



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴

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

تعیین شاخص‌های بافری و نیاز استاندارد فسفر در چهار ردیف ارضی مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از همدم‌های جذب سطحی (مطالعه موردی: اصفهان و شهرکرد)

اعظم جعفری^۱، حسین شریعتمداری^۲ و *مجید حجازی‌مه‌ریزی^۱

استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۴

چکیده

سابقه و هدف: واکنش‌های فسفر با اجزای مختلف خاک از نقطه نظر تغذیه گیاه و کارایی مصرف کودهای شیمیایی دارای اهمیت است. به دلیل رسوب فسفر با عناصر کلسیم، آلومینیوم و آهن و یا جذب اختصاصی فسفر توسط اجزای خاک از جمله کانی‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم، قابلیت جذب فسفر در خاک در اغلب موارد کم‌تر از حد نیاز گیاه برای تولید بهینه می‌باشد. قابلیت جذب فسفر در خاک توسط واکنش‌های جذب و واجذب کنترل می‌شود. زمانی که مقدار زیادی کود فسفره در خاک استفاده می‌شود ظرفیت جذب فسفر توسط خاک اشباع شده و این امر می‌تواند منجر به افزایش هدررفت فسفر از طریق آبشویی و یا رواناب‌های سطحی گردد. در این مطالعه شاخص‌های بافری فسفر در خاک‌های آهکی موقعیت‌های بالا، میانه و پایین شیب در دو ردیف ارضی مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای انجام این مطالعه، دو ردیف ارضی از مناطق خشک (اصفهان) و نیمه‌خشک (شهرکرد) ایران مرکزی انتخاب شد. نمونه‌برداری مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از موقعیت‌های بالای شیب، میانه شیب و پایین شیب انجام و بعد از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک تعیین شد. به منظور تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری فسفر در خاک، داده‌های جذب سطحی توسط چهار مدل لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و ون‌های برازش داده شد.

یافته‌ها: با افزایش غلظت اولیه فسفر، جذب فسفر توسط خاک‌های مورد مطالعه افزایش یافت و با ایزوترم‌های جذب فروندلیچ و لانگمویر تطابق بیشتری در مقایسه با ایزوترم‌های تمکین و وان‌های نشان داد. بیش‌ترین ضرایب تبیین ($R^2=0.865-0.994$) را در تمام ردیف‌های ارضی مدل فروندلیچ به خود اختصاص داد. حداکثر جذب سطحی فسفر در نمونه‌ها با استفاده از مدل لانگمویر و فروندلیچ تعیین شد که بیش‌ترین مقادیر در موقعیت پایین شیب مشاهده شد. شاخص‌های حداکثر جذب تنها با آلومینیوم ($r=0.73$) و آهن ($r=0.66$) قابل استخراج با دی‌تیونات (Fed و Ald) ارتباط معنی‌داری را نشان دادند. بنابراین، قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌های مورد بررسی تحت تأثیر میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم قرار دارد. موقعیت‌های پایین شیب بیش‌ترین مقادیر شاخص‌های بافری خاک مانند حداکثر ظرفیت

* مسئول مکاتبه: mhejazi@uk.ac.ir

بافری و ظرفیت بافری استاندارد را دارا بودند. از بین خصوصیات خاک تنها Ald همبستگی معنی‌داری را با شاخص‌های بافری خاک نشان داد. همبستگی بالای بین شاخص‌های بافری خاک نشان می‌دهد که از هر یک از شاخص‌های بافری می‌توان در پیش‌بینی قابلیت استفاده فسفر در خاک بهره گرفت.

نتیجه‌گیری: با توجه به بیش‌تر بودن شاخص‌های بافری و نیاز استاندارد فسفر در موقعیت‌های پایین شیب (اراضی کشاورزی)، مدیریت صحیح کودهای فسفوره در این اراضی جهت تولید محصول ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی فسفر، شاخص‌های ظرفیت بافری، موقعیت زمین‌نما، نیاز فسفر

مقدمه

فسفر نقش اساسی در فرایندهای حیاتی گیاه مانند انتقال انرژی، تقسیم سلولی، فرایندهای رشد و تکامل گیاه ایفا کرده و به همین دلیل از این عنصر به‌عنوان دومین عنصر کلیدی تولید محصولات کشاورزی نام برده می‌شود (13). کارایی مصرف پایین فسفر توسط گیاه (کم‌تر از ۲۵ درصد) و جذب فسفر توسط اجزای خاک سبب تجمع بخش عمده‌ای از این عنصر در خاک به‌صورت غیرقابل استفاده برای گیاه می‌شود (10, 33).

جذب و رهاسازی فسفر در خاک از مهم‌ترین فرایندهایی هستند که غلظت فسفر در محلول خاک را کنترل می‌کنند. غلظت فسفر محلول در خاک و قابلیت استفاده آن برای گیاه ارتباط نزدیکی با فرایندهای جذب سطحی فسفر به‌وسیله کانی‌های ۱:۱، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم و مواد آلی دارد (28). تبادل لیگاندی، رسوب و تبادل آنیونی از مهم‌ترین مکانیسم‌های کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک‌ها به‌شمار می‌روند (20). اعتقاد بر این است که در غلظت‌های پایین فسفر، جذب سطحی و در غلظت‌های بالاتر پدیده رسوب عامل اصلی کاهش قابلیت جذب فسفر در خاک می‌باشد (13).

درک بهتر سرنوشت فسفر در خاک‌ها و آگاهی از ظرفیت جذب فسفر در خاک مستلزم بررسی اثرات متقابل فسفر با ذرات خاک می‌باشد که در این ارتباط

استفاده از همدم‌های جذب سطحی می‌تواند اطلاعات مفیدی را ارائه نماید (20). همدم‌های جذب سطحی چگونگی جذب سطحی مواد جذب‌شونده توسط جامدات را در دمای ثابت به شکل واحدهای کمی توصیف می‌کنند. یک همدمای جذب سطحی، مقدار ماده جذب‌شونده (جذب شده توسط جذب‌کننده) را به‌عنوان تابعی از غلظت تعادلی ماده جذب‌شونده نشان می‌دهد (11). تاکنون معادلات مختلفی برای توصیف همدم‌های جذب سطحی فسفر ارائه شده است که در این بین معادلات فروندلیچ، لانگمویر و تمکین از همه معروف‌تر هستند (20). معادله فروندلیچ قدیمی‌ترین معادله‌ای است که در جذب سطحی فسفر مورد استفاده قرار گرفته است. این معادله به‌صورت تجربی به‌دست آمده و بر پایه آن با افزایش میزان جذب، انرژی پیوند به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد (4). معادله لانگمویر اولین بار برای توصیف جذب سطحی گازها بر سطح جامدات پیشنهاد شد و مزیت اصلی آن نسبت به معادله فروندلیچ در تخمین حداکثر جذب است (18). معادله تمکین و ون‌های نیز از معادلاتی است که در توصیف جذب سطحی فسفر در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادله تمکین بر این فرض استوار است که با افزایش جذب، انرژی پیوند به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. در معادله ون‌های، جذب فسفر به‌عنوان تابعی از جذر غلظت تعادلی فسفر در محلول رسم می‌شود.

رس، میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آهن در قسمت‌های مختلف شیب تغییر می‌کند، بنابراین واکنش‌های جذب و رهاسازی فسفر در قسمت‌های مختلف شیب نیز به‌طور معنی‌داری تغییر می‌یابد. مشخص نمودن وضعیت فسفر در این ردیف‌ها اطلاعات مفیدی را در زمینه مدیریت کودهای فسفر در هر کدام از این ردیف‌های ارضی را فراهم می‌سازد. این مطالعه با هدف بررسی ۱- تأثیر شیب بر مطالعه جذب سطحی فسفر در دو ردیف ارضی در منطقه خشک و نیمه‌خشک و ۲- تعیین پتانسیل خاک‌ها در تأمین و ذخیره فسفر با استفاده از شاخص‌های بافری خاک و بررسی روابط بین آن‌ها با خصوصیات خاک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک‌ها: تعداد ۱۲ نمونه خاک شامل خاک زراعی و غیر زراعی در سه تکرار از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در موقعیت‌های بالا، میانه و پایین شیب چهار ردیف ارضی نواحی خشک (جی و زیار) و نیمه‌خشک (فرخ‌شهر و شهرکرد) برداشت و در محل با استفاده از سیستم آمریکایی رده‌بندی شدند (جدول ۱). میانگین حداقل و حداکثر دمای مناطق فرخ‌شهر و شهرکرد بین ۳۲- تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه در منطقه فرخ‌شهر و شهرکرد بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت منطقه جی و زیار بر اساس اطلاعات هواشناسی کشور بین ۱۰/۶- تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و میزان بارش در این مناطق ۱۱۷ میلی‌متر گزارش شده است.

شاخص‌های بافری خاک توانایی خاک را در مقابله با تغییر غلظت فسفر در محلول خاک را نشان می‌دهد. از این شاخص‌ها برای محاسبه باقیمانده مقدار کود مصرفی در محلول خاک و تخمین احتمال پاسخ گیاه به کودها مورد استفاده قرار می‌گیرد (21). استفاده از همدماهای جذب جهت تعیین شاخص‌های بافری فسفر در خاک و بررسی ارتباط آن با اجزای خاک توسط پژوهشگران زیادی صورت گرفته است (34, 20) اما تاکنون مطالعات کمی در زمینه شاخص‌های ظرفیت بافری فسفر خاک و نیاز استاندارد فسفر در ردیف‌های ارضی و ارتباط آن‌ها با اجزای خاک وجود دارد. بیش‌تر مطالعات انجام شده در ردیف‌های ارضی در ارتباط با تشکیل خاک، هدررفت فسفر در اثر فرسایش و رواناب، تغییر شکل و توزیع فسفر می‌باشد (30, 14). اسمک (1985) در بررسی وضعیت فسفر در یک ردیف ارضی مشاهده کرد که مقدار فسفر در پدوون‌های قرار گرفته روی پایه شیب به مراتب بیش‌تر از پدوون‌های زمین‌های بالادست می‌باشد که دلیل آن را هدررفت فسفر از ارضی بالادست ذکر کردند (29). مطالعه شریعتمداری و همکاران (2007) در چهار ردیف‌های ارضی از شهرکرد و اصفهان نشان داد که مقدار اجزای فسفر از بالا به پایین شیب تغییر می‌یابد به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار فسفر کل و فسفات‌های کلسیم در قسمت پایین شیب اندازه‌گیری شد (26). به دلیل تغییر مکان خاک سطحی به قسمت‌های پایینی شیب و همچنین به دلیل وجود رطوبت بیش‌تر در اراضی پایین‌دست ناشی از حرکت رواناب و هوادیدگی شدیدتر خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌ها در قسمت‌های مختلف شیب تغییرات زیادی دارند (27). از آن‌جا که نوع و مقدار

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه.

Table 1. Some physicochemical properties of the studied soils.

شماره خاک	نشانه	رده‌بندی	pH	الکتریکی	آهک	کربن	شن	سیلت	رس	ظرفیت
soil number	Symbol	Soil classification		EC	CCE	OM	Sand	Silt	Clay	CEC
				(dS m ⁻¹)			%			(cmol _c kg ⁻¹)
1	A ₁	Torriorthent	7.6	2.1	35	0.05	47.9	39.3	12.8	6.1
2	A ₂	Calciargid	7.8	3.0	35	0.05	45.1	37.9	17.0	7.7
3	A ₃	Haplocambid	7.9	4.5	35	0.18	35.4	37.3	27.3	24.4
4	B ₁	Torriorthent	7.6	1.7	26	0.07	54.1	32.5	13.4	6.6
5	B ₂	Haplocambid	7.8	5.4	31	0.90	48.0	37.6	14.4	7.8
6	B ₃	Haplocambid	8	5.6	37	3.10	32.1	44.6	23.3	15.2
7	C ₁	Xerorthent	7.4	0.7	28	0.11	44.9	38.6	16.5	7.7
8	C ₂	Calcixerept	7.6	0.9	31	0.22	41.7	39.6	18.7	8.7
9	C ₃	Haploxeralf	7.8	1.4	39	1.54	33.7	35.3	31.0	29.6
10	D ₁	Xerorthent	7.4	0.7	29	0.29	40.5	39.7	19.8	7.0
11	D ₂	Calcixerept	7.6	0.8	31	0.47	45.4	36.5	18.1	8.0
12	D ₃	Haploxeralf	7.8	1.7	39	0.4	30.1	38.1	31.8	40.9

A, B, C, D: به ترتیب جی، زیار، سامان و فرخ شهر.

1, 2, 3: به ترتیب موقعیت‌های بالای شیب، میانه شیب و پایین شیب.

A, B, C, D: Jei, Ziar, Saman and Farokhshar, respectively.

1, 2, 3: Upper-, mid-, and lower slope positions, respectively.

۱۸، ۲۵ و ۳۳ میکروگرم فسفر در لیتر از ترکیب KH_2PO_4 به نمونه‌های سه گرمی خاک در لوله‌های پلی‌اتیلن ۵۰ میلی‌لیتری اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای 25 ± 1 به وسیله تکان‌دهنده الکتریکی به هم زده شدند. این زمان تعادل از مطالعات قبلی انجام شده در این خاک‌ها به دست آمد (27). بعد از سانتریفوژ محلول روئی جدا شد. مقدار فسفر موجود در آن، پس از تنظیم pH به روش مورفی و رایلی (17) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۸۰ نانومتر تعیین شد. تفاوت بین غلظت فسفر در محلول اولیه و نهایی برابر با مقدار فسفر جذب شده در نظر گرفته شد. به منظور تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و رابطه بین پارامترهای کمیّت و شدت از معادلات لانگمویر، فروندلیچ، ون‌های و تمکین استفاده شد (جدول ۲).

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، در معرض هوای آزاد خشک و سپس جهت انجام مراحل آزمایشگاهی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های خاک‌ها شامل درصد رس و سیلت به روش پیپت، pH و EC در سوسپانسیون ۵:۱ خاک به آب (24)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک ۲ نرمال (2)، کربنات کلسیم فعال به روش اگزالات آمونیوم (7) ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم- استات آمونیوم (23)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (32)، مقدار کلسیم و منیزیم محلول و تبدلی و آهن و آلومینیوم محلول در سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات (CBD) (15) تعیین گردیدند. همدماهای جذب فسفر: به منظور بررسی همدماهای جذب فسفر، ۵۰ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار حاوی غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۴، ۷/۵، ۱۲/۵،

جدول ۲- معادلات خطی همدمای جذب فسفر استفاده شده در پژوهش.

Table 2. Linear equations of sorption isotherm used in the study.

پارامترها (Parameters)	معادله خطی (Linear equation)	معادله غیرخطی (Non-linear equation)
A: حداکثر جذب فسفر ($\mu\text{g P g}^{-1}$) K: انرژی جذب ($\text{ml } \mu\text{g}^{-1} \text{ P}$)	$C/X=1/KA+C/A$	لانگمویر (Langmuir)
a, b: ثابت‌های مدل	$\ln X=\ln a+b \ln C$	فروندلیچ (Freundlich)
k ₁ , k ₂ : ثابت‌های مدل	$X=K_1 \ln (K_2 C)$	تمکین (Temkin)
m, n: ثابت‌های مدل	$X=m+n\sqrt{C}$	ون‌های (Van-Hay)

X: مقدار جذب فسفر ($\mu\text{g P g}^{-1}$ soil); C: غلظت تعادلی فسفر ($\mu\text{g P ml}^{-1}$).

X: Sorbed P ($\mu\text{g P g}^{-1}$ soil); C: Equilibrium P concentration ($\mu\text{g P ml}^{-1}$)

نتایج و بحث

تمام مدل‌های استفاده شده در این پژوهش توانستند ارتباط بین فسفر محلول و فسفر جذب سطحی شده را به خوبی توصیف نمایند (جدول ۳). ضرایب تشخیص برآزش داده‌های جذب سطحی توسط مدل لانگمویر به غیر از خاک‌های C₃, C₂, B₂، D₃، D₂ که در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار بودند، در خاک‌های دیگر در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشند که نشان از تناسب مناسب این مدل در برآزش داده‌های جذب فسفر دارد. زو و همکاران (2011) با مطالعه همدمای جذب سطحی در تعدادی از خاک‌های چین به این نتیجه رسیدند که معادله لانگمویر به خوبی قادر به توصیف داده‌های جذب سطحی فسفر می‌باشد (35).

در بین معادلات، ضریب تشخیص برآزش برای معادله تمکین کم‌ترین مقدار بود و به غیر از خاک C₂، که در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار بود، در بقیه خاک‌ها در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. بررسی ضرایب تشخیص در مدل ون‌های نشان داد که سه خاک شامل (C₂, C₁, A₃) دارای بیش‌ترین مقادیر بودند. مقایسه ضرایب تشخیص معادله فروندلیچ با

شاخص‌های بافری شامل ضریب K، ظرفیت بافری حداکثر^۱ و ظرفیت بافری استاندارد^۲ با استفاده از معادله لانگمویر تعیین شد. ظرفیت بافری حداکثر، شیب حداکثر معادله لانگمویر بوده که از لحاظ عددی حاصلضرب دو ثابت A و K معادله لانگمویر می‌باشد (6). ظرفیت بافری استاندارد نیز شیب این معادله در غلظت ۰/۳ میکروگرم فسفر بر میلی‌لیتر می‌باشد (28). ظرفیت بافری تعادلی^۳ شیب معادله فروندلیچ بوده و از نظر عددی برابر با حاصلضرب دو شاخص a, b این معادله است (12). شیب خط شکل خطی معادله تمکین نیز به‌عنوان شاخص ظرفیت بافری فسفر^۴ اندازه‌گیری شد (3). شاخص نیاز استاندارد فسفر^۵ مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله خاک در غلظت ۰/۳ میکروگرم فسفر بر میلی‌لیتر از همدمای ون‌های استخراج شد (19). K₁ معادله تمکین و n معادله ون‌های نیز به‌عنوان شاخص‌های بافری خاک تعیین شد (8). در نهایت همبستگی شاخص‌های بافری و ویژگی‌های خاک بر اساس آزمون پیرسون توسط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت.

- 1- Maximum Buffering Capacity (MBC)
- 2- Standard Buffering Capacity (SBC)
- 3- Equilibrium Buffering Capacity (EBC)
- 4- Phosphorus Buffering Capacity (PBC)
- 5- Standard Phosphorus Requirement (SPR)

یافت. ثابت A معادله لانگمویر تنها با آلومینیوم قابل عصاره‌گیری با دی‌تیونات ($0/73^*$) و ثابت a معادله فروندلیچ تنها با آهن قابل عصاره‌گیری با دی‌تیونات ($0/66^*$) همبستگی معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۴). از آن‌جا که دی‌تیونات آهن و آلومینیوم را از اکسیدهای آهن و آلومینیوم غیرکریستالی استخراج می‌کند، اکسیدهای آمورف آهن و آلومینیوم نقش مؤثری در جذب فسفر و کاهش قابلیت استفاده آن در خاک‌های مورد مطالعه دارد. آنجیونونی و همکاران (1996) نشان دادند که از بین تمام خصوصیات شیمیایی خاک، تنها اکسیدهای آهن آزاد با ثابت A معادله لانگمویر ارتباط معنی‌داری را داراست (3). نتایج بورلینگ و همکاران (2001) نیز نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین آهن و آلومینیوم قابل استخراج با دی‌تیونات، قابل استخراج با پیروفسفات و قابل استخراج با اگزالات با پارامتر a معادله فروندلیچ وجود دارد (6). در مقابل شیروانی و شریعتمداری (2002) در مطالعه همدماهای جذب سطحی فسفر در خاک‌های آهکی اصفهان نتیجه گرفتند پارامترهای A معادله لانگمویر و a فروندلیچ با درصد رس، کربنات کلسیم معادل و CEC خاک همبستگی معنی‌داری داشتند (28). استفاده از روش رگرسیون مرحله به مرحله بین خصوصیات خاک و ثابت‌های معادلات نشان داد در مورد ثابت A لانگمویر، Fed و ضریب a فروندلیچ، به‌عنوان تنها خصوصیات از خاک که وارد مدل شدند، به‌ترتیب $73/2$ درصد از تغییرات در ثابت A لانگمویر و $67/4$ درصد از تغییرات ضریب a فروندلیچ را توجیه کردند. ویژگی‌های دیگر خاک در این رگرسیون افزایش معنی‌داری در ضرایب تشخیص ایجاد نکرد و وارد مدل‌های مربوط نشدند.

سایر معادلات نشان داد که این معادله به شکل بهتری توانست داده‌های جذب سطحی را توصیف کند به‌طوری‌که ضرایب تشخیص معادله فروندلیچ در سطح $0/001$ معنی‌دار شد و تنها در سه خاک A_3 ، C_2 و C_3 ضریب تشخیص کم‌تری نسبت به سایر معادلات داشت. بر همین اساس رابطه فسفر تعادلی و فسفر جذب‌شده به‌صورت نمایی در فرم غیرخطی معادله فروندلیچ در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج بورلینگ و همکاران (2001) نشان داد که داده‌های جذب سطحی تعدادی از خاک‌های اراضی کشاورزی سوئد با هر دو معادله لانگمویر و فروندلیچ قابل توصیف بود و تفاوتی بین این دو معادله از نظر ضریب تشخیص مشاهده نشد (6). جلالی (2007)، زو و لی (2001) نیز موفقیت معادله فروندلیچ در برازش داده‌های جذب فسفر را گزارش نمودند (35، 9). به‌نظر می‌رسد تغییر لگاریتمی داده‌ها برای ایجاد فرم خطی این معادله سبب کاهش حساسیت این معادله و برازش بهتر داده‌های جذب سطحی شده است (16).

ثابت A معادله لانگمویر که بیانگر حداکثر جذب سطحی است به همراه ثابت a معادله فروندلیچ، که میزان جذب فسفر در غلظت تعادلی یک میکروگرم بر میلی‌لیتر را نشان می‌دهد، به‌عنوان شاخص‌های کمیت جذب فسفر شناخته شده‌اند (28). مقدار ثابت A معادله لانگمویر در چهار ردیف ارضی از $294/1$ تا 500 میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود و بیش‌ترین مقادیر این ثابت در موقعیت‌های پایین‌دست مشاهده شد (جدول ۳). در هر چهار ردیف ارضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ثابت a معادله فروندلیچ از موقعیت بالای شیب به‌سمت پایین شیب افزایش

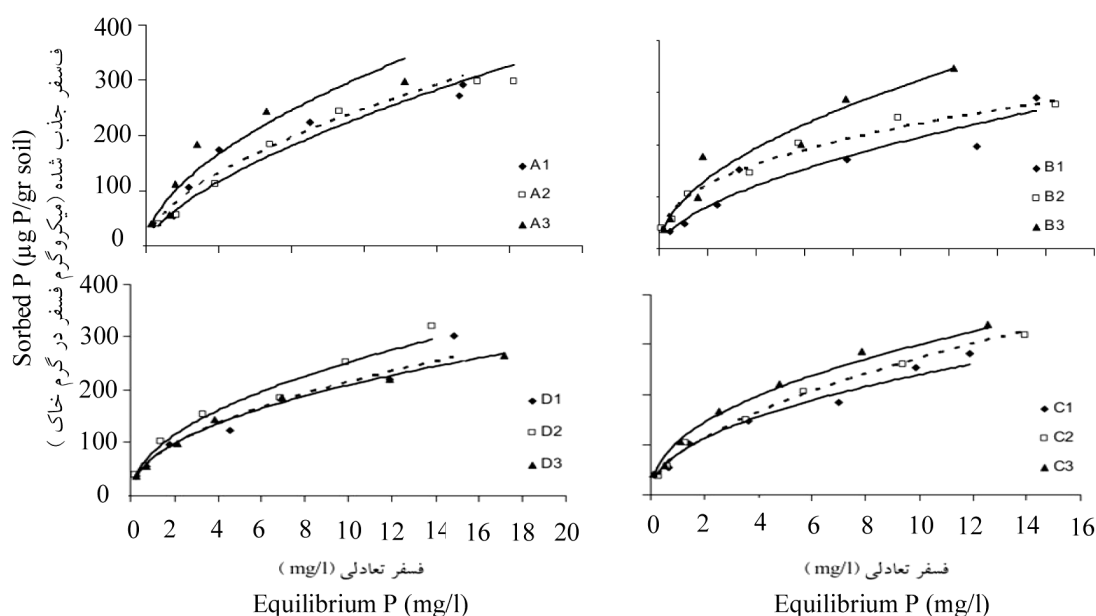
جدول ۳- پارامترها و ضرایب تشخیص معادلات برازش شده توسط ایزوترم‌های مختلف در داده‌های جذب فسفر.

Table 3. Parameters and determination coefficients (R^2) by fitting the different isotherms to P sorption data.

وندهای (Van-Hay)		تمکین (Temkin)			فروندلیچ (Freundlich)			لانگمویر (Langmuir)			خاک	
R^2	n	m	R^2	K_2	K_1	R^2	b	a	R^2	K	A	(Soil)
0.90***	124.4	-28.2	0.84**	4.0	8.87	0.94**	0.59	96.0	0.81**	0.24	476.2	A ₁
0.90**	149.9	-22.3	0.83**	6.0	89.7	0.92**	0.56	124.5	0.80**	0.34	500.0	A ₂
0.89**	287.2	-137.6	0.72*	4.4	128.2	0.87***	0.58	214.6	0.88**	0.49	476.2	A ₃
0.91***	69	-9.9	0.88**	2.6	64.1	0.95***	0.54	59.6	0.87**	0.18	333.3	B ₁
0.97***	22.5	67.8	0.90**	11.9	47.9	0.97***	0.41	93.6	0.97***	0.34	303.1	B ₂
0.95***	98.5	-1.2	0.89**	5.7	71.0	0.96***	0.50	97.4	0.89***	0.42	400.0	B ₃
0.82**	99.9	-22.2	0.70**	5.3	66.4	0.93***	0.67	65.0	0.73**	0.27	370.4	C ₁
0.99***	87.2	-7.3	0.94**	4.1	69.7	0.99***	0.52	80.5	0.96***	0.25	384.6	C ₂
0.99***	97.1	4.7	0.87**	9.7	60.9	0.97***	0.48	102.4	0.95***	0.36	400.0	C ₃
0.96***	72.7	-7.7	0.85**	4.2	58.1	0.98***	0.57	60.6	0.86**	0.22	333.3	D ₁
0.98***	81.8	-1.9	0.89**	5.5	61.2	0.98***	0.52	77.4	0.91***	0.29	357.2	D ₂
0.99***	62.5	-9.6	0.94***	5.2	52.7	0.99***	0.45	81.1	0.97***	0.29	294.1	D ₃

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در $P < 0.001$ و $P < 0.01$.

*** significant at $P < 0.001$, ** significant at $P < 0.01$.



شکل ۱- برازش داده‌های جذب با معادله غیرخطی فروندلیچ در دو ردیف ارضی منطقه خشک (A: شهرک صنعتی و B: زیار) و دو ردیف ارضی منطقه نیمه‌خشک (C: شهرکرد و D: فرخ‌شهر).

Figure 1. Fitting of sorption data with nonlinear Freundlich equation in two toposequences of arid (A: Industrial town and B: Ziar) and semiarid (C: Shaherkord and D: Farrokhshahr) areas.

جدول ۴- ضرایب همبستگی خطی بین شاخص‌های کمیت جذب با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک.

Table 4. Linear correlation coefficients between the quantity sorption indices and some soil physicochemical properties.

ثابت a فروندلیچ (a Freundlich)	ثابت A لانگمویر (A Langmuir)	ویژگی خاک (Soil properties)
0.18 ^{ns}	0.19 ^{ns}	کربن آلی (Organic Carbon)
0.52 ^{ns}	0.52 ^{ns}	کربنات کلسیم معادل (CaCO ₃ Equivalents)
0.15 ^{ns}	0.36 ^{ns}	کربنات کلسیم فعال (Active CaCO ₃)
0.46 ^{ns}	0.73*	آلومینیوم قابل عصاره‌گیری با دی‌تیونات (di-thionate extractable Al)
0.66*	0.43 ^{ns}	آهن قابل عصاره‌گیری با دی‌تیونات (di-thionate extractable Fe)
0.29 ^{ns}	0.45 ^{ns}	رس (Clay)

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری.

* significant at P<0.05, ^{ns} non-significant.

است (22). ظرفیت بافیری فسفر به پایداری فسفر در برابر تغییرات غلظت فسفر محلول تعریف می‌شود که برای بیان آن از تعدادی شاخص‌های ظرفیت بافیری خاک استفاده می‌شود (6). برای تعیین شاخص‌های

ظرفیت بافیری خاک یکی از عوامل مهم در کنترل جذب فسفر توسط گیاه به‌شمار می‌رود و به تعدادی از اجزای خاک مانند کربنات کلسیم، کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم وابسته

خاک، تنها آلومینیوم قابل استخراج با دی تیونات همبستگی مثبت و معنی داری با شاخص های K و MBC نشان داد. این نتایج نشان می دهد که در خاک های مورد مطالعه اکسیدهای غیر کریستالی آهن و آلومینیوم نقش اساسی در جذب سطحی فسفر خاک دارند (جدول ۶). بورلینگ و همکاران (2001) نیز در مطالعات خود به همبستگی بالای MBC با آهن و آلومینیوم قابل استخراج با دی تیونات اشاره کرده اند (6). همچنین همبستگی بالا و معنی داری بین هر دو شاخص معادله لانگمویر با سایر شاخص های بافری خاک مشاهده شد (جدول ۷).

بافری خاک از همدماهای جذب سطحی بهره گرفته می شود (22, 12). ثابت K و شاخص MBC (استخراج شده از معادله لانگمویر) به ترتیب از ۰/۱۸ تا ۰/۴۹ و ۵۹/۵۲ تا ۲۳۲/۵۶۹ اندازه گیری شد (جدول ۵). در تمام ردیف های ارضی از موقعیت بالای شیب به موقعیت پایین شیب، این دو شاخص افزایش یافت به طوری که بیشترین مقادیر شاخص K و MBC در موقعیت پایین شیب مشاهده شد. به نظر می رسد که بالاتر بودن مقادیر رس، ماده آلی، آهن و آلومینیوم و CEC در قسمت های پایین شیب سبب افزایش شاخص های بافری خاک شده است هر چند از بین خصوصیات اندازه گیری شده

جدول ۵- برخی شاخص های بافری و نیاز استاندارد فسفر (SPR) در چهار ردیف ارضی.

Table 5. Some P buffering indices and standard P requirement in four toposequences.

SPR(mg P Kg ⁻¹ soil)	EBC(ml P g ⁻¹ soil)	SBC(ml P g ⁻¹ soil)	MBC(ml P g ⁻¹ soil)	خاک (Soil)
42.8	55.5	101.0	116.3	A ₁
116.1	68.6	139.7	169.5	A ₂
132.1	106.1	176.9	232.6	A ₃
27.3	31.4	53.6	59.5	B ₁
93.5	37.2	104.1	133.3	B ₂
93.8	49.0	105.6	126.6	B ₃
45.2	42.4	84.9	99.0	C ₁
77.4	42.3	84.0	98.0	C ₂
104.9	47.7	117.9	144.9	C ₃
37.5	34.0	69.6	74.6	D ₁
45.5	40.0	86.6	102.0	D ₂
48.5	50.3	94.4	107.0	D ₃

A, B, C, D: به ترتیب جی، زیار، سامان و فرخ شهر.

1, 2 و 3: به ترتیب موقعیت های بالای شیب، میانه شیب و پایین شیب.

A, B, C, D: Jei, Ziar, Saman and Farokhshar, respectively.

1, 2, 3: Upper-, mid-, and lower slope positions, respectively.

نیمه خشک بیشترین مقادیر شاخص EBC در موقعیت پایین شیب و کمترین مقدار در موقعیت بالای شیب اندازه گیری شد (جدول ۵). به نظر می رسد

مقدار شاخص ظرفیت بافری تعادلی (EBC) در ردیف های ارضی از ۳۱/۴۲ تا ۱۰۶/۱۴ میلی لیتر فسفر بر گرم خاک متغیر بود. در هر دو منطقه خشک و

(1989) بیان داشت که جذب فسفر توسط کانی‌های کائولینایت و اسمکتایت نسبت به کانی‌های ورمی‌کولایت و میکا به دلیل مکان‌های جذب بیشتر به میزان بیش‌تری صورت می‌پذیرد (31).

شاخص ظرفیت بافری استاندارد (SBC) یکی دیگر از شاخص‌هایی است که برای بیان ظرفیت بافری فسفر خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص که مقدار آن در ردیف‌های ارضی از ۵۳/۶۲ تا ۱۷۶/۹۲ تغییر کرد تنها با آلومینیوم قابل استخراج با دی‌تیونات همبستگی معنی‌داری داشت. در بین شاخص‌های ظرفیت بافری، این شاخص بیش‌ترین همبستگی ($r=0.99^{**}$) را با شاخص MBC نشان داد. این نتایج نشان می‌دهد که هر دو معادله لانگمویر و فروندلیچ به یک نسبت قادر به تعیین وضعیت بافری فسفر در خاک می‌باشند (جدول ۷). همبستگی معنی‌دار بین دو شاخص SBC و MBC در مطالعات سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (3, 6).

بالتر بودن درصد رس، کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی سبب افزایش جذب سطحی فسفر و افزایش این شاخص بافری در خاک‌های قرار گرفته در موقعیت پایین شیب شده باشد. صمدی (2006) گزارش کرد که سطح اولیه فسفر در خاک می‌تواند بر شاخص‌های بافری تأثیرگذار باشد (25). به دلیل هدررفت فسفر از موقعیت بالای شیب و همچنین کاربری کشاورزی و مصرف کود شیمیایی فسفره در اراضی موقعیت پایین شیب، بخشی از بالا بودن شاخص EBC ناشی از بالاتر بودن سطح اولیه فسفر در این اراضی می‌باشد. اگرچه این شاخص همبستگی مثبت و معنی‌داری با سایر شاخص‌های بافری خاک داشت اما هیچ ارتباط معنی‌داری را با خصوصیات خاک نشان نداد (جدول‌های ۶ و ۷). این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً خصوصیات دیگری از خاک مانند مواد آمورف دسیلیکاته، مقدار اولیه فسفر و یا نوع رس بر این شاخص بافری مؤثر باشند. اسپارکس

جدول ۶- ضرایب همبستگی میان شاخص‌های بافری خاک‌های مورد مطالعه.

Table 6. Correlation coefficients among buffering indices of the studied soils.

SPR	K ₁	n	EBC	SBC	MBC	K	شاخص بافری (Buffering Index)
0.84**	0.42**	0.53**	0.66*	0.83**	0.87**	-	K
0.90**	0.77**	0.78**	0.92**	0.99**	-	-	MBC
0.89**	0.79**	0.79**	0.93**	-	-	-	SBC
0.73**	0.95**	0.88**	-	-	-	-	EBC
0.52 ^{ns}	0.85**	-	-	-	-	-	n
0.54 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	K ₁
-	-	-	-	-	-	-	SPR

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} غیر معنی‌دار.

** significant at P<0.01, * significant at P<0.05, ^{ns} non-significant

مقایسه شاخص‌های بافری فسفر (EBC، SBC، MBC) در خاک‌های ردیف ارضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داد که بیش‌ترین مقادیر این شاخص‌ها در موقعیت پایین ردیف ارضی شهرک صنعتی (A₃) و کم‌ترین مقادیر در موقعیت بالای ردیف ارضی زیار (B₁) اندازه‌گیری شد. موقعیت بالای ردیف ارضی زیار در مقایسه با سایر ردیف‌های ارضی از درصد رس، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم کم‌تری برخوردار بوده و به همین دلیل سبب کاهش جذب سطحی فسفر و شاخص‌های بافری فسفر شده است.

شاخص K1 (شیب معادله تمکین) و ضریب n (شیب معادله ون‌های) نیز که به‌عنوان ظرفیت بافری خاک شناخته است هیچ ارتباط معنی‌داری با خصوصیات خاک نشان نداد. شاخص K1 با تمام شاخص‌های بافری خاک به غیر از شاخص K معادله لانگمویر ارتباط معنی‌داری را نشان داد و بیش‌ترین ضریب همبستگی ($r=0.95^{**}$) بین این شاخص و شاخص EBC مشاهده شد. شاخص n نیز با سایر شاخص‌های بافری خاک ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۷).

جدول ۷- همبستگی شاخص‌های بافری فسفر و نیاز استاندارد فسفر با برخی خصوصیات خاک.

Table 7. Correlation of buffering indices and standard requirement of phosphorus with some soil properties.

رس (Clay)	آهن قابل استخراج با دی‌تیونات (di-thionate extractable Fe)	آلومینیوم قابل استخراج با دی‌تیونات (di-thionate extractable Al)	آهک معادل (Equivalent) (CaCO ₃)	آهک فعال (Active) (CaCO ₃)	کربن آلی (Organic) (Carbon)	
0.32 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.76 ^{**}	0.48 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.13 ^{ns}	MBC
0.30 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.65 ^{**}	0.41 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.11 ^{ns}	SBC
0.23 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.00	0.16 ^{ns}	EBC
0.35 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.36 ^{ns}	SPR
0.24 ^{ns}	0.53 ^{ns}	0.68 ^{**}	0.42 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.32 ^{ns}	K
0.08 ^{ns}	0.57 ^{ns}	0.39 ^{ns}	0.20 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.35 ^{ns}	K1
0.26 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.34 ^{ns}	n

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار.

** significant at $P<0.01$, * significant at $P<0.05$, ^{ns} non-significant.

حداکثر رشد گیاه در نظر گرفتند (5, 8, 16, 28). در این مطالعه نیز غلظت ۰/۳ به‌عنوان شدت مناسب فسفر انتخاب و محاسبه نیاز استاندارد فسفر (SPR) با استفاده از معادله ون‌های صورت گرفت. نیاز استاندارد فسفر مقدار فسفری است که باید خاک جذب کند تا غلظت ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر در محلول ایجاد شود. خاک‌های با SPR زیاد خاک‌هایی هستند که توانایی زیادی در جذب سطحی فسفر داشته و

غلظت فسفر مورد نیاز برای حداکثر رشد گیاه در محلول خاک برای گونه‌های مختلف گیاهی متفاوت است و در منابع مختلف اعداد متفاوتی برای آن ذکر شده است. بکویت (1964) و فاکس و کامپرات (1970) غلظت ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر، مهدی و همکاران (1990) غلظت ۰/۳۱ و ۰/۴۵ میلی‌گرم بر لیتر و شیروانی و شریعتمداری (2002) غلظت ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر را به‌عنوان غلظت مناسب فسفر برای

ضرایب همبستگی مربوط به معادله فروندلیچ و کم‌ترین مربوط به معادله تمکین بود. با توجه به این نتایج معادله فروندلیچ به‌عنوان بهترین معادله برازش‌دهنده داده‌های جذب سطحی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه شناخته شد. شاخص‌های بافری فسفر خاک در ردیف‌های ارضی مناطق نیمه‌خشک بیش‌تر از مناطق خشک بود که می‌تواند ناشی از بالاتر بودن مقادیر اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک‌های این مناطق باشد به‌طوری‌که همبستگی معنی‌داری بین آهن و آلومینیوم قابل استخراج با دی‌تیونات و شاخص‌های بافری فسفر مشاهده شد. به‌دلیل همبستگی بالای شاخص‌های بافری مانند MBC، SBC و K با آهن و آلومینیوم قابل استخراج با دی‌تیونات، اکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک‌های مورد مطالعه نقش مهمی در جذب سطحی فسفر، افزایش ظرفیت بافری خاک و کاهش قابلیت جذب فسفر داشته باشند. بر اساس نتایج این مطالعه مدیریت صحیح مصرف کودهای فسفوره در جهت افزایش عملکرد در اراضی کشاورزی، به‌ویژه مناطق نیمه‌خشک، امری ضروری است. در هر دو منطقه بیش‌ترین شاخص‌های بافری در موقعیت‌های پایین شیب اندازه‌گیری شد که دلیل این امر را می‌توان به جذب سطحی بیش‌تر فسفر خاک‌های موقعیت پایین شیب نسبت داد. همچنین با توجه به کاربری کشاورزی در موقعیت پایین شیب در هر چهار ردیف ارضی، کاربرد هم‌زمان کودهای آلی و شیمیایی جهت کاهش جذب سطحی و افزایش رهاسازی فسفر در این اراضی توصیه می‌شود.

حداکثر شاخص‌های بافری را نیز دارا هستند (1). مقدار SPR در ردیف‌های ارضی از ۴۵/۲۱ تا ۱۳۲/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک متغیر بود. بررسی SPR در طول شیب نشان داد که از موقعیت بالای شیب به موقعیت پایین شیب شاخص SPR افزایش یافت و در هر چهار ردیف ارضی، بیش‌ترین مقادیر در موقعیت پایین شیب اندازه‌گیری شد. نتایج برخی از پژوهشگران نشان داده که این شاخص علاوه بر این که تحت تأثیر رس، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات کلسیم قرار دارد، به‌طور مشخص تحت تأثیر ظرفیت بافری فسفر خاک نیز قرار می‌گیرد (28, 8). در این مطالعه شاخص SPR با هیچ‌یک از خصوصیات خاک ارتباط معنی‌داری را نشان نداد اما شاخص‌های بافری همبستگی مثبت و معنی‌داری با SPR داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شاخص‌های بافری خاک، نیاز استاندارد فسفر نیز افزایش می‌یابد و به همین دلیل برای تأمین فسفر مورد نیاز برای حداکثر رشد گیاه نیاز به مصرف کود بیش‌تری است. عدم ارتباط نیاز استاندارد فسفر با خصوصیات خاک نشان می‌دهد که احتمالاً خصوصیات دیگری از خاک‌های مورد مطالعه که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند، بر این شاخص تأثیرگذار بوده است.

نتیجه‌گیری

همدماهای جذب اطلاعات مفیدی در ارتباط با توانایی خاک‌ها در جذب فسفر و عوامل مؤثر بر آن و شاخص‌های بافری ارائه می‌کند. تمامی معادلات توانستند جذب سطحی فسفر را در هر چهار ردیف ارضی به خوبی توصیف نمایند که بیش‌ترین

منابع

1. Agbenin, J.O., and Tiessen, H. 1994. The effects of soil properties on the differential phosphate sorption by semiarid soils from northeast Brazil. *Soil Sci.* 157: 36-45.
2. Allison, L.E., and Modie, C.D. 1965. Carbonates, P 1379-1396. In: Black (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, Am. Soc. Gron. Madison, WI.
3. Anghionni, I., Baligar, V.C., and Wright, R.J. 1996. Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of Appalachian acidic soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 2033-2048.
4. Barrow, N.J. 1989. Modeling the effects of pH on phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.* 35: 751-758.
5. Beckwith, R.S. 1964. Sorbed phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of phosphate needs to soils. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 5: 52-58.
6. Borling, K., Ottabong, E., and Barberis, E. 2001. Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 59: 39-46.
7. Drouinean, G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol; nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Ann. Agron.* 12: 441-450.
8. Fox, R.L., and Kamprath, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 402-407.
9. Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. *Environ. Geol.* 53: 365-374.
10. Jiao, Y., Whalen, J.K., and Hendershot, W.H. 2007. Phosphate sorption and release in a sandy-loam soil as influenced by fertilizer sources. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71: 118-124.
11. Kang, J., Hesterberg, D., and Osmond, D.L. 2009. Soil organic matter effects on phosphorus sorption: A path analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 360-366.
12. Litaor, M.I., Reichmann, O., Haim, A., Auerswald, K., and Shenker, M. 2005. Sorption characteristics of phosphorus in peat soils of semiarid altered wetland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1658-1665.
13. Mahmoud Soltani, S.H., Davatgar, N., Kavooosi, M., and Darighgoftar, F. 2011. Phosphorous fractionation of paddy fields and their relations with physical and chemical properties of soils (Case study: Some-e-Sara city, Guilan province). *J. Water Soil Cons.* 18: 159-176. (In Persian)
14. Malo, D.D., Cassel, B.K., and Matzdorf, K.D. 1974. Soil landscape relationships in a closed drainage system. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38: 813-817.
15. Mckeague, J.A., Brydon, J.E., and Miles, N.M. 1971. Differentiation of forms extractable iron and aluminum in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 33-38.
16. Mehadi, A.A., Taylor, R.W., and Shuford, J.W. 1990. Prediction of fertilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. *Plant Soil.* 122: 267-270.
17. Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
18. Olsen, S.R., and Watanabe, F.S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21: 144-149.
19. Ozanne, P.G., and Shaw, T.C. 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. *Int. Cong. Soil Sci. Trans.* 2: 273-280.
20. Penn, C.J., and Warren, J.G. 2009. Investigating phosphorus sorption onto Kaolinite using isothermal titration calorimetry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 560-568.
21. Polyzopoulos, N.A., Ceramidas, V.Z., and Kiosse, H. 1985. Phosphate sorption by some Alfisols of Greece as described by commonly used isotherms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 81-84.
22. Reddy, D.D., Rao, S.A., and Singh, M. 2005. Changes in P fractions and sorption in an alfisol following crop residues application. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 241-247.

23. Rhoads, J.W. 1986. Cation exchange capacity, P 149-158. In: Page, A.C. (Ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, Am. Soc. Agron.
24. Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Group, Harlow. 345p.
25. Samadi, A. 2006. Phosphorus sorption characteristics in relation to soil properties in some calcareous soils of Western Azerbaijan Province. *J. Agric. Sci. Technol.* 8: 251-264.
26. Shariatmadari, H., Shirvani, M., and Dehghan, R.A. 2007. Availability of organic and inorganic phosphorus fractions to wheat in toposequences of calcareous soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2601-2617.
27. Shariatmadari, H., Shirvani, M., and Jafari, A. 2006. Phosphorus release kinetics and availability in calcareous soils of selected arid and semiarid toposequences. *Geoderma.* 132: 261-272.
28. Shirvani, M., and Shariatmadari, H. 2002. Application of Sorption Isotherms for Determining the Phosphorus Buffering Indices and the Standard P Requirement of Some Calcareous Soils in Isfahan. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. (Water and Soil Science)*. 6: 121-129. (In Persian)
29. Smeck, A.E. 1985. Phosphorus dynamics in soil and landscape. *Geoderma.* 58: 185-189.
30. Smeck, N.E. 1973. Phosphorus: An indicator of pedogenic weathering process. *Soil Sci.* 115: 199-206.
31. Sparks, D.L. 1989. *Kinetics of soil chemical processes*. Academic press, San Diego, CA.
32. Walkey, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Sci.* 79: 459-465.
33. Zhang, T.Q., MacKenzie, A.F., Liang, B.C., and Drury, C.F. 2004. Soil test phosphorus and phosphorus fractions with long-term phosphorus addition and depletion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 519-528.
34. Zhou, M., and Li, Y. 2001. Phosphorus-sorption characteristics of calcareous soils and limestone from the southern everglades and adjacent farmlands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1404-1412.
35. Zou, P., Fu, J., and Cao, Z. 2011. Chronosequence of paddy soils and phosphorus sorption-desorption properties. *J. Soils. Sed.* 11: 249-259.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Determination of phosphorus buffering capacity and standard phosphorus requirement in four toposequence from arid and semi-arid regions using sorption isotherms (A case study: Isfahan and Shahre-Kord)

A. Jafari¹, H. Shariatmadari² and *M. Hejazi Mehrizi¹

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman,

²Professor, Dept. Soil Science and Engineering, Isfahan University of Technology

Received: 12/01/2013; Accepted: 08/26/2014

Abstract

Background and Objectives: Phosphate reactions with soil components are important from the viewpoint of plant nutrition and P fertilizer use efficiency. The plant availability of P in soils is often below that of required for optimum crop production due to either precipitation of P with Ca, Fe and Al, or to specific adsorption of P by metal hydrous oxides. The availability of the applied P is controlled by sorption/desorption characteristics of the soil. If large amounts of P are accumulated in soil, the capacity of the soil to sorb additional P can be saturated, which may lead to an increased risk for P losses through leaching and surface runoff. In the present study Phosphorus buffering capacity in calcareous soils at upper-, mid- and lower-slope positions of two arid and two semiarid landscapes were investigated.

Materials and Methods: Two toposequences in arid region (Isfahan) and two in semiarid region (Shahre-Kord) of central Iran were selected for this study. Composite samples of the topsoil (0-30 cm) were taken at the upper-, mid- and lower-slope positions at each site. Soil samples were air dried, sieved (2 mm) and some chemical and physical characteristics of samples were determined. Phosphorus buffering indices of twelve soils was determined using a batch experiment and Langmuir, Freundlich, Temkin and Van Hay isotherms.

Results: Sorption of P by all studied soils increased with the initial P concentration and better accorded with the Langmuir and Freundlich sorption isotherms than Temkin and Van-Hay. The best fit is found to be with the Freundlich isotherm for all landscapes in terms of the coefficient of determination ($R^2=0.865-0.994$) and the standard error of estimate. Maximum P sorption (derived from Langmuir and Freundlich) were found at lower-slope position of four landscapes. Among the physico-chemical properties of soils, di-thionate extractable Al (Ald) and Fe (Fed) were positively correlated with maximum P sorption showing that P availability in these soils was affected by Fe and Al oxides. Buffering capacity indices such as maximum buffering capacity, standard buffering capacity and K at lower-slope position were higher than other position. All P buffering indices in landscapes showed a positive correlation with Ald. High correlation coefficients between P buffering indices let us to use any buffering indices for prediction of P availability in soils.

Conclusion: For maximum production, appropriate P management is needed at lower- slope position (agricultural lands) on the basis of higher P buffering indices and standard P requirement.

Keywords: P Sorption, Buffering capacity indices, Landscape, P requirement

* Corresponding Author; Email: mhejazi@uk.ac.ir

