مطالعه رفتار جذب فسفر در خاک‌های زراعی و غیر زراعی در منطقه خوی

جواد بیاض‌زاده، ابراهیم سپهر* و حمیدرضا ممتاز[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۷)

چکیده

به‌منظور بررسی رفتار جذب فسفر در خاک‌های منطقه خوی و تأثیر درازمدت کشت همراه با مصرف کود مرغی بر پارامترهای جذب فسفر، آزمایش‌های جذب به‌صورت پیمانه‌ای با ۱۶ نمونه خاک (هشت نمونه خاک زراعی و هشت نمونه خاک غیر زراعی) در سری غلظتی فسفر (۰–۳۰ $mg\ L^{-1}$) با محلول زمینه ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ انجام گرفت و پس از تعادل، مقدار فسفر باقیمانده در محلول اندازه‌گیری و داده‌های آزمایشی با مدل‌های لانگ‌مویر و فروندلیچ برازش داده شدند. بر اساس ضریب تبیین (R^2) و خطای استاندارد براورد (SE)، هر دو مدل لانگ‌مویر (R^2=۰/۹۳–۰/۹۹) و فروندلیچ (R^2=۰/۸۷–۰/۹۹) برازش نسبتاً خوبی با داده‌های آزمایشی نشان دادند و میزان حداکثر جذب تک‌لایه‌ای لانگ‌مویر (q_{max}) در خاک‌های زراعی و غیر زراعی به‌ترتیب بین ۲۳۳ تا ۴۸۶ و ۳۴۰ تا ۵۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم، پارامتر انرژی جذب لانگ‌مویر (K_L) در خاک‌های زراعی و غیر زراعی به‌ترتیب بین ۰/۱۲ تا ۰/۵ و ۰/۲۲ تا ۰/۷۱ قرار گرفت. پارامترهای ظرفیت (K_F) و شدت جذب (n) فروندلیچ در خاک‌های زراعی و غیر زراعی به‌ترتیب در محدوده ۱۲۳–۳۶/۴ و ۱۴۵/۲–۵۹/۳ و ۱/۵۰–۱/۱۸ و ۱/۸۵–۱/۴۷ قرار گرفتند. در نتیجه با توجه به روند کاهشی پارامترهای جذب و شاخص‌های بافری خاک در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی می‌توان گفت ادامه این روند مدیریت کشت در این منطقه همراه با مصرف کود مرغی موجب کاهش جذب فسفر توسط خاک و افزایش فراهمی فسفر شده، لذا مقدار کود فسفاته کمتری برای حفظ مقدار بهینه فسفر در محلول خاک به‌منظور رشد مطلوب گیاهان مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: همدماهای جذب، فسفر، لانگ‌مویر، فروندلیچ، کود مرغی

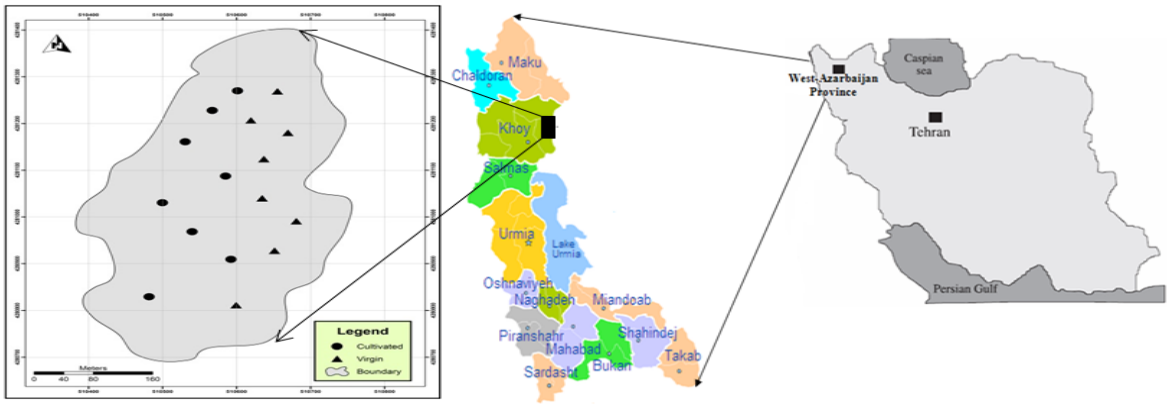
۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: e.sepehr@urmia.ac.ir

مقدمه

فسفر یکی از عناصر غذایی ضروری برای تغذیه گیاه است و پس از نیتروژن بیشترین مصرف کود را در دنیا دارد. به‌طوری که سالانه بیش از ۳۹ میلیون تن کودهای فسفاته در دنیا و ۸۰۰ هزار تن در ایران مصرف می‌شود (۲۸). فسفر به‌خاطر شیمی پیچیده‌اش، هم در خاک‌های آهکی و هم در خاک‌های اسیدی مشکل جذب دارد و کمتر از ۲۰ درصد کود مصرفی آن جذب گیاه شده و بقیه در خاک انباشته و تثبیت می‌شود. لذا، به‌خاطر غیرقابل دسترس شدن فسفر باقیمانده در خاک، کودهای حاوی آن همه ساله مصرف می‌شوند (۲۸). با ظهور کشاورزی متمرکز و با زیر کشت رفتن اراضی کم بازده، سال به سال بر مصرف کودهای فسفره افزوده شده و پیش‌بینی می‌شود مصرف این کودها در سال ۲۰۴۰ به ۶۰ میلیون تن برسد (۲۶). به‌دلیل وارد شدن فسفر در واکنش‌های مختلف با اجزای خاک فراهمی این عنصر در خاک کاهش می‌یابد که نتیجه این امر کاهش راندمان جذب فسفر به‌وسیله گیاه است. تجمع فسفر در خاک علاوه بر این که از لحاظ اقتصادی و آلودگی محیط زیست امری نامطلوب تلقی می‌شود، باعث به هم خوردن توازن بین عناصر غذایی نیز می‌شود (۲۶).

فسفر در خاک تحت تأثیر عوامل متعدد قرار می‌گیرد، لذا ارزیابی وضعیت آن نیز در خاک بسیار پیچیده است. روش‌های ارائه شده هر کدام برای وضعیت و شرایط خاصی پیشنهاد شده‌اند. روشی مناسب‌تر است که کمتر تحت تأثیر عوامل بوده و تحت شرایط مختلف بتواند جوابگو باشد. یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای بررسی وضعیت فسفر در خاک ارائه شده است، استفاده از هم‌دماهای جذب فسفر توسط خاک است. با استفاده از این روش می‌توان غلظت فسفر در فاز محلول خاک، انرژی جذب فسفر توسط خاک و حداکثر جذب آن توسط خاک، قدرت بافری خاک در برابر تغییرات غلظت فسفر در محلول و وضعیت تعادل بین فسفر در فاز محلول و فاز جامد و ارتباط بین آنها را براورد کرد. همچنین در توصیه کود فسفره می‌توان از هم دماهای جذب فسفر کمک گرفت (۲۰).

جذب و آزاد شدن فسفر مهم‌ترین فرایندهایی هستند که غلظت فسفر در محلول خاک را کنترل می‌کنند و اکسیدهای آهن و آلومنیوم، بیکربنات‌ها و رس در جذب فسفر از محلول خاک نقش دارند (۲۵). در خاک‌های آهکی، جذب فسفر به‌شدت تحت تأثیر واکنش‌های جذب سطحی و رسوب در سطح کربنات کلسیم است. فرایند جذب ممکن است شامل دو واکنش جذب سطحی و رسوب باشد، این دو فرایند می‌توانند پشت سر هم یا همزمان اتفاق افتاده به همین خاطر همیشه قابل تفکیک نیستند (۵). جذب سطحی فسفر عمدتاً به واکنش‌های تبادل لیگاندی بین هیدروکسیل‌های روی سطح کانی‌ها و یون فسفات در محلول خاک نسبت داده می‌شود. میزان جذب فسفر می‌تواند به‌طور معنی‌داری به بسیاری از خصوصیات خاک از قبیل مقدار رس، سطح ویژه و کربنات کلسیم مرتبط شود. مواد آلی نیز در خاک با فسفر برهم‌کنش داشته و به روش‌های گوناگون بر واکنش جذب فسفر در خاک اثر می‌گذارند (۲۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مواد آلی موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شود. مواد آلی در خاک با کاهش انرژی جذب فسفر از طریق پل‌های کاتیونی، منجر به افزایش فراهمی فسفر توسط گیاهان می‌شود (۷). مواد آلی و اسیدهای حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کند (۶). دلداگو و همکاران (۶) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شوند و کود مرغی یک کود سرشار از فسفر قابل معدنی شدن است که در اثر کاربرد این کود میزان جذب فسفر افزایش می‌یابد (۱۱). حافظ و همکاران (۸) تأثیر کودهای دامی و مرغی را بر رفتار جذب فسفر مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که کود دامی و مرغی باعث کاهش پارامترهای جذب و شاخص‌های بافری خاک و درنتیجه افزایش فراهمی فسفر به گیاه می‌شود. بولستر و سیستانی (۳) تأثیر کود مرغی، گاوی و خوکی را بر جذب فسفر در انواع مختلف خاک مورد مطالعه قرار داده و دریافتند که ظرفیت جذب فسفر در خاک به



شکل ۱. نقشه موقعیت نقاط مطالعاتی

نوع کود دامی و نوع خاک بستگی دارد. یو و همکاران (۲۹) گزارش کردند که با افزودن کودهای آلی مختلف، جذب فسفر در خاک‌ها پس از ۳۰ و ۶۰ روز انکوباسیون، کاهش یافت.

بررسی رفتار فسفر در خاک‌ها به‌دلایل زیست‌محیطی و مدیریت بهتر عناصر غذایی در راستای کاهش نهاده‌ها و هزینه‌های تولید، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علیرغم پژوهش‌های گسترده پیرامون رفتارهای جذب فسفر در خاک (۲۲، ۲۳)، مطالعات اندکی برای بررسی تأثیر کود مرغی بر پارامترهای همدمای جذب و شاخص‌های بافری خاک در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی انجام گرفته است. لذا با توجه به کاربرد کودهای آلی مرغی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه، هدف از این تحقیق بررسی رفتار جذب فسفر و پارامترهای مدل‌های مختلف در خاک‌های زراعی و غیر زراعی همجوار است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک

منطقه مورد مطالعه، در شرق شهرستان خوی، استان آذربایجان غربی واقع شده است. این منطقه برای بیش از ۱۰ سال است که تحت کشت متناوب آفتابگردان، چغندرقند و گندم و به‌ویژه کدو قرار دارد و در کشت کدو به آن کود مرغی اضافه شده است. به‌منظور بررسی تأثیر کود مرغی بر رفتار جذب فسفر، آزمایشی در آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. بدین‌منظور ۱۶ نمونه خاک (۸ نمونه خاک زراعی و ۸ نمونه خاک غیر زراعی) از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و پس از هوا خشک شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. نقشه موقعیت نقاط مطالعاتی در شکل (۱) ارائه شده است. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری (۴)، pH و EC با استفاده از روش گل اشباع، کربن آلی به روش والکلی و بلک (۱۶)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۱۹) و فسفر قابل جذب با روش اولسن (۱۷) اندازه‌گیری شدند.

آزمایش همدمای جذب

آزمایشات جذب به‌صورت پیمانه‌ای در سری غلظتی فسفر (۰-۳۰ mg L^{-1}) در قدرت یونی ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ انجام گرفت و پس از تعادل مقدار فسفر باقیمانده در محلول اندازه‌گیری شد. به‌طوری که ۲۵ میلی‌لیتر از محلول‌های فسفر بر روی ۲/۵ گرم از نمونه‌های خاک افزوده به‌مدت ۲۴ ساعت شیک شدند تا سوسپانسیون به تعادل برسد. در ادامه نمونه‌ها از صافی عبور داده شدند و مقدار فسفر باقیمانده در محلول به روش اسپکتروفوتومتر در طول موج ۸۸۰ نانومتر تعیین و در نتیجه از تفاضل مقدار اولیه و مقدار نهایی میزان جذب فسفر با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$q_e = (c_i - c_f) * \frac{v}{m} \quad (۱)$$

q_e: مقدار جذب فسفر(میلی‌گرم بر کیلوگرم)، c_i: غلظت اولیه فسفر(میلی‌گرم بر لیتر)، c_f: غلظت نهایی فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)، v: حجم محلول (میلی لیتر) و m: وزن خاک (میلی‌گرم)

برای توصیف همدماهای جذب فسفر از معادلات لانگ‌مویر (در رابطه ۲) و فروندلیچ استفاده شد:

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{(۱ + K_L C_e)} \quad (۲)$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{۱}{n}} \quad (۳)$$

در هر دو معادله q_e مقدار جذب فسفر در واحد وزن خاک (mg/kg)، C_e: غلظت تعادلی فسفر (mg/L)، q_{max} و K_L ثابت‌های معادله لانگ‌مویر و K_F و n ثابت‌های معادله فروندلیچ هستند.

پس از برازش معادلات جذب روی داده‌های آزمایشی، پارامتر های SPR (نیاز استاندارد فسفر) در غلظت تعادلی ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر، PBC (ظرفیت بافری فسفر) و MBC (ظرفیت بافری حداکثر) که از حاصل‌ضرب ثابت متناسب با انرژی پیوند و حداکثر جذب فسفر به‌دست می‌آید، محاسبه شدند و درنهایت نتایج با نرم‌افزار SAS تجزیه و نمودارها در Excel تهیه شدند.

نتایج و بحث

با توجه به جدول (۱) میانگین pH خاک‌های زراعی و غیر زراعی به‌ترتیب ۸/۴ و ۸/۳ و میانگین کربنات کلسیم معادل خاک‌های زراعی و غیر زراعی ۱۸ درصد بود که بیانگر آهکی بودن این خاک‌هاست. همچنین این خاک‌ها با میانگین رس ۴۹ درصد دارای بافت سنگین بودند. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین خاک‌های زراعی و غیر زراعی در ویژگی‌های مذکور، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱) و نشان می‌دهد که نمونه‌برداری از خاک‌ها درست انجام شده است و خاک‌های جفتی از لحاظ خصوصیات ذاتی یکسان هستند و تغییرات ویژگی‌های جذب فسفر در نمونه‌های جفتی کشت شده و نشده مربوط به مدیریت کشت و کاربرد کود مرغی است.

مقدار فسفر قابل استخراج با روش اولسن شاخصی از قابلیت دسترسی فسفر برای گیاه در خاک‌های آهکی است (۲۸). تغییرات فسفر قابل جذب در خاک‌های زراعی و غیر زراعی به‌ترتیب در دامنه ۳۹-۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۱۱-۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که میانگین فسفر قابل جذب در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی از ۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافته و تفاوت معنی‌داری بین مقادیر فسفر اولسن ($p \leq ۰/۰۱$) در خاک‌های زراعی و غیر زراعی وجود دارد (جدول ۱). این افزایش می‌تواند ناشی از اثر مستقیم و غیرمستقیم افزودن کود باشد. اثر مستقیم کود اضافه کردن فسفر به خاک است، با توجه به اینکه در خاک‌های زراعی کود مرغی استفاده شده است، در اثر اضافه کردن کود، فسفر قابل استفاده خاک افزایش می‌یابد. اثر غیرمستقیم کود اضافه کردن مقدار زیادی مواد آلی به خاک است. می‌توان با استفاده از پارامترهای هم‌دماهای جذب تا حدودی اثرات مستقیم و غیرمستقیم افزودن کود را تفکیک کرد چرا که کاهش در مقدار حداکثر جذب، قدرت پیوند، ضرایب معادله فروندلیچ و قدرت بافری خاک ناشی از اثر غیرمستقیم مصرف کود است (۱۰). اسیدهای هومیک و سیترات حاصل از تجزیه مواد آلی تمایل زیادی به اکسیدهای آلومینیوم نسبت به PO_4 داشته و در نتیجه افزودن کودهای آلی منجر به افزایش فراهمی فسفر توسط خاک می‌شود. همچنین حضور اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم در مواد آلی منجر به فعال شدن Ca-P و درنتیجه افزایش زیست‌فراهمی فسفر توسط گیاهان می‌شود (۳۰). مظفری و سیمز (۱۵) نیز افزایش در فسفر قابل جذب را در اثر تیمار خاک با کود حیوانی گزارش کردند. دامنه مقادیر کربن آلی خاک‌های زراعی بین ۱/۱۰ تا ۲/۵۵ درصد (به‌طور متوسط ۱/۷۹ درصد) و در خاک‌های غیر زراعی بین ۰/۶ تا ۱/۳ درصد (به‌طور متوسط ۰/۸۰ درصد) متغیر بود. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۱$) بین مقادیر کربن آلی در خاک‌های زراعی و غیر زراعی وجود دارد (جدول ۱) که بیانگر افزایش کربن آلی خاک‌های زراعی با کاربرد بلندمدت کود مرغی است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زراعی و غیر زراعی

شماره خاک	Clay(٪)		Silt(٪)		Sand(٪)		EC(ds/m)		P_{ava}(mg/kg)		$CaCO_3$(٪)		pH		OC(٪)	
	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult
۱	۵۶	۵۵	۳۴	۳۳	۱۰	۱۲	۱/۵	۲/۶	۱۰	۲۴	۲۴	۲۷	۸/۳	۸/۴	۰/۷	۱/۵
۲	۳۸	۳۷	۳۷	۳۴	۲۵	۲۸	۲/۶	۲/۱	۱۱	۲۲	۲۸	۲۶	۸/۳	۸/۱	۰/۹	۲/۲۸
۳	۵۶	۵۸	۳۲	۳۱	۱۳	۱۲	۲/۱	۳/۴	۵	۱۷	۱۸	۲۱	۸/۲	۸/۳	۰/۶	۲/۲
۴	۶۶	۶۹	۱۴	۱۳	۲۰	۱۸	۲/۶	۲/۱	۷	۱۳	۲۴	۲۵	۸/۰	۸/۱	۱/۳	۲/۵
۵	۳۹	۳۶	۲۱	۲۳	۴۰	۴۱	۱/۵	۲/۳	۱۰	۲۵	۲۰	۱۸	۸/۳	۸/۵	۱/۱	۱/۵
۶	۵۱	۴۹	۳۴	۳۴	۱۵	۱۷	۱/۹	۲/۸	۱۱	۳۹	۱۵	۱۲	۸/۷	۸/۵	۰/۶	۱/۱
۷	۳۶	۳۹	۳۷	۳۶	۲۸	۲۵	۱/۰	۲/۳	۹	۲۲	۱۰	۹	۸/۱	۸/۳	۰/۶	۱/۳
۸	۴۶	۴۹	۳۲	۳۴	۲۳	۱۷	۱/۶	۱/۸	۸	۱۷	۸	۹	۸/۳	۸/۴	۰/۶	۱/۹
میانگین	۴۹	۴۹	۳۰	۳۰	۲۲	۲۱	۱/۹	۲/۴	۹	۲۲	۱۸	۱۸	۸/۳	۸/۴	۰/۸	۱/۸
حداقل	۳۶	۳۶	۱۴	۱۳	۱۰	۱۲	۱/۰	۱/۸	۵	۱۳	۸	۹	۸/۰	۸/۱	۰/۶	۱/۱
حداکثر	۶۶	۶۹	۳۷	۳۶	۴۰	۴۱	۲/۶	۳/۴	۱۱	۳۹	۲۸	۲۷	۸/۷	۸/۵	۱/۳	۲/۵
ضریب تغییرات	۲۰	۲۲	۲۶	۲۵	۴۱	۴۳	۲۸	۱۹	۲۲	۳۲	۳۶	۳۸	۳	۴	۳۲	۲۷
p_{value}	۰/۵۹^{ns}		۰/۵۴۹^{ns}		۰/۶۵۹^{ns}		۰/۰۶۷^{ns}		۰/۰۰۱**		۱/۰۰۰^{ns}		۰/۰۹۶^{ns}		۰/۰۰۰۱***	

p_{value}: فسفر قابل استفاده (اولسن)، $CaCO_3$: کربنات کلسیم معادل، OC: درصد کربن آلی، Cult: خاک زراعی، Vir: خاک غیر زراعی، ^{ns}: غیر معنی‌دار

همدماهای جذب فسفر

مقایسه پارامترهای معادله جذب لانگ‌مویر در خاک‌های زراعی و غیر زراعی

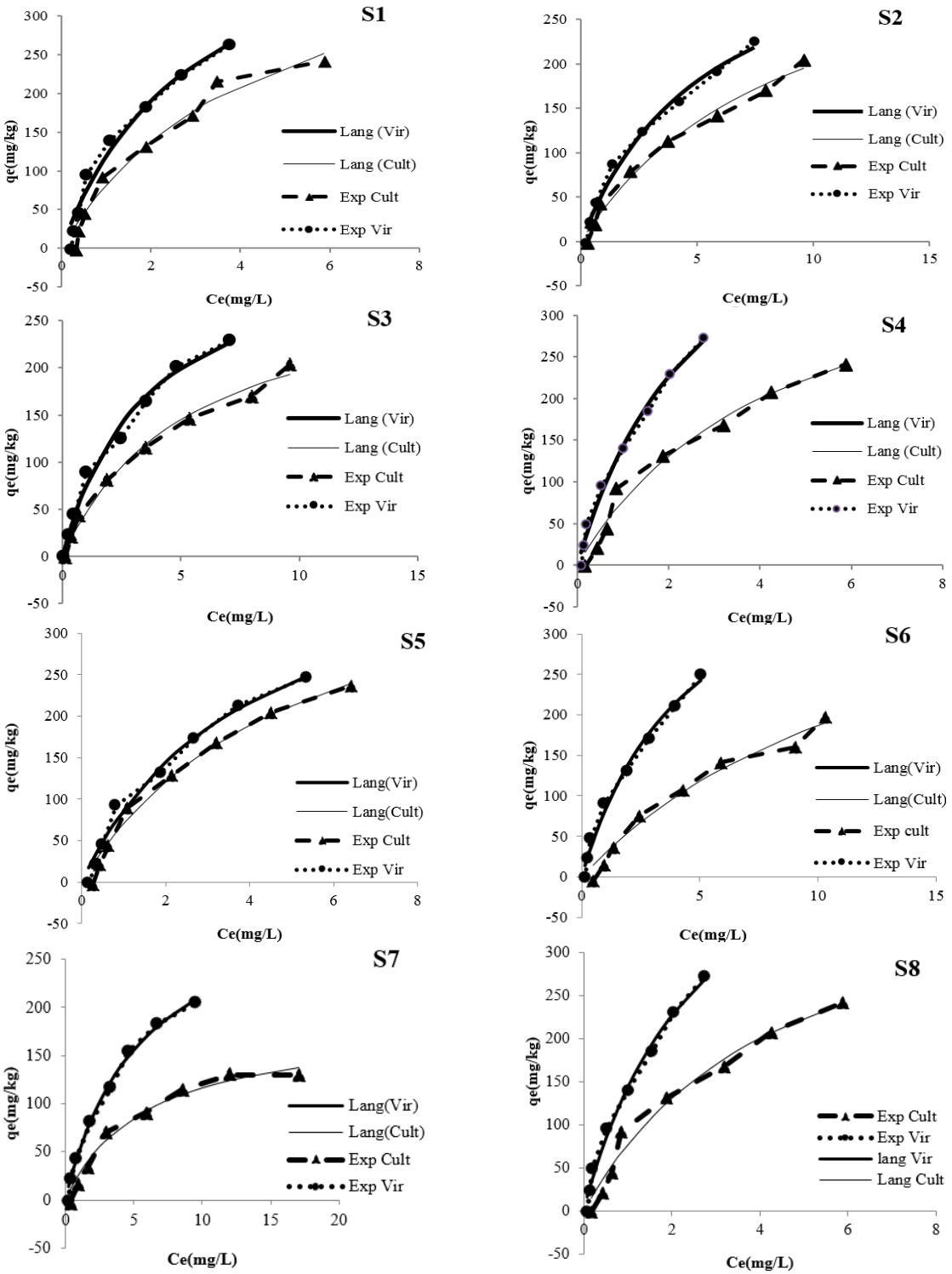
نمودار برازش داده‌های جذب فسفر با معادله لانگ‌مویر در خاک‌های زراعی و غیر زراعی در شکل (۲) ارائه شده است. در خاک‌های زراعی پارامترهای معادله لانگ‌مویر نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش یافت و نمودار جذب فسفر در خاک‌های زراعی پایین‌تر از خاک‌های غیر زراعی قرار گرفت (شکل ۲).

ضرایب تبیین (R^2) و پارامترهای معادله لانگ‌مویر برای خاک‌های زراعی و غیر زراعی در جدول (۲) آورده شده است. حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک غیر زراعی کاهش یافته است. حداکثر جذب در خاک‌های زراعی بین ۴۸۶-۲۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های غیر زراعی در محدوده ۵۴۰-۳۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت، همچنین آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداکثر جذب تک‌لایه‌ای (q_{max}) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۲). میانگین این پارامتر در خاک‌های زراعی ۱۴/۳ درصد کمتر از خاک‌های غیر زراعی بود. این موضوع احتمالاً به‌دلیل بلوکه شدن مکان‌های جذب فسفر توسط ماده آلی حاصل از تجزیه کود مرغی است. خورشید و همکاران (۱۱) در مطالعه‌ای که روی تأثیر کود مرغی بر پارامترهای جذب فسفر داشتند، میانگین کاهش حداکثر جذب تک‌لایه‌ای (q_{max}) را نسبت به تیمار شاهد ۴۲/۹ درصد گزارش کردند. ماسایوکی و همکاران (۱۳) نیز تأثیر اسید سیتریک را در کاهش حداکثر جذب سطحی فسفر را در خاک‌های اندی‌سول معنی‌دار گزارش کردند. آنها شاهد ۲۰-۵۰ درصدی کاهش جذب سطحی فسفر در حضور اسید سیتریک بودند. خورشید و همکاران (۱۰) نیز تأثیر لجن فاضلاب را در کاهش این پارامتر در برخی از خاک‌های آهکی معنی‌دار گزارش کردند.

ثابت وابسته به انرژی (K_L) لانگ‌مویر که نشان‌دهنده قدرت نگهداری فسفر به‌وسیله ذرات خاک است، در خاک‌های زراعی در محدوده ۰/۵۰-۰/۱۲ لیتر بر میلی‌گرم و در خاک‌های غیر زراعی ۰/۷۱-۰/۲۲ لیتر بر میلی‌گرم بود. مقدار این پارامتر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط به میزان ۲۸/۱ درصد کاهش یافته است (جدول ۲). آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین خاک‌های زراعی و خاک‌های غیر زراعی از لحاظ مقادیر پارامتر انرژی جذب لانگ‌مویر (K_L) ($p\leq$ ۰/۰۱) وجود دارد (جدول ۲). والن و چنگ (۲۸) مشاهده کردندکه کاربرد درازمدت کودهای آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم‌انرژی‌تری نگه‌داری شود و قابلیت استفاده آن افزایش پیدا کند. سیدیکو و رابینسون (۲۵) دریافتند که با اضافه کردن کود مرغی و لجن فاضلاب ثابت وابسته به انرژی ۳۰-۱۱ درصد کاهش یافت. همچنین سپهر و موسوی (۲۲) در بررسی تأثیر اسید سالسیلیک بر ویژگی‌های جذب فسفر در خاک آهکی کاهش معنی‌دار در مقدار ثابت لانگ‌مویر گزارش کردند. خورشید و همکاران (۱۰) در مورد تأثیر لجن فاضلاب در کاهش این پارامتر را در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب را نسبت به خاک‌های شاهد ۲۱ درصد گزارش کردند. در بررسی که مرادی و همکاران (۱۴) بر تأثیر اسید سیتریک و اسید اگزالیک بر پارامترهای جذب داشته‌اند، مقدار کاهش این پارامتر را در خاک‌های تیمار شده نسبت به شاهد ۲۲ درصد گزارش کرده‌اند.

مقایسه پارامترهای معادله جذب فروندلیچ در خاک‌های زراعی و غیر زراعی

نمودار برازش داده‌های جذب فسفر با معادله فروندلیچ در خاک‌های زراعی و غیر زراعی در شکل (۲) ارائه شده است. ضرایب تبیین (R^2) و پارامترهای این مدل برای خاک‌های زراعی و غیر زراعی در جدول (۳) آورده شده است. نتایج نشان داد که در خاک‌های زراعی پارامترهای معادله فروندلیچ نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش یافته و نمودار جذب فسفر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر



شکل ۲. روند جذب فسفر در خاک های زراعی و غیر زراعی با معادله لانگ‌مویر (Vir: غیر زراعی؛ Cult: زراعی؛ Lang: لانگ‌مویر و EXP: داده‌های آزمایشی)

جدول ۲. پارامترهای معادله لانگ‌مویر در خاک های زراعی و غیر زراعی

شماره خاک	کد خاک	q_{max} (mg. kg^{-1})		K_L (L. mg^{-1})		R^2		SE	
		Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir
۱	SV۶	۴۳۸	۴۷۶	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۹۵	۰/۹۸	۱۸/۹	۱۸/۶
۲	S۸۱	۳۸۰	۴۲۱	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۹۶	۰/۹۹	۹/۴	۹/۸
۳	S۸۳	۳۰۰	۳۴۱	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۹۵	۰/۹۹	۷/۹	۹/۶
۴	S۹۸	۴۸۶	۵۴۰	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۹۴	۰/۹۹	۱۴/۸	۱۰/۶
۵	S۱۰۸	۴۳۳	۴۵۸	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۱۲/۸	۱۲/۰
۶	S۱۱۰	۴۴۷	۴۶۴	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۹۷	۰/۹۹	۱۳/۰	۱۰/۵
۷	S۱۱۱	۲۳۳	۴۱۴	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۹۷	۰/۹۶	۹/۰	۱۲/۵
۸	S۱۱۴	۲۳۹	۳۴۰	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۹۳	۰/۹۸	۱۷/۵	۹/۵
حداقل		۲۳۳	۳۴۰	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۹۳	۰/۹۶	۷/۹	۹/۵
حداکثر		۴۸۶	۵۴۰	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۹۷	۰/۹۹	۱۸/۹	۱۸/۶
میانگین		۳۷۰	۴۳۲	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۱۲/۹	۱۱/۶
ضریب تغییرات		۲۵	۱۴	۴۸	۴۶	–	–	۲۹	۲۴
pvalue		*۰/۰۱۴		***۰/۰۰۱		-		-	

:معنی‌دار در حد ۰/۰۱، *:معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، *: معنی‌دار در حد ۰/۰۵، Vir: غیر زراعی و Cult: زراعی

جدول ۳. پارامترهای معادله فروندلیچ در خاک های زراعی و زراعی

شماره خاک	کد خاک	K_F (L. kg^{-1})		n		R^2		SE	
		Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir
۱	SV۶	۷۹/۲	۱۰۹/۸	۱/۲۲	۱/۴۷	۰/۹۲	۰/۹۴	۲۵/۵	۲۴/۱
۲	S۸۱	۴۱/۰	۵۹/۳	۱/۱۸	۱/۴۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۱۰/۶	۱۲/۴
۳	S۸۳	۵۱/۷	۷۶/۳	۱/۴۰	۱/۷۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۹/۰	۱۱/۲
۴	S۹۸	۱۲۳/۴	۱۴۵/۲	۱/۴۸	۱/۸۲	۰/۹۶	۰/۹۹	۱۸/۸	۱۲/۲
۵	S۱۰۸	۶۹/۲	۸۳/۶	۱/۲۶	۱/۴۹	۰/۹۶	۰/۹۷	۱۸/۸	۱۷/۱
۶	S۱۱۰	۶۲/۱	۹۱/۸	۱/۲۸	۱/۵۸	۰/۹۶	۰/۹۹	۱۵/۵	۱۱/۰
۷	S۱۱۱	۳۶/۴	۷۷/۵	۱/۵۰	۱/۸۵	۰/۹۱	۰/۹۲	۱۵/۸	۲۵/۴
۸	S۱۱۴	۵۰/۴	۷۶/۳	۱/۴۰	۱/۸۰	۰/۸۷	۰/۹۸	۲۴/۳	۱۱/۲
حداقل		۳۶/۴	۵۹/۳	۱/۱۸	۱/۴۷	۰/۸۷	۰/۹۲	۹/۰	۱۱/۰
حداکثر		۱۲۳/۴	۱۴۵/۲	۱/۵۰	۱/۸۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۲۵/۵	۲۵/۴
میانگین		۶۴/۲	۹۰/۰	۱/۳۴	۱/۶۵	۰/۹۴	۰/۹۷	۱۷/۳	۱۵/۶
ضریب تغییرات		۴۰	۳۰	۸	۹	-	-	۳۱	۳۶
pvalue		***۰/۰۰۱		***۰/۰۰۱		-		-	

:معنی‌دار در حد ۰/۰۱، *:معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، *: معنی‌دار در حد ۰/۰۵، Vir: غیر زراعی و Cult: زراعی

زراعی پایین‌تر قرار گرفتند (شکل ۳).

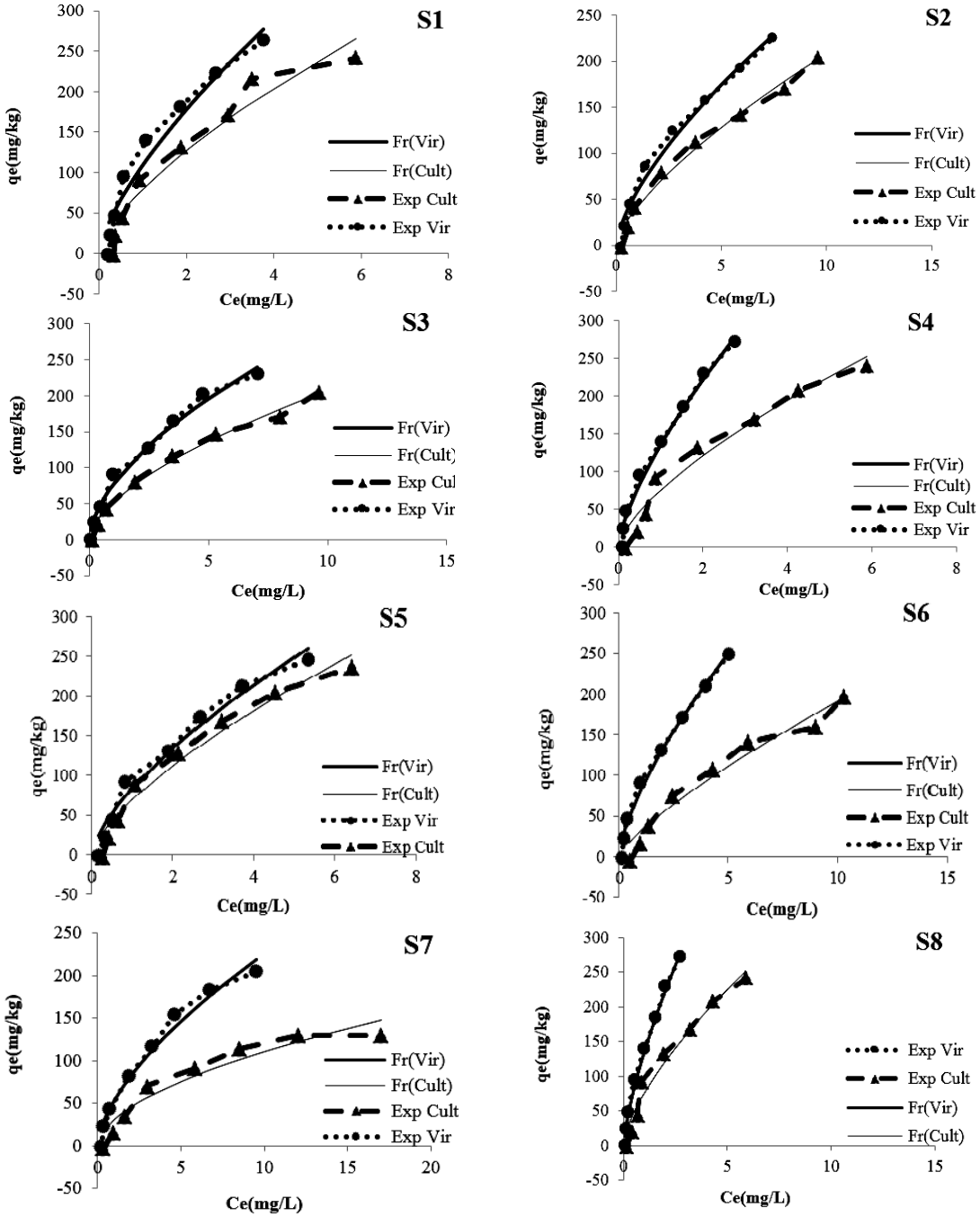
پارامتر شدت جذب (n) در معادله فروندلیچ که نشان‌دهنده شدت جذب است، در خاک‌های زراعی در دامنه ۱/۵۰-۱/۱۸ و در خاک‌های غیر زراعی در محدوده ۱/۸۵-۱/۴۷ قرار داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که پارامترهای مدل فروندلیچ در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط به میزان ۱۸/۷ درصد کاهش یافت. آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که پارامتر شدت جذب (n) در خاک های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۳). با کاهش مقدار شدت جذب (n) در یک غلظت تعادلی مشخص مقدار کمتری از فسفر جذب خواهد شد. در مطالعه خورشید و همکاران (۱۱) در بررسی کود مرغی بر پارامترهای جذب فسفر در خاک‌های همدان، کاهش پارامتر شدت جذب (n) در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی نسبت به شاهد ۶۳/۶ درصد گزارش شده است. همچنین سپهر و زبردست (۲۳) در بررسی تأثیر اسید هومیک بر پارامترهای جذب، کاهش در مقدار شدت جذب (n) را در اثر افزودن اسید هومیک به خاک گزارش کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش مواد آلی تمایل به جذب یون‌های فسفر کاهش یافته و مقدار زیادی از فسفر موجود در سیستم وارد فاز محلول می شود. در صورتی که سپهر و موسوی (۲۲) در مطالعه‌ای که روی تأثیر اسید سالسیلیک بر پارامترهای جذب داشتند، گزارش کردند که اسید سالسیلیک تأثیری بر کاهش پارامتر شدت جذب (n) نداشت. حافظ و همکاران (۸) تأثیر کودهای مرغی را بر رفتار جذب فسفر مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که معادله فروندلیچ برازش بهتری بر داده‌های جذب فسفر داشت و مقادیر ضریب n بالاتر از یک به‌دست آمد که بیانگر جذب فیزیکی فسفر توسط کود مرغی و درنتیجه زیست‌فراهمی بهتر آن برای گیاهان است.

پارامتر K_F فروندلیچ ضریب توزیع بوده و نشان‌دهنده تمایل جذب است. این ضریب می‌تواند در رابطه با جذب گیاه و آلودگی محیط باشد. ضریب توزیع کوچک‌تر نشان می‌دهد که بیشتر فسفر موجود در سیستم محلول بوده و برای انتقال، واکنش‌های شیمیایی و جذب گیاه در دسترس است. هر چند که مقادیر بیشتر نشان‌دهنده تحرک کمتر و جذب بیشتر فسفر در خاک است (۱۱). نتایج نشان داد که ظرفیت جذب (K_F) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش یافت (جدول ۳). مقدار این پارامتر در خاک‌های زراعی در دامنه ۱۲۳/۴-۳۶/۴ لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های غیر زراعی در محدوده ۱۴۵/۲-۵۹/۳ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. میانگین این پارامتر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی ۲۸/۶ درصد کاهش یافت. آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که پارامتر ظرفیت جذب (K_F) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۳). در آزمایش باهل و تور (۲) نیز کاربرد کود مرغی باعث کاهش مقدار این پارامتر در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی نسبت به شاهد شد. این نتایج با نتایج سپهر و موسوی (۲۲)، مرادی و همکاران (۱۴) و حافظ و همکاران (۸) مطابقت دارد.

محاسبه و مقایسه شاخص‌های بافری در خاک‌های زراعی و غیر زراعی

غلظت تعادلی فسفر(EPC)

محل تلاقی منحنی جذب فسفر با محور Xها به‌عنوان غلظت تعادلی فسفر نامیده می‌شود که در این غلظت میزان جذب و واجذب برابر است (۱۸). مقدار این پارامتر در خاک‌های زراعی در دامنه ۰/۶۷-۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و در خاک‌های غیرزراعی بین ۰/۱۰ تا ۰/۲۷ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشت. نتایج نشان داد که این پارامتر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیرزراعی به‌طور متوسط به میزان ۵۴ درصد افزایش یافت. (جدول ۴). آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که افزایش در پارامتر EPC در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیرزراعی معنی‌دار ($p\leq$ ۰/۰۱) بوده است (جدول ۴).



شکل ۳. روند جذب فسفر در خاک های زراعی و غیر زراعی با معادله فروندلیچ (Vir: غیر زراعی؛ Cult: زراعی؛ Fr: فروندلیچ و EXP: داده‌های آزمایشی)

افزایش غلظت تعادلی نشان‌دهنده افزایش قابلیت دسترسی فسفر است. در مطالعه خورشید و همکاران (۱۱) نیز در اثر تیمار خاک با کود مرغی مقدار این پارامتر نسبت به شاهد افزایش ۱۳۲ درصدی نشان داده بود. هارتیکاین (۹) به این نتیجه رسید که کودهای آلی مقدار فسفر تعادلی را افزایش می دهد.

جدول ۴. برخی شاخص‌های بافری در خاک‌های زراعی و غیر زراعی

شماره خاک	کد خاک	EPC ($mg\ L^{-1}$)		SPR ($mg\ kg^{-1}$)		PBC ($L\ kg^{-1}$)		MBC ($L\ kg^{-1}$)	
		Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir	Cult	Vir
۱	SV۶	۰/۳۱	۰/۲۱	−۴/۸	۲۹/۱	۴۳/۵	۷۰/۷	۹۶/۴	۱۵۸/۳
۲	S۸۱	۰/۳۸	۰/۲۷	−۱۳/۵	۴/۳	۲۰/۳	۲۹/۳	۶۸/۴	۱۱۷/۹
۳	S۸۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۱۹/۱	۵۰/۳	۳۹/۳	۴۴/۹	۵۶/۲	۹۶/۱
۴	S۹۸	۰/۲۵	۰/۱۰	۱۲/۸	۷۷/۷	۱۲۲/۴	۱۳۱/۶	۲۴۳/۰	۳۸۳/۳
۵	S۱۰۸	۰/۳۲	۰/۲۲	−۶/۳	۲۱/۸	۳۸/۰	۴۶/۹	۸۳/۹	۱۱۳/۱
۶	S۱۱۰	۰/۶۷	۰/۱۷	−۵۱/۶	۳۴/۸	۳۸/۲	۴۸/۱	۵۳/۶	۱۰۰/۴
۷	S۱۱۱	۰/۴۷	۰/۲۱	−۱۷/۳	۶/۵	۲۱/۹	۲۸/۶	۳۷/۳	۹۵/۲
۸	S۱۱۴	۰/۳۴	۰/۱۰	−۷/۱	۵۰/۷	۱۳/۵	۲۱/۳	۵۷/۴	۹۵/۲
حداقل		۰/۲۰	۰/۱۰	−۵۱/۶	۴/۳	۱۳/۵	۲۱/۳	۳۷/۳	۹۵/۶
حداکثر		۰/۶۷	۰/۲۷	۱۹/۱	۷۷/۷	۱۲۲/۴	۱۳۱/۶	۲۴۳/۰	۳۸۳/۳
میانگین		۰/۳۷	۰/۱۷	−۸/۶	۳۴/۴	۴۲/۸	۵۲/۱	۸۷/۰	۱۴۴/۹
ضریب تغییرات		۳۷	۳۵	−۲۳	۶۷	۷۵	۶۲	۷۰	۶۳
P_{value}		۰/۰۰۵**		۰/۰۰۱***		۰/۰۲*		۰/۰۰۲**	

: معنی‌دار در حد ۰/۰۱، *: معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، *: معنی‌دار در حد ۰/۰۵، Vir: غیر زراعی و Cult: زراعی

نیاز استاندارد فسفر (SPR)

مقدار فسفر جذب شده توسط خاک در غلظت تعادلی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر محلول خاک مقداری است که نیاز فسفر بیشتر گیاهان را بر طرف می‌کند و به‌عنوان نیاز استاندارد فسفر خاک‌ها پذیرفته شده است (۹). اما بر اساس مطالعات انجام شده، صمدی (۲۰) غلظت ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر را به‌عنوان مناسب‌ترین غلظت برای خاک‌های شمال غرب ایران گزارش کرده است. در این مطالعه به‌طور متوسط غلظت ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر به‌عنوان نیاز استاندارد فسفر در نظر گرفته شد. مقدار این شاخص در خاک‌های زراعی در محدوده ۱۹/۱ تا ۵۱/۶- میلی‌گرم بر لیتر و در خاک‌های غیر زراعی در محدوده ۷۷/۷-۴/۳ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشت. نتایج نشان داد که میزان این شاخص در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط به میزان ۱۲۵ درصد کاهش یافته است (جدول ۴). آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که پارامتر نیاز استاندارد فسفر (SPR) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری ($p\leq$ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۴). کاهش نیاز استاندارد به معنی افزایش فسفر قابل استفاده گیاه و کاهش نیاز به کوددهی است. در مطالعه باهل و تور (۲) اضافه کردن کود مرغی نیاز استاندارد فسفر را به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایین آورد. خورشید و همکاران (۱۱) نیز کاهش مقدار این پارامتر را در اثر اضافه کردن کود مرغی به خاک ۸۵/۵ درصد گزارش کردند.

حداکثر ظرفیت بافری (MBC)

حداکثر ظرفیت بافری که حاصل‌ضرب ثابت متناسب با انرژی پیوند (K_L) و حداکثر جذب فسفر (q_{max}) در معادله لانگمویر است در خاک‌های زراعی در محدوده ۲۴۳-۳۷/۳ لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های غیر زراعی در دامنه ۹۵/۶ تا ۳۸۳/۳ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. میانگین این پارامتر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی ۳۹/۹ درصد کاهش یافت (جدول ۴). آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که

پارامتر ظرفیت بافری حداکثر (MBC) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری (p≤ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۴). در خاک‌هایی با فسفر قابل استفاده یکسان، در خاک‌هایی با ظرفیت بافری حداکثر (MBC) کم نسبت به خاک‌های با ظرفیت بافری حداکثر (MBC) بالا، شدت بیشتری از فسفر را در محلول خاک شاهد خواهیم بود. پس در خاک‌هایی زراعی که کود مرغی دریافت کردند فسفر به آسانی وارد فاز محلول می‌شود که احتمالاً دلیل این امر کمتر شدن قدرت پیوند مکان‌های جذب فسفر است. خورشید و همکاران (۱۱) در مطالعه تأثیر کود مرغی مقدار این پارامتر را در خاک‌های شاهد ۹۳/۴ درصد گزارش کردند. همچنین در بررسی تأثیر لجن فاضلاب مقدار کاهش این پارامتر در خاک تیمار شده نسبت به شاهد، ۳۸/۸۵ درصد گزارش شده است (۱۰). نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران گزارش شده است (۲۲).

ظرفیت بافری فسفر (PBC)

ظرفیت بافری یک خاک عبارت است از پایداری آن در برابر تغییرات غلظت فسفر در فاز محلول که یکی از عوامل بسیار مهم کنترل کننده جذب به‌وسیله گیاه است. مقدار این پارامتر در خاک‌های زراعی در محدوده ۱۲۲/۴–۱۳/۵ لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های غیر زراعی در دامنه ۱۳۱/۶–۲۱/۳ لیتر بر کیلوگرم قرار داشت. نتایج نشان داد که ظرفیت بافری که شیب هم‌دمای خطی است در خاک‌های غیر زراعی بیشتر از خاک‌های زراعی بود و به‌طوری که میانگین این پارامتر در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی ۲۰ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). آزمون جفتی مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که پارامتر ظرفیت بافری فسفر (PBC) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی کاهش معنی‌داری (p≤ ۰/۰۱) داشته است (جدول ۴). کاهش این پارامتر به این معنی است که با افزایش مقدار مشابه فسفر به محلول خاک، خاک‌های کود داده شده فسفر کمتری را جذب کرده و شدت فسفر در محلول نسبت به خاک‌های شاهد افزایش پیدا می‌کند. این امر ممکن است به‌دلیل بلوکه شدن مکان‌های جذب توسط ماده آلی حاصل از تجزیه کود یا به‌دلیل اشغال این مکان‌ها توسط فسفر حاصل از کود مرغی باشد. خورشید و همکاران (۱۱) در مطالعه تأثیر کود مرغی مقدار این پارامتر را در خاک‌های شاهد ۳۲–۶/۷ و در خاک‌های تیمار شده ۲۷/۳–۷/۵ لیتر بر کیلوگرم گزارش کردند و کاهش ظرفیت بافری را در خاک‌های تیمار شده نسبت به شاهد را ۱۲/۵ درصد گزارش کردند. سو و تامسون (۲۶) نیز در تحقیقات خود گزارش کردند که کاربرد بیوسالیدها باعث کاهش ظرفیت بافری خاک می‌شود. همچنین در مطالعه‌ای که سپهر و موسوی (۲۲) در مورد تأثیر اسید سالسیلیک بر پارامترهای جذب داشته‌اند، مقدار کاهش این پارامتر را در اثر اضافه کردن اسید سالسیلیک به خاک از ۵۸/۳ به ۲۲/۲ لیتر بر کیلوگرم گزارش کردند. عزیز و آوربک (۱) در مطالعه‌ای نشان دادند با کاربرد کود مرغی، گاوی و بز در خاک‌های گرمسیری بسیار هوازده، کارایی جذب و ظرفیت بافری فسفر با افزایش زمان انکوباسیون، کاهش یافت.

نتیجه‌گیری

نمودار جذب فسفر در خاک‌های زراعی پایین‌تر از خاک‌های غیر زراعی قرار گرفت و پارامترهای جذب فسفر و شاخص‌های بافری در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی روند کاهشی نشان دادند. به‌طوری که میزان حداکثر جذب تک‌لایه‌ای لانگمویر (q_{max}) و انرژی جذب لانگمویر (K_L) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط ۱۴/۳ و ۲۸/۱ درصد کاهش یافت. پارامترهای ظرفیت (K_F) و شدت جذب (n) معادله فروندلیچ در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط ۲۸/۶ و ۱۸/۷ درصد کاهش یافت. شاخص نیاز استاندارد فسفر (SPR) نیز در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط ۱۲۵ درصد و شاخص ظرفیت بافری فسفر (PBC) نیز در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی

به‌طور متوسط ۲۰ درصد و شاخص ظرفیت بافری حداکثر (MBC) در خاک‌های زراعی نسبت به خاک‌های غیر زراعی به‌طور متوسط ۳۹/۹ درصد کاهش یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدیریت کشت همراه با مصرف کود مرغی در این منطقه، سبب کاهش جذب فسفر توسط خاک و افزایش فراهمی فسفر قابل استفاده شده است و نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیریت بهتر کود، کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفاته و در نتیجه کاهش آلودگی‌های احتمالی و همچنین کاهش هزینه‌های تولید استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Azeez, J. O. and W. Van Averbeke. 2011. Effect of manure types and period of incubation on phosphorus-sorption indices of a weathered tropical soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42: 2200-2218.
2. Bahl, G. S. and G. S. Toor. 2002. Influence of poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity-intensity relationships in different soils. *Bioresource Technology* 85: 317-322.
3. Bolster, C. H. and K. R. Sistani. 2009. Sorption of phosphorus from swine dairy and poultry manures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 1106-1123.
4. Bouyoucos, G. J. 1936. Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Journal of Soil Science* 41: 225-228.
5. Cole, C. V., S. R. Olsen and C. O. Scott. 1953. The nature of phosphate sorption by calcium carbonate. *Soil Science Society of America Proceedings* 17: 352 -353.
6. Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Del Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant and Soil* 245: 277-286.
7. Fink, J. R., A. V. Inda, T. Tiecher and V. Barrón. 2016. Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. *Ciência e Agrotecnologia* 40(4): 369-379.
8. Hafiz, N., S. M. Adity, S. F. Mitu and A. Rahman. 2016. Effect of manure types on phosphorus sorption characteristics of an agricultural soil in Bangladesh. *Cogent Food and Agriculture* 2(1): 1-13.
9. Hartikainen, H. 1991. Potential m0bility of accumulated Phosphorus in soil as estimated by the indices of Q/I plots and by extractant. *Soil Science* 152: 204-209.
10. Khorshid, M., A. S. Hosseinpur and Sh. Oustan. 2009. Impacts of sewage sludge on phosphorus sorption characteristics and its availability in some calcareous soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 12(46): 761-802. (In Farsi).
11. Khorshid, M., A. S. Hosseinpur and SH. Oustan. 2010. Influence of poultry manure on sorption characteristics and standard phosphorus requirement in some calcareous soils of Hamadan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 40(2): 139-147. (In Farsi).
12. Kuo, S. 1996. Phosphorus. PP. 869-919. *In:* D. Sparks (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3. 3nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Masayuki, T., A. Kunimoto, K. Taku and K.Masanori. 2010. Effect of organic ligands on phosphate and availability in andisols of eastern Hokkaido, Japan. *Soil Science* 2(32): 56-71.
14. Moradi, N., M. H. Rasouli sadghiani, E. Sepehr and B. Abdollahi. 2012. Effects of Low-molecular Weight Organic Acids on Phosphorus Sorption in Some Calcareous Soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 42(2): 233-239. (In Farsi).
15. Mozaffari, M. and J. T. Sims. 1996. Phosphorus transformations in poultry litter- amended soils of the Atlantic Coastal Plain. *Journal of Environmental Quality* 25: 1357- 1365.
16. Nelson, R. E. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon. Organic carbon and organic matter. PP. 539-579. *In:* A. L. Page, et al. (Eds.) Methods of soil analysis. Part2. 2nd. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanable and L. A. Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction whit Sodium Bicarbonate. Cir. No 939. USDA, US, Government Printing Office, Washington DC.
18. Pierzynski, G. M., R. W. McDowell and J. T. Sims. 2005. Chemistry, cycling and potential moment of inorganic phosphorus in soils. PP. 53-86. *In:* J. T. Sims and Sharpley, (Eds.), Phosphorous: Agriculture and the Environment. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
19. Rayment G. E. and F. R. Higginson. 1992. Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods.

Inkata Press, Melbourne.
20. Samadi, A. 2003. Predicting phosphate fertilizer requirement using sorption isotherms in selected calcareous soils of western Azarbaijan province, Iran. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 34: 2885-2899.
21. Sanyal, S. K. and S. K. De Datta. 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Advances in Soil Science*16:1-120.
22. Sepehr E. and R. Mousvi. 2013. Effect of salicylic acid on phosphorus sorption characteristics in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil and water Research* 44(3): 281-288. (In Farsi).
23. Sepehr E. and R. Zebardast. 2013. Effect of Humic Acid on adsorption behavior of phosphorus in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil* 27(4): 720-731. (In Farsi).
24. Sepehr, E., Z. Rengel, E. Fateh and M. R. Sadaghiani. 2012. Differential capacity of wheat cultivars and white lupin to acquire phosphorus from rock phosphate, phytate and soluble phosphorus sources. *Journal of Plant Nutrition* 35(8): 1180-1191.
25. Siddique, M. T. and J. S. Robinson. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manuresand sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 32: 1114- 1121.
26. Sui, Y. and M. L. Thompson. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a bio-solids amended Mollisol. *Soil Science Society of America Journal* 64: 164-169.
27. Vance, C. P., C. Uhde-Stone and D. L. Allan. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants forsecurig a nonrenewable resource. *New Pytologyst* 157: 423-447.
28. Whalen, J. K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soil receiving cattle manureapplication for 25 years. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23:1011-1026.
29. Yu, W., X. Ding, S. Xue, S. Li, X. Liao and R. Wang. 2013. Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(4): 1003-1017.
30. Zhang, A., L. He, H. Zhao and Z. Wu. 2009. Effect of organic acids on inorganic phosphorus transformation in soil with different phosphorus sources. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* 15(4): 474- 478.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 2, Summer 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

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

J. Bayazzadeh, E. Sepehr* and H. Momtaz[1]

(Received: December 21-2016 ; Accepted: June 17-2018)

Abstract

To study the behaviour of phosphorus (P) sorption in the agricultural soils of Khoy region and the effect of long-term cultural management with the application of poultry manure on the P sorption parameters, bath experiments were carried out with 16 soil samples (8 cultivated and 8 virgin soils) and 9 initial P concentrations from 0 to 30 mg L-1 in 0.01M $CaCl_2$ as a background solution. After equilibrium, the remaining amount of P in solution was measured and the experimental sorption data were fitted to the Langmuir (R^2=0.93-0.99) and Freundlich (R^2=0.87-0.99) models. The results showed that P sorption was increased with enhancing the initial P concentration, eventually reaching the steady-state plateau. Based on the coefficient of determination (R^2) and the standard error of estimate (SE), both isotherms models, Langmuir and Freundlich, showed a relatively good fit to the experimental data. The maximum mono layer sorption of Langmuir (qmax) varied from 233 to 486 and from 340 to540 mg kg^{-1}, and the energy parameter of Langmuir (KL) ranged from 0.12 to 0.50 and from 0.22 to 0.71 for the cultivated and virgin soils, respectively. Freundlich sorption capacity (KF) and intensity (n) parameters showed the same trends and KF varied from 36.4 to 123 and 59.3 to 145.2; also n varied from 1.18 to 1.50 and 1.47 to 1.71 in the cultivated and virgin soils, respectively. Consequently, all sorption parameters and the buffering indices showed a decreasing trend in the cultivated soils, as compared to the corresponding virgin soils and the cultural and fertilization management; especially, the application of the poultry manure in this region reduced phosphorus sorption by soil and then increased phosphorus availability to plants. Hence, less fertilizer would be needed to maintain a favourable P concentration in the soil solution for the optimum plant growth.

Keywords: Adsorption isotherms, Phosphorus, Langmuir, Freundlich, Poultry manure

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
*: Corresponding Author, Email: e.sepehr@urmia.ac.ir