر جذب تک لایه ای)

نتایج نشان داد که مقدار این پارامتر در خاک‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی ۱۳۵-۴۸۶ mg kg^{-1} (به طور متوسط ۳۱۲ mg kg^{-1}) قرار داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار آن در خاک ۲۳ با بیشترین مقدار رس و کربنات کلسیم و کمترین مقدار آن در خاک ۲۹ با مقادیر کم رس، کربنات کلسیم و ماده آلی مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین این پارامتر و مقدار رس ($r=0.72^{**}$) و نیز کربنات کلسیم ($r=0.64^{**}$) بیشترین همبستگی وجود داشت (جدول ۳). در مطالعه‌ای که صمدی و سپهر (Samadi & Sepehr)

هستند نمودار جذب آن نسبت به خاکی که میزان فسفر محلول کمتری دارند، پایین تر بود (شکل های ۴ و ۵).

گیرد (شکل ۳). این حالت در مورد میزان کربنات کلسیم نیز صادق می باشد، ولی خاک هایی که حاوی میزان فسفر محلول (قابل استخراج با بی کربنات سدیم) بیشتری

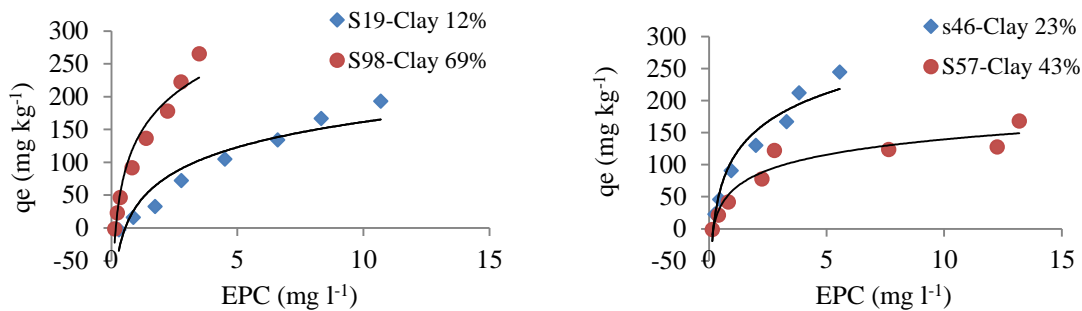


شکل ۲- روند جذب فسفر در برخی از خاک های مورد مطالعه
Figure 2. Phosphorus sorption behaviour in some studied soils

مقدار این پارامتر را بین ۰/۱۵ تا ۰/۹۱ گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بین این پارامتر و میزان رس و کربنات کلسیم معادل بیشترین همبستگی وجود دارد. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Solis & Torrent, 1989; Agbenin & Tiessen, 1984). در صورتی که حسین پور و عنایت ضمیر (Hosseinpour & Enayatzamir, 2002) رابطه ای بین این پارامتر و میزان رس را مشاهده نکردند و دلیل آن را به تفاوت در نوع رس خاک ها و تعیین درصد رس بدون حذف کربنات ها دانستند.

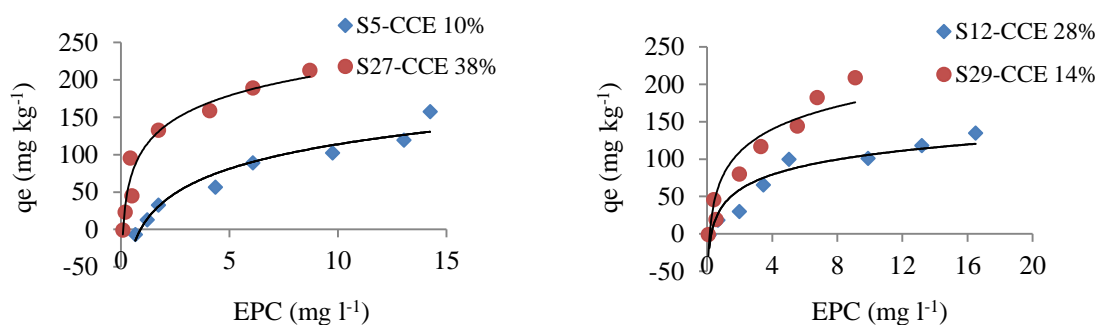
ضریب K_L معادله لانگمویر

نتایج نشان داد که مقدار ضریب K_L که نشان دهنده قدرت نگهداری فسفر به وسیله ذرات خاک است از ۰/۰۹ تا ۰/۵۰ لیتر بر میلی گرم متغیر بود. بیشترین مقدار این پارامتر در خاک ۲۳ با بیشترین میزان رس و کمترین آن در خاک ۴۲ مشاهده شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین این پارامتر و میزان رس و کلسیم کربنات معادل ($r=0.66^{**}$) و کلسیم کربنات معادل ($r=0.56^{**}$) همبستگی زیادی وجود دارد (جدول ۳). در مطالعه ای که شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) در خاک های اصفهان داشتند



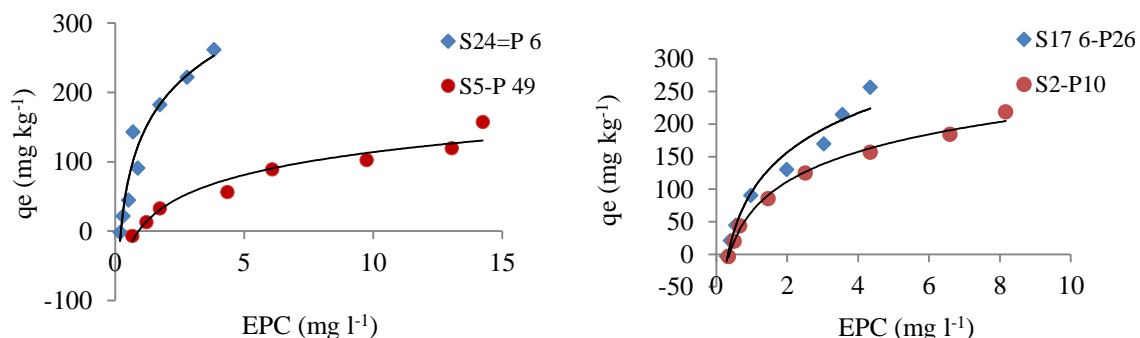
شکل ۳- روند جذب فسفر با مقادیر متفاوت رس در خاک

Figure 3. Phosphorus adsorption process with varying amounts of clay in soil



شکل ۴- روند جذب فسفر با مقادیر متفاوت کربنات کلسیم معادل در خاک

Figure 4. Phosphorus adsorption process with varying amounts of Calcium carbonate in soil



شکل ۵- روند جذب فسفر با مقادیر متفاوت فسفر در خاک

Figure 5. Phosphorus adsorption process with varying amounts of phosphorus in soil

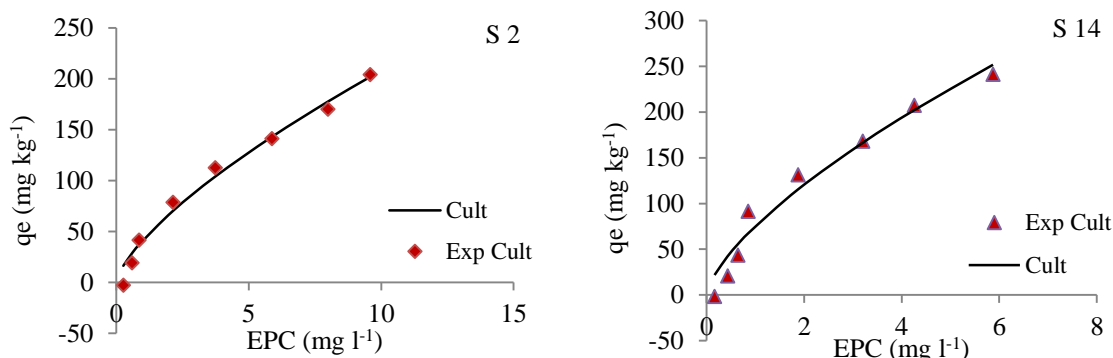
در دامنه‌ی ۱۶ تا ۱۲۳/۴ لیتر بر کیلوگرم با متوسط ۵۴/۹ لیتر بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار آن در خاک ۲۳ با بیشترین مقدار رس و کربنات کلسیم و کمترین مقدار آن مربوط به خاک ۵۰ با درصد شن بالا مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین پارامتر n و ویژگی‌های خاک هیچ ارتباطی وجود نداشت، ولی K_F با مقدار رس ($r=0.73^{**}$) و کربنات کلسیم ($r=0.65^{**}$) همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۳). حسین پور و عنایت ضمیر (Hosseinpour & Enayatzamir, 2002) مقدار n را بین ۱/۰۱-۲/۸ و مقدار K_F را ۷۷/۷-۲۳۲/۷۵ لیتر بر کیلوگرم

مدل فروندلیچ

برازش داده‌های جذب فسفر بر روی معادله‌ی فروندلیچ نشان داد که ضریب تبیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) این معادله در خاک‌های مورد مطالعه بترتیب در محدوده-۰/۱۹۹-۰/۱۸۶ و ۶/۶-۳۳/۳ متغیر بود (شکل ۶). پارامتر-های معادله‌ی فروندلیچ براساس شکل‌های حاصله برآورده شد. پارامتر n که نشان دهنده‌ی شدت جذب است در دامنه‌ی ۱/۱-۲/۴ با متوسط مقدار ۱/۶ بود. بیشترین مقدار این پارامتر مربوط به خاک ۱۴ و کمترین مقدار آن مربوط به خاک ۱۱ بود. ضریب K_1 در معادله‌ی فروندلیچ

محققان مقادیر ۲-۷۷ لیتر بر کیلوگرم برای خاکهای آهکی همدان (Jalali 2007)، ۲-۱۶۸۱ لیتر بر کیلوگرم برای خاکهای جنوب غربی استرالیا (Singh & Gilkes, 1991) و ۱-۱۵۱ لیتر بر کیلوگرم برای خاکهای قلیایی جنوب استرالیا (Bertrand *et al.*, 2003) را برای K_F گزارش کرده‌اند. مقادیر n و K_F مشابه برای خاکهای آهکی مصر (Juo & Fox, 1997) و مناطق مدیترانه‌ای (Borrero & Torrent, 1988) نیز گزارش شده است

را برای خاکهای استان همدان گزارش کردند. در مطالعه‌ای که شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) در استان اصفهان داشتند مقدار پارامتر n را ۰/۱۵ تا ۰/۹۳ و میزان K_F را ۵۰/۶-۱۳۶/۸ گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بین این پارامتر با مقدار رس و کربنات کلسیم معادل همبستگی زیادی وجود دارد. صمدی و سپهر نیز در تحقیقات خود مقادیر این پارامترها را ۱/۱-۲/۵ و ۴۳ تا ۲۱۱ لیتر بر کیلوگرم گزارش کردند.

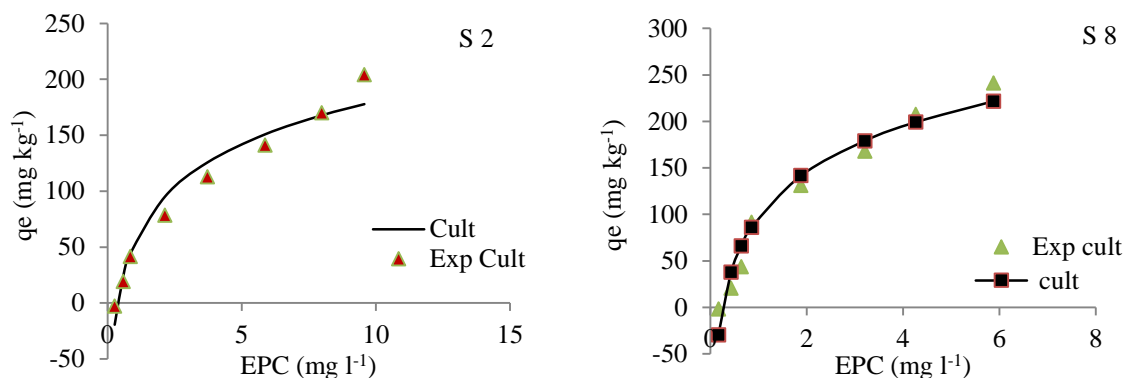


شکل ۶- برازش غیر خطی معادله فروندلیچ نسبت به داده‌های جذب فسفر در برخی از خاک‌های مورد مطالعه
Figure 6. Non-linear Freundlich equation fitted to the phosphorus adsorption data in some studied soils

مقدار این پارامتر را در خاک‌های اصفهان بین ۷/۵-۷۷- $30/5$ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بین این پارامتر و میزان رس خاک همبستگی نسبتاً زیادی وجود دارد. ضریب K_T که شیب معادله‌ی تمکین بوده و رابطه‌ی لگاریتم غلظت تعادلی با میزان جذب را نشان می‌دهد در دامنه‌ی ۷/۳-۸۸/۷ با متوسط مقدار $54/2$ لیتر بر کیلوگرم بود. بیشترین مقدار آن در خاک ۲۰ که دارای رس ۵۰ درصد و کمترین مقدار آن خاک ۴۱ تعیین شد. نتایج تجزیه آماری نشان داد که بین پارامتر و میزان رس بیشترین همبستگی وجود دارد ($r=0.60^{**}$) (جدول ۴). شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) مقدار این پارامتر را در خاک‌های اصفهان ۳/۳-۲۶/۶ لیتر بر کیلوگرم گزارش کرده‌اند.

مدل تمکین

برازش داده‌های جذب فسفر بر روی معادله‌ی تمکین نشان داد که ضرایب تبیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب در محدوده‌ی ۰/۹۸-۰/۸۲ و ۴۵/۷ تا ۵/۳ قرار داشت (شکل ۷). پارامترهای معادله تمکین A_T و K_T بر اساس شکل‌های حاصله برآورد شدند. مقدار پارامتر A (جذب در غلظت واحد) در دامنه‌ی $3/3-196/3$ $mg\ kg^{-1}$ با متوسط مقدار $71/7$ $mg\ kg^{-1}$ تعیین شد. بیشترین مقدار آن در خاک ۲۳ با بیشترین میزان رس و کلسیم کربنات معادل و کمترین مقدار آن در خاک ۴۷ با کمترین مقدار رس مشاهده شد. نتایج نشان داد که این پارامتر با میزان رس بیشترین همبستگی را داشت ($r=0.71^{**}$) و با کربنات کلسیم معادل کمترین همبستگی را داشت ($r=0.32^*$) (جدول ۴-۱۲). شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) نیز



شکل ۷- برازش غیر خطی معادله تمکین نسبت به داده‌های جذب فسفر در برخی از خاک‌های مورد مطالعه
Figure 6. Non-linear Temkin equation fitted to the phosphorus adsorption data in some studied soils

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مدل‌های مختلف خاک‌های مورد مطالعه
Table 2. Amount of different models parameters in studied soils

Models	Parameters	Minimum	Maximum	Average	Median
Langmuir model	$q_{max}(mg\ kg^{-1})$	135	486	312	311
	$K_L(L\ mg^{-1})$	0.09	0.52	0.22	0.20
	R^2	0.9	0.99	0.97	0.97
	SE	5.7	29.7	11.9	10.8
Freundlich model	$K_F(mg\ kg^{-1})$	16.0	123.4	54.9	50.7
	N	1.1	2.4	1.6	1.5
	R^2	0.86	0.99	0.95	0.96
	SE	6.6	33.7	14.7	13.3
Temkin model	$A(mg\ kg^{-1})$	10.3	196.3	71.7	68.3
	$K_T(L\ kg^{-1})$	17.3	88.7	54.2	55.0
	R^2	0.82	0.98	0.94	0.95
	SE	5.3	45.7	16.8	15.4

جدول ۳- همبستگی بین پارامترهای جذب با خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 3. The correlation of absorption parameters with physicochemical properties of studied soils

	q_{max}	KL	KF	n	A	KT	Pava	EPC	SPR	PBC	MBC	Clay	CaCO ₃
q_{max}	1												
KL	0.521**	1											
KF	0.732**	0.743**	1										
n	-0.346**	-0.068	-0.08	1									
A	0.539**	0.621**	0.863**	-0.004	1								
Kt	0.577**	0.384**	0.575**	-0.609**	0.543**	1							
Pava	-0.106	-0.300*	-0.533**	-0.469**	-0.600**	-0.008	1						
EPC	-0.151	-0.260*	-0.554**	-0.443**	-0.623**	-0.114	0.909**	1					
SPR	0.137	0.313*	0.538**	0.400**	0.617**	0.031	-0.846**	-0.889**	1				
PBC	0.693**	0.664**	0.843**	-0.16	0.831**	0.608**	-0.386**	-0.381**	0.382**	1			
MBC	0.783**	0.913**	0.834**	-0.175	0.674**	0.488**	-0.285*	-0.264*	0.305*	0.793**	1		
Clay	0.725**	0.656**	0.728**	-0.175	0.713**	0.583**	-0.197	-0.212	0.163	0.806**	0.754**	1	
CaCO ₃	0.638**	0.560**	0.650**	-0.142	0.322*	0.264*	-0.192	-0.24	0.319*	0.426**	0.651**	0.360**	1

تخمین زد (Malakuti & Homaei, 1994). برخی از شاخص‌های محاسبه شده از روی هم‌دماهای جذب در جدول ۴ نشان داده شده است.

پارامترهای محاسبه شده از روی هم‌دماهای جذب هم‌دماهای جذب فسفر، مقدار فسفر جذب شده را به‌عنوان تابعی از غلظت فسفر تعادلی نشان می‌دهند و با استفاده از آن‌ها می‌توان قدرت تثبیت فسفر در خاک‌ها را

غلظت تعادلی فسفر (EPC)

استفاده از معادله‌ی نمایی صورت گرفت. نتایج تجزیه‌ی آماری نشان داد که بین SPR و میزان رس و کلسیم کربنات معادل ارتباط مثبت وجود داشت که بیانگر آن است که خاک‌هایی با درصد رس و کربنات کلسیم معادل زیاد به‌منظور نگهداری غلظت فسفر در یک حد مطلوب برای گیاه، نیاز به افزودن فسفر بیشتری است. در حالیکه SPR با فسفر اولسن ارتباط معنی‌دار منفی ($r=-0.85^{**}$) داشته و بیانگر آن است که با افزایش فسفر اولسن مقدار فسفر مورد نیاز برای رساندن خاک‌ها به غلظت 0.3 mg l^{-1} کمتر خواهد بود. صمدی (2013) نیز ارتباط بین میزان رس و فسفر اولسن را گزارش کرده است. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Shirvani & Shariatmadari, 2002; Agbenin & Tiessen 1994).

ظرفیت بافری فسفر (PBC)

ظرفیت بافری فسفر خاک توانایی خاک برای مقاومت در برابر تغییر غلظت فسفر در بخش محلول خاک می باشد. معادله‌ی خطی به وسیله‌ی رسم نمودار فسفر جذب شده در مقابل غلظت تعادلی فسفر در محلول حاصل می‌شود که شیب این معادله به‌عنوان شاخصی از ظرفیت بافری خاک است. نتایج نشان داد که مقدار این پارامتر در دامنه‌ی $3/2$ تا $122/4 \text{ mg kg}^{-1}$ با متوسط مقدار $33/5$ قرار داشت. بیشترین مقدار آن مربوط به خاک ۲۳ که بیشترین مقدار رس را داشت و کمترین مقدار آن مربوط به خاک ۴۷ با کمترین مقدار رس مشاهده شد. نتایج تجزیه‌ی آماری نشان داد که بین این پارامتر و میزان رس بیشترین همبستگی ($r=81^{**}$) و با میزان کلسیم کربنات ارتباط ضعیفی وجود داشت. بر طبق نظر بیچ و ویلیام (Beche & William, 1971)، PBC مستقل از غلظت اولیه فسفر می‌باشد چون این پارامتر مقدار شیب هم‌دما را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) در خاک‌های استان اصفهان داشتند مقدار این پارامتر را $18/2-396$ mg kg^{-1} گزارش کردند و نتیجه گرفتند که بین این پارامتر و میزان رس بیشترین همبستگی و با کربنات کلسیم ارتباط ضعیفی داشت.

ظرفیت بافری ماکزیمم (MBC)

ظرفیت بافری ماکزیمم از حاصلضرب ثابت متناسب با

محل تقاطع منحنی جذب با محور x ها به عنوان غلظت تعادلی فسفر (EPC) در نظر گرفته شد. غلظتی از فسفر که در آن میزان جذب و واجذب فسفر از خاک برابر بوده و جذب خالص صفر می‌باشد. نتایج نشان داد که مقدار این پارامتر در دامنه‌ی $0.1-0.89 \text{ mg l}^{-1}$ با مقدار متوسط 0.35 mg l^{-1} قرار داشت. بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب در خاک ۶۰ و ۱ که دارای بیشترین و کمترین مقدار فسفر محلول را داشت، مشاهده شد (جدول ۴). افزایش غلظت تعادلی فسفر نشان‌دهنده‌ی افزایش قابلیت دسترسی فسفر می‌باشد. نتایج تجزیه آماری نشان داد که بین این پارامتر و فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم بیشترین همبستگی وجود دارد ($r=0.91^{**}$) به‌عبارت دیگر با افزایش مقدار فسفر محلول میزان EPC افزایش می‌یابد لذا نیاز به کوددهی کمتر خواهد شد (جدول ۳). در مطالعه‌ای که صمدی (Samadi 2013) در خاک‌های منطقه ارومیه داشتند مقدار این پارامتر را بین $0.05-0.66 \text{ mg l}^{-1}$ گزارش کردند. نتایج مشابهی نیز توسط خورشید و همکاران (Khorshid *et al.*, 2009) و شیروانی و شریعتمداری (Shirvani & Shariatmadari, 2002) گزارش شده است.

نیاز استاندارد فسفر (SPR)

نتایج نشان داد که مقدار SPR در محدوده‌ی $67/9-147/4 \text{ mg kg}^{-1}$ قرار داشت. بیشترین مقدار آن مربوط به خاک ۱ که کمترین مقدار فسفر محلول و غلظت تعادلی فسفر را داشت و کمترین مقدار آن مربوط به خاک ۵۸ بود (جدول ۴). مقدار $P_{0.2} \text{ mg kg}^{-1}$ به‌عنوان مقدار فسفر استاندارد برای مقایسه نیاز فسفری خاک‌های مختلف توسط محققان مورد استفاده قرار گرفته است (Duffera & Roberge, 1999). لکن، در برخی موارد ضروری است بسته به گونه‌های گیاهی و عوامل زراعی و تغذیه‌ای نیاز کودی فسفر در غلظت‌های غیر از 0.2 mg kg^{-1} تعیین گردد (Raven & Hossner, 1994). همچنین آن‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد زمانی حاصل می‌شود که غلظت فسفر در محلول 0.3 mg l^{-1} باشد. صمدی (Samadi 2013) نیز غلظت 0.4 mg kg^{-1} فسفر را به‌عنوان سطح بهینه برای مصرف کودهای فسفری پیشنهاد کرد. در این تحقیق نیز غلظت 0.3 mg kg^{-1} به عنوان نیاز استاندارد فسفر در نظر گرفته شد و شاخص SPR بر پایه‌ی آن و با

انرژی پیوند (K_L) و حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در معادله لانگمویر محاسبه گردید و میزان آن در خاک‌های مورد مطالعه در محدوده $18/6-252/7$ L kg^{-1} با kg^{-1} متوسط مقدار $73/1$ L kg^{-1} بود. بیشترین و کمترین مقدار MBC به ترتیب مربوط به خاک ۲۳ (با بیشترین مقدار رس) و ۴۷ (با کمترین مقدار رس) مشاهده شد. نتایج نشان داد که بین این MBC و میزان رس ($r=0.75^{**}$) و کرنات کلسیم ($r=0.65^{**}$) بیشترین همبستگی وجود داشت (جدول ۳). در مطالعه‌ای که شیروانی و شریعتمداری (Shirvani &

در خاک‌های استان اصفهان داشتند مقدار این پارامتر را بین ۴۰-۱۵ $L kg^{-1}$ گزارش کردند و ارتباط MBC با میزان رس و کرنات کلسیم گزارش کردند. نتایج مشابهی برای خاک‌های برزیل (Agbenin & Tiessen, 1994) و خاک‌های اسپانیا (Solis & Torrent, 1989) گزارش شده است. علت اختلاف در مقدار شاخص‌های جذب فسفر در خاک‌های مختلف، ناشی از تفاوت در ویژگی‌های خاک‌ها (کرنات کلسیم، درصد رس و نوع رس) نسبت به جذب فسفر می‌باشد (Khorshid *et al.*, 2009).

جدول ۴- برخی از شاخص‌های محاسبه شده از روی هم‌دماهای جذب

Table 4. Some of calculated indices from adsorption isotherms

MBC ($l kg^{-1}$)	PBC ($l kg^{-1}$)	SPR ($mg kg^{-1}$)	EPC ($mg l^{-1}$)	Local cods	Soil No
67.1	32.6	147.4	0.01	S96	1
198.2	52.1	124.6	0.03	S91	2
53.5	26.9	70.4	0.05	S86	3
106.3	31.9	56.7	0.08	S28	4
50.1	46.4	66.5	0.09	S92	5
164.2	68.7	98.8	0.09	S99	6
58.1	47.8	57.0	0.13	S100	7
197.6	61.2	55.0	0.13	S97	8
34.1	12.7	28.3	0.13	S50	9
127.9	60.3	54.1	0.13	S101	10
33.6	52.1	77.2	0.15	S107	11
37.1	22.3	26.1	0.17	S29	12
67.4	48.1	34.8	0.18	S105	13
60.1	36.5	18.2	0.18	S57	14
81.6	25.3	22.1	0.18	S22	15
94.5	44.1	31.6	0.18	S46	16
43.8	34.2	28.1	0.19	S47	17
73.6	32.6	21.2	0.21	S102	18
164.2	82.7	19.6	0.22	S78	19
158.1	68.1	27.3	0.22	S24	20
69.1	9.9	7.7	0.24	S43	21
93.7	46.8	16.3	0.24	S77	22
252.7	122.4	12.8	0.25	S98	23
18.6	22.3	7.1	0.26	S40	24
40.6	23.4	6.1	0.27	S25	25
32.6	21.9	1.8	0.29	S111	26
49.6	23.3	1.2	0.29	S33	27
129.5	65.2	1.2	0.30	S80	28
28.4	12.3	-0.4	0.30	S35	29
82.3	38.1	-6.3	0.33	S108	31
89.5	58.3	-8.7	0.33	S17	32
89.4	29.3	-7.2	0.35	S55	33
57.6	5.4	-4.2	0.35	S36	34
25.9	5.9	-4.1	0.35	S53	35
25.2	5.4	-6.4	0.37	S37	36
25.6	33.1	-17.4	0.38	S16	37
61.1	20.3	-13.5	0.38	S81	38
68.3	34.5	-23.5	0.40	S3	39
50.7	18.1	-16.3	0.41	S26	40
49.6	26;3	-6.2	0.43	S65	41

ادامه جدول ۴- برخی از شاخص های محاسبه شده از روی هم دماهای جذب

Continue table 4. Some of calculated indices from adsorption isotherms

MBC (l kg ⁻¹)	PBC (l kg ⁻¹)	SPR (mg kg ⁻¹)	EPC (mg l ⁻¹)	Local cods	Soil No
72.4	30.6	30.8	0.46	S1	42
31.7	17.8	-25.5	0.46	S11	43
52.4	19.1	-25.8	0.47	S109	44
49.3	19.6	-14.1	0.49	S39	45
35.4	31.4	-44.1	0.54	S112	46
122.9	3.2	-33.3	0.55	S19	47
18.6	52.7	-22.6	0.56	S67	48
44.7	12.5	-17.9	0.57	S70	49
19.6	18.4	-13.3	0.58	S64	50
33.8	26.3	-56.2	0.59	S113	51
61.6	33.1	-28.2	0.60	S13	52
41.4	21.1	-29.4	0.60	S54	53
62.9	28.5	-32.8	0.62	S9	54
71.8	14.2	-35.9	0.64	S14	55
45.2	38.2	-61.8	0.67	S110	56
53.6	28.7	-52.9	0.71	S58	57
90.6	21.6	-67.9	0.76	S8	58
128.9	28.7	-57.9	0.78	S7	59
29.1	10.1	-52.1	0.89	S5	60

EPC: Equilibrium P concentration, SPR: Standard P requirement, PBC: Potential buffering capacity, MBC: Maximum buffering capacity, EPC: Equilibrium P concentration, SPR: Standard P requirement

نتیجه گیری کلی

داده های حاصله با معادلات جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین برازش خوبی را نشان دادند. با توجه به ضریب تبیین (R^2) و خطای استاندارد (SE) معادله ی لانگمویر نسبت به دو معادله ی دیگر بهتر توانست جذب فسفر را توصیف کند. نتایج همبستگی نیز نشان داد که بین پارامترهای جذب معادلات با میزان رس ($r=0.72^{**}$) و کربنات کلسیم ($r=0.64^{**}$) بیشترین همبستگی وجود داشت. بین SPR و میزان رس و کلسیم کربنات معادل

ارتباط مثبت وجود داشت در حالی که SPR با فسفر اولسن ارتباط معنی دار منفی ($r=0.82^{**}$) داشت. در نتیجه می توان گفت که مدیریت کشت همراه با مصرف کود مرغی در منطقه مورد مطالعه باعث تغییر در ویژگی های جذب فسفر گردیده است، به طوری که پارامترهای جذب فسفر در خاک های زراعی منطقه نسبتا پایین بوده و نیاز استاندارد فسفر برای اغلب خاک ها پایین می باشد. بنابراین مدیریت کشت همراه با مصرف کود مرغی، سبب کاهش جذب فسفر توسط خاک و افزایش فراهمی فسفر قابل استفاده شده است.

Reference

- Afif A., Matar A., and Torrent J. 1996. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Science Society of American Journal*, 57: 756-760.
- Agbenin J.O., and Tiessen H. 1994. The effects of soil properties on the differential phosphate sorption by semiarid soils from northeast Brazil. *Soil Science*, 157: 36-45.
- Amer F., Mahmoud A.A. and Sabet V. 1985. Zeta potential and surface area of calcium carbonate as related to phosphate sorption. *Soil Science Society of American Journal*, 49: 1137-1142.
- Anghinoni I., Baligar V.C., and Wright R.J. 1996. Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalachian acidic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 27: 2033-2048.
- Bache B.W., and Williams E.G. 1971. A phosphate sorption index for soils. *Journal of Soil Science*, 22: 289-301.
- Bertrand, I., Holloway R.E., Armstrong R.D., and McLaughlin M.J. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Soil Research*, 41(1), 61-76.
- Bolt, G.H., Bruggenwert, M.G.M. and Kamphorst, A., 1976. Adsorption of Cations by Soil. *Developments in Soil Science*, 54p.
- Borrero C., Pena F., and Torrent J. 1988. Phosphate sorption by calcium carbonate in some soils of the Mediterranean part of Spain. *Geoderma*, 43: 261-269.
- Bouyoucos G.J. 1936. Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Journal of Soil Science*, 41: 225-228.
- Carrow R.N., and Duncan R.R. 2011. Best Management Practices for Saline and Sodic Turfgrass Soils: Assessment and Reclamation, CRC Press, 125p.
- Delgado A., Madrid A., Kassem S., Andreu L., and Del Campillo M.D.C. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil*, 245 (2): 277-286.
- Dhillon S.K., and Dhillon, K.S. 1984. Availability and management of phosphorus in wet land soil in relation to sod characteristic. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 32: 250-256.
- Duffera M., and Robarge W.P. 1999. Soil characteristics and management effects on phosphorus sorption by highland plateau soils of Ethiopia. *Soil Science Society of America Journal*, 63(5): 1455-1462.
- FAO. 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2012. Food and Agriculture's Organization of the United Nations Rome.
- Freeman J.S., and Rowell D.L. 1981. The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. *Journal of Soil Science*, 32: 75-84.
- Jalali M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, Western Iran. *Environmental Geology*, 53(2): 365-374.
- Juo A.S.R., and R.L. Fox. 1977. Phosphate sorption characteristics of some benchmark soils of West Africa *Soil Science*, 124: 370-376
- Henry P.C., and Smith M.F. 2004. An improved phosphorus desorption index for the routine determination of the Ambic 2 phosphorus requirement factor of South African soils. *South African Journal of Plant and Soil*, 21(1): 13-20.
- Holford I.C.R., and Mattingle G.E.G. 1975c. Surface area of calcium carbonate in soils. *Geoderma*, 13: 247-255.
- Hosseinpour A., and Enayat Zamir Kh. 2006. Characteristic of phosphorus surface sorption and its relation to soil properties in some soils of Hamedan. *Journal of Agricultural Sciences Iran*, 37(3): (In Persian)
- Iyamuremye F., Dick R.P., and Baham J. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Science*, 161(7): 426-435.
- Khorshid M., Hosseinpur A.S., and Oustan Sh. 2009. Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and availability in some calcareous soils, *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources*, 7 (46): 791-802. (In Persian)
- Kuo S. 1996. Phosphorus. In D. Sparks (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3. 3rd Ed. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, pp.869-919.
- Malakuti M.J., and Homaei M. 1994. Soil Fertility of Arid Regions Soils. *Tarbiat Modarres*, Tehran, Iran.

- Moshi A.O., Wild A., and Greenland D.J. 1974. Effect of organic matter on the charge and phosphate adsorption characteristics of Kikuyu red clay from Kenya. *Geoderma*, 11: 275-285
- Mozaffari M., and Sims J.T., 1996. Phosphorus transformation in poultry litter- amended soils of the Atalantic Coastal Plain. *Journal of Environmental Quality*, 25:1357-1365.
- Nelson R.E., 1982. Carbonate and gypsum. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties, pp.181-197.
- Olsen S.R.1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction whit Sodium Bicarbonate. Washington, DC.
- Raven K.P., and Hossner L.R. 1994. Soil phosphorus desorption kinetics and its relationship with plant growth. *Soil Science Society of America Journal*, 58(2): 416-423.
- Ryan J., Curtin D. and Cheeman M.A. 1985a. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Science Society of American Journal*, 49:74-76.
- Samadi A. 2003. Predicting phosphate fertilizer requirement using sorption isotherms in selected calcareous soils of Western Azerbaijan province. Iran, *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 2885-2899.
- Samadi A., and Sepehr A. 2013. The use of phosphorous adsorption isotherms to determine fertilizer needs in cereal. *Journal of Water and Soil Science*, 6(1): 173-184. (In Persian)
- Sample E.C., Soper R.J., and Racz G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In The Role of Phosphorus in Agriculture. (Ed.), *Soil Science Society of American Journal*, Madison, WI. 26: 263-310.
- Sanyal S. K., and Datta S.K.De.1991.Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Advance Soil Science*, 16: 1-120.
- Saunders W.M.H. 1965. Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides organic matter and other soil constituent. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 8, 30-57
- Sepehr E., and Mousavi R. 2013. The effect of humic acid on adsorption behavior of phosphorus in calcareous soils. *Journal of Soil and Water*, 27(4): 720-731. (In Persian)
- Sharpley AN., Jones CA., Gray C., and Cole CV. 1984. A simplified soil and plant phosphorus model: Prediction of labile, organic, and sorbed phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 805-809.
- Sharpley A.N., Singh U. Uehara G., and Kimble J. 1989. Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils. *Soil Science Society of American Journal*, 53:153-158.
- Shirvani M., and Shariatmadari H. 2002. The use of sorption isotherms in determining the buffering capacity indices and standard phosphorus need in some lime soils of Isfahan province. *Journal of Water and Soil Science*, 65(3): 122-134. (In Persian)
- Singh B., and Gilkes R.J. 1991. Phosphorus sorption in relation to soil properties for the major soil types of south-western Australia. *Soil Research*, 29: 603-618.
- Solis P., Torrent J. 1989. Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Science Society of American Journal*, 53: 456-459.
- Sui Y., and Thompson M.L. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a bio-solids amended Mollisol. *Soil Science Society of American Journal*, 64: 164-169.
- Tisdale S.L., Nelson W.L., and Beaton J.D. 1985. Soil Fertilizer. Macmillan Publishing Co., New York. 325p.
- Walkley A., and Black I.A. 1934. Method of total organic carbon determination in soil samples. *Soil Science*, 37: 29-38.

Study of Phosphorus Sorption Behaviour in Cultivated and Virgin Soils of Khoy Region

Ebrahin Sepehr^{1*}, Javad Bayazzade², Hamidreza Momtaz³, Behnam Dovlati³

Abstract

Phosphorus (P) is an essential nutrient that its bioavailability controlled by sorption and desorption process. To study the behavior of phosphorus (P) sorption in agricultural soils of Khoy region, bath experiments were carried out with 60 cultivated soil samples and 9 initial P concentrations from 0 to 30 mg L⁻¹ in 0.01M CaCl₂ as a background solution. After equilibrium, remaining amount of P in solution was measured and the experimental sorption data were fitted to Langmuir, Freundlich and Temkin models. Based on coefficient of determination (R²) and standard error of estimate (SE), Langmuir isotherm models, is relatively better fitted to experimental data compared with Freundlich and Temkin models. The maximum mono layer sorption of Langmuir (q_{max}) varied from 135 to 486 mg kg⁻¹ and energy parameter of Langmuir (K_L) varied from 0.09 to 0.52 L mg⁻¹. Also, Freundlich sorption capacity (K_F) and intensity (n) parameters was varied from 16.0 to 123.4 mg kg⁻¹ and 1.1 to 2.4 respectively, and Temkin equation constants, A and K_T varied from 10.3 to 196.3 mg kg⁻¹ and 17.3 to 88.7 L mg⁻¹, respectively. The soils with high clay and CaCO₃ showed maximum q_{max}, K_F and A, and mentioned sorption parameters significantly correlated with clay and CaCO₃. The result showed that the amount of equilibrium P concentration (EPC) values varied from 0.01 to 0.89 mg l⁻¹, 0.35 mg l⁻¹ on average for the cultivated soils. Also, there was a highest significant correlated between EPC and extractable phosphorus with sodium bicarbonate (r = 0.90^{**}). The Potential buffering capacity (PBC) values was from 3.2 to 122.4 and 33.5 mg kg⁻¹ on average. PBC significantly correlated with soil clay content (r= 0.80^{**}) and amount of calcium carbonate (r=0.43^{**}).

Keywords: Adsorption models, P adsorption parameters, Phosphorus adsorption characteristics

1- Associate Professor, Department of Soil Science, Urmia University

2- M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Urmia University

3- Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University

* Corresponding Author Email: e.sepehr@urmia.ac.ir