

مطالعه جذب و واجذب فسفر در لایه های سطحی و زیرسطحی خاک برخی از تاکستان‌های شهرستان ملایر

محبوبه ضرابی¹، فاطمه بگونند، شهریار مهدوی و زهرا کلاه‌چی

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ملایر؛ zarrabi7@gmail.com

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه ملایر؛ f.bagvand@gmail.com

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ملایر؛ sh.mahdavi@malayeru.ac.ir

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ zkolahchi@yahoo.com

دریافت: 95/4/27 و پذیرش: 95/12/2

چکیده

فراهمی فسفر در خاک‌ها تحت تأثیر ویژگی‌های جذب فسفر می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی پارامترهای هم‌دمای جذب سطحی، نیاز استاندارد (SPR)، ظرفیت بافری (PBC)، واجذب و شاخص پسماند فسفر (PHI) در خاک‌های سطحی و زیرسطحی بود. مطالعات هم‌دمای جذب و واجذب فسفر، در 10 خاک سطحی (30-0 سانتی‌متر) و زیرسطحی (60-30 سانتی‌متر) از تاکستان‌های شهرستان ملایر انجام شد. مطالعات هم‌دمای جذب سطحی، با سری‌های غلظت فسفر از صفر تا 200 میلی‌گرم در لیتر، در حضور کلرید کلسیم 0/01 مولار انجام شد. برای مطالعه واجذب فسفر، از محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار استفاده شد. ویژگی‌های جذب فسفر در خاک‌ها به کمک معادلات هم‌دمای جذب تعیین شدند. میانگین غلظت فسفر اولسن در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب، 24/3 و 19/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. در خاک‌های سطحی و زیر سطحی، غلظت فسفر اولسن بالاتر از حد مطلوب فسفر، برای محصولات باغی (7 تا 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد. معادلات فروندلیچ، ون‌های و تمکین بخوبی توانستند جذب سطحی فسفر را توصیف نمایند. میانگین نیاز استاندارد فسفر محاسبه شده از معادله فروندلیچ در غلظت 0/3 میلی‌گرم بر لیتر، در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب 18/7 و 19/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین ظرفیت بافری فسفر حاصل از معادله ون‌های، به ترتیب 89/2 و 103/5 لیتر بر کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین شاخص پسماند فسفر در خاک‌های سطحی (1/7) بیشتر از خاک‌های زیرسطحی (1/6) بود. بین SPR با مقدار فسفر اولسن در خاک‌های سطحی ($p \leq 0/01$) و زیرسطحی ($p \leq 0/05$) همبستگی معنادار و منفی به‌دست آمد. PBC در خاک‌های سطحی با مقدار رس ($p \leq 0/01$) و درصد کربنات کلسیم ($p \leq 0/05$) نیز همبستگی معنادار مثبت داشت. با توجه به بالا بودن غلظت فسفر محلول در هر دو عمق احتمال ایجاد اختلال در جذب سایر عناصر غذایی وجود دارد. مدیریت مصرف کودهای فسفوری بر اساس پارامترهای به‌دست آمده از مطالعات هم‌دمای جذب در این خاک‌ها ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هم‌دمای جذب فسفر، ظرفیت بافری، نیاز استاندارد، پس‌ماند

¹ نویسنده مسئول، آدرس: ملایر - دانشگاه ملایر - دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

مقدمه

برهم‌کنش وجود ندارد. امتیاز کاربرد معادله لانگمویر در توصیف جذب سطحی فسفر، تخمین حداکثر مقدار فسفر جذب شده می‌باشد. شیب به‌دست آمده از شکل خطی معادله لانگمویر، نشان دهنده ظرفیت بافیری فسفر خاک می‌باشد. ظرفیت بافیری فسفر (PBC)، عبارت از توانایی قدرت ترمیمی خاک در برابر تغییر غلظت فسفر محلول خاک بوده و یکی از عوامل مهم کنترل کننده غلظت فسفر فراهم در خاک برای گیاه می‌باشد (پربایت و موودی، 1998). مقدار ظرفیت بافیری می‌تواند برای محاسبه قسمتی از کود اضافه شده که در محلول خاک باقی می‌ماند و همچنین در تخمین احتمال پاسخ گیاه به کاربرد کودهای فسفره و تأثیر استفاده از کودهای فسفاته در آلودگی محیط زیست استفاده شود (جلالی، 2007). مطالعات نشان داده‌اند رس و کربنات کلسیم و همچنین وجود هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم و کائولینیت فراوان در خاک، سبب افزایش ظرفیت بافیری فسفر خاک می‌شود و اگر غلظت فسفر موجود در محلول این خاک‌ها کم باشد، مقادیر زیادی کود فسفره لازم است تا غلظت فسفر محلول به مقدار مورد نیاز گیاه برسد (مظاهری و مجنون حسینی، 1385).

معادله فروندلیچ از دیگر معادلات پرکاربرد در بررسی جذب فسفر در خاک می‌باشد. این معادله در اصل تجربی بوده و فاقد زیربنای نظری می‌باشد. در این معادله، انرژی جذب سطحی با افزایش میزان جذب به طور نمایی کاهش می‌یابد (بوهن و همکاران، 1979). معادله فروندلیچ قادر به تعیین حداکثر مقدار جذب نمی‌باشد (بارو، 1978). به کمک معادله فروندلیچ می‌توان شاخص نیاز استاندارد فسفر (PSR) را در خاک‌ها محاسبه نمود (جلالی، 2007). نیاز استاندارد فسفر در خاک (PSR) نشان دهنده نیاز کودی می‌باشد. این شاخص نشان دهنده مقدار کود فسفر مورد نیازی است که باید به خاک اضافه شود، تا غلظت فسفر محلول به غلظت بهینه‌ای که برای حداکثر رشد گیاه مورد نیاز است، برسد. هر چه در خاکی نیاز استاندارد فسفر بیشتر باشد، پتانسیل خاک برای جذب فسفر بیشتر می‌باشد، و نیاز استاندارد فسفر کمتر به معنای افزایش فسفر قابل استفاده گیاه و کاهش نیاز به کوددهی می‌باشد (جلالی، 2007). غلظت 0/2 میلی‌گرم بر لیتر فسفر در محلول توسط برخی پژوهشگران به عنوان غلظت بهینه فسفر محلول برای حداکثر رشد گیاه پیشنهاد شده است (فکس و کامپراس، 1970). در حالی که مهدادی و همکاران (1990) مقادیر 0/31 و 0/45، و اوزان و شاو (1968)، مقدار 0/4 میلی‌گرم بر لیتر فسفر را به عنوان

انگور بعنوان یکی از محصولات مهم و با ارزش باغی در ایران و جهان شناخته شده است (آکاندا و همکاران، 2013). ایتالیا، فرانسه و آمریکا رتبه‌های اول تا سوم را در تولید انگور در اختیار دارند، و بر اساس آمارفائو در سال 2012 کشور ایران با تولید حدود سه میلیون تن، یازدهمین تولیدکننده انگور دنیا می‌باشد (فائو، 2012). استان همدان پس از استان فارس رتبه دوم تولید انگور را در کشور دارد (احمدی و همکاران، 1394). حد بحرانی غلظت فسفر در خاک‌های زراعی و باغی 7 تا 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. حد مطلوب غلظت فسفر در هر صد گرم ماده خوراکی میوه انگور 20 میلی‌گرم می‌باشد (ملکوتی و همکاران، 1384). فراهمی عناصر مورد نیاز انگور در خاک به مقدار مناسب و متعادل، از عوامل مهم و تأثیرگذار در تولید انگور با کیفیت بالا و عملکرد مطلوب می‌باشد. واکنش‌های جذب و رهاسازی، رسوب و حل شدن فسفر در خاک از جمله فرایندهای مهمی می‌باشند که، فراهمی فسفر را در محلول خاک کنترل می‌کنند (سویی و تامسون، 2000). رس‌ها، کربنات-ها، مواد آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کمپلکس مواد آلی با اکسیدهای آهن و آلومینیوم موجود در خاک، بر واکنش‌های فسفر در خاک تأثیرگذار می‌باشند (مشی و همکاران، 1974؛ ساندرز، 1965). این واکنش‌ها نقش مهمی در عرضه فسفر برای گیاهان، تعیین نیاز کودی و همچنین تعیین سرنوشت زیست محیطی فسفر و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دارند (ما و همکاران، 2010؛ وانگ و همکاران، 2011).

مطالعه هم‌دمای جذب، که مقدار جذب ماده جذب شونده بر روی سطح یک جاذب را به عنوان تابعی از غلظت تعادلی ماده جذب شونده در دمای ثابت نشان می‌دهد، از جمله روش‌های ارزیابی فراهمی فسفر در خاک می‌باشد (ملکوتی و همایی، 1383). معادلات لانگمویر (بارو، 1978)، فروندلیچ (بارو، 1978)، ون‌های (فکس و کامپراس، 1970) و تمکین (فکس و کامپراس، 1970) از جمله معادلات پرکاربرد در توصیف هم‌دمای جذب فسفر در خاک می‌باشند (جدول 1). با استفاده از این معادلات می‌توان به صورت غیر مستقیم ویژگی‌های جذب فسفر را در خاک برآورد کرد (وانگ و همکاران، 2011).

معادله لانگمویر نخستین بار توسط اولسن و واتانابه (1965)، به منظور توصیف جذب فسفر در خاک به کار گرفته شد. در این معادله فرض بر این است که انرژی پیوند ثابت بوده و بین ملکول‌های جذب شده

1381). در معادله تمکین، که جذب سطحی فسفر در خاک به عنوان تابعی از لگاریتم غلظت تعادلی آن در محلول در نظر گرفته می‌شود، انرژی پیوند با افزایش مقدار جذب به طور خطی کاهش می‌یابد (پولیزوپلوس و همکاران، 1985). شیب معادلات تمکین و ون‌های نیز نشان دهنده ظرفیت بافری خاک (PBC) می‌باشند.

غلظت مناسب فسفر محلول به منظور رشد بهینه گیاه تعیین نمودند.

معادله ون‌های یکی دیگر از معادلاتی است که در توصیف هم‌دمای جذب سطحی به کار می‌رود. در این معادله جذب به عنوان تابعی از جذر غلظت تعادلی عنصر در محلول رسم می‌گردد (شیروانی و شریعتمداری،

جدول 1- معادلات هم‌دمای جذب سطحی فسفر و پارامترهای آن‌ها

معادلات	شکل خطی	شکل غیر خطی	پارامترهای معادلات
فروندلیچ	$\text{Log } q = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C$	$q = K_f C^{1/n}$	K_f : ضریب توزیع (l kg^{-1}) n_f : شدت جذب
ون‌های	$q = a + b\sqrt{C}$	-	ضرایب a و b به ترتیب شیب (l mg^{-1}) و عرض از مبدا
تمکین	$q = a + b \text{Ln} C$	-	(mg kg^{-1}) در معادلات ون‌های و تمکین
لانگمویر	$C/q = 1/K_b + C/b$	$q = K C b / (1 + K C)$	b : حداکثر جذب فسفر (mg kg^{-1}) K : ثابت جذبی وابسته به انرژی پیوند (l mg^{-1})

در تمامی معادلات C غلظت تعادلی جذب شونده (mg l^{-1})، و q وزن جذب شونده در واحد وزن جذب کننده (mg kg^{-1})، می‌باشد.

ضریب n معادله فروندلیچ برآزش داده شده بر داده‌های هم‌دمای جذب و $n_f \text{ desorb}$ ضریب n معادله فروندلیچ برآزش داده شده بر داده‌های هم‌دمای واجذب می‌باشد.

شهرستان ملایر در استان همدان، سهم قابل توجهی در تولید انگور استان دارد. در تاکستان‌های شهرستان ملایر، مصرف کودهای فسفاته توسط کشاورزان بر اساس تجربه بوده و در بعضی مواقع بیشتر از مقدار توصیه شده می‌باشد. علاوه بر این کشاورزان منطقه هرساله از کودهای دامی به میزان تقریبی حداقل 10 تن در هکتار نیز، همراه با کودهای شیمیایی، در تاکستان‌ها استفاده می‌نمایند. از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای بر روی وضعیت عناصر غذایی، از جمله فسفر در خاک تاکستان-های شهرستان ملایر انجام نشده است، مطالعه حاضر با اهداف زیر انجام شد:

الف) مطالعه هم‌دمای جذب سطحی و واجذب فسفر در برخی از خاک‌های تاکستان‌های شهرستان ملایر، در دو عمق 0 تا 30 سانتی‌متر و 30 تا 60 سانتی‌متر.

ب) برآزش داده‌های به‌دست آمده از مطالعات بر معادلات هم‌دمای جذب سطحی و واجذب، و تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری، نیاز استاندارد و پس‌ماند فسفر با استفاده از معادلات و تعیین روابط موجود بین پارامترهای معادلات توصیف کننده جذب و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها.

مطالعات زیادی در ارتباط با هم‌دمای جذب فسفر (غفور و همکاران، 2014؛ هادجو و همکاران، 2014؛ راشمی و همکاران، 2013؛ روسی و همکاران، 2012؛ جلالی، 2007؛ جعفری و همکاران، 1394؛ شیروانی و شریعتمداری، 1381) و هم‌دمای واجذب فسفر (مطالعه آزاد سازی فسفر جذب شده توسط خاک، در مطالعات هم‌دمای جذب)، (باروس و همکاران، 2005؛ شیروانی و همکاران، 2006؛ جلالی و نادری پیکام، 2013؛ فینک و همکاران، 2016) انجام شده است. معمولاً پس از اضافه نمودن کودهای فسفاته به خاک‌ها، فسفر موجود در کودهای فسفاته جذب ذرات خاک شده و به تدریج به کانی‌هایی با حلالیت کم تبدیل می‌شود. فسفر جذب شده یا رسوب نموده به راحتی از خاک وارد محلول نشده و از قابلیت حلالیت فسفر با گذشت زمان کاسته می‌شود (ملکوتی و همایی، 1383). به همین دلیل در مطالعات هم‌دمای واجذب فسفر پدیده پس‌ماند فسفر در خاک (PHI)، که عبارت است از عدم مطابقت و یا یکی شدن منحنی‌های هم‌دمای در دو حالت جذب و واجذب ماده جذب شونده، مشاهده می‌شود. دلیل بروز پدیده پس‌ماند فسفر در خاک‌های آهکی می‌تواند جذب اختصاصی یا شیمیایی فسفر و یا رسوب فسفر به صورت نمک‌های نا-محلول و کم محلول فسفات کلسیم باشد (محمود سلطانی و صمدی، 1382). جهت بررسی شاخص پس‌ماند فسفر (PHI) از رابطه $PHI = n_f \text{ adsorb} / n_f \text{ desorb}$ می‌توان استفاده نمود (تورین و بومن، 1997). در این معادله $n_f \text{ adsorb}$

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و

شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

جهت نمونه‌برداری خاک، 21 روستا در شهرستان ملایر که دارای بیشترین وسعت کشت باغ انگور می‌باشند با کمک مرکز جهاد کشاورزی انتخاب شدند. روش متداول کشت انگور در شهرستان ملایر به صورت جوی و پشته می‌باشد. جهت تهیه نمونه مرکب، یک باغ در هر روستا انتخاب شد و از سه نقطه مجزا از قسمت جوی و پشته از دو عمق 0-30 سانتی‌متری (خاک سطحی) و 60-30 سانتی‌متری (خاک زیرسطحی) به صورت جداگانه نمونه برداری انجام شد و سپس نمونه‌های هر عمق با هم مخلوط شدند و نمونه مرکب به دست آمد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت به روش هیدرومتر (بایوکاس، 1962)، درصد کربن آلی به روش والکی - بلاک (زاو، 1994)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (روهاس، 1968)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (الیسن و مودی، 1962)، پهاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره 1:5 آب به خاک به وسیله دستگاه پهاش‌متر و هدایت سنج (توماس، 1996) اندازه‌گیری شد. فسفر قابل استفاده با استفاده از روش اولسن و عصاره‌گیر بیکربنات سدیم (اولسن و واتانابه، 1962) عصاره‌گیری شد. غلظت فسفر محلول در نمونه‌ها با استفاده از روش اسید اسکوربیک مورفی و ریلی به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 820 نانومتر تعیین شد (مورفی و ریلی، 1962). سپس بر اساس میزان فسفر قابل استخراج با روش اولسن، درصد رس، و کربنات کلسیم معادل، 10 نمونه خاک که از نظر درصد رس، کربنات کلسیم و فسفر اولسن با هم تفاوت داشتند، جهت مطالعات هم‌دمای جذب انتخاب گردید.

هم‌دمای جذب سطحی و واجذب فسفر

جهت بررسی هم‌دمای جذب فسفر، سری غلظت-های فسفر شامل صفر، 4، 8، 20، 50، 100، 150 و 200 میلی‌گرم در لیتر از نمک KH_2PO_4 ، در حضور 0/01 مولار کلرید کلسیم تهیه شد (جلالی، 2007). سپس 25 میلی‌لیتر از محلول‌ها به 2/5 گرم خاک درون لوله‌های سانتریفیوژ در دو تکرار افزوده شد، و نمونه‌ها به مدت یک ساعت در تکان دهنده مکانیکی تکان داده شد و پس از 22 ساعت سکون در دمای 25-24 درجه سانتیگراد در انکوباتور، به مدت یک ساعت دیگر بهم زده شد. نمونه‌ها پس از پایان زمان تعادل (24 ساعت) به مدت پنج دقیقه

با 3000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند، و از کاغذ صافی واتمن 42 عبور داده شده و سپس غلظت فسفر محلول تعادلی در عصاره‌ها به روش مورفی و ریلی تعیین گردید (مورفی و ریلی، 1962). مقدار فسفر جذبشده در نمونه‌ها از طریق اختلاف بین غلظت فسفر اضافه شده در محلول اولیه و فسفر باقی مانده در محلول تعادلی محاسبه شد. دلیل استفاده از غلظت‌های اولیه بالای فسفر در مطالعات هم‌دمای جذب، شبیه سازی شرایط ایجاد شده در اطراف دانه کودی اضافه شده به خاک می‌باشد (جلالی، 2007).

جهت مطالعه واجذب فسفر جذب شده در مرحله قبل، نمونه خاک‌های باقیمانده در لوله‌های سانتریفیوژ از مرحله جذب، ابتدا سه بار با آب مقطر جهت خارج نمودن فسفر محلول و جذب نشده شسته شدند. سپس 25 میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم 0/01 به نمونه خاک‌های داخل لوله سانتریفیوژ اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در تکان دهنده مکانیکی تکان داده شد و پس از 22 ساعت سکون در دمای 25-24 درجه سانتیگراد در انکوباتور، به مدت یک ساعت دیگر بهم زده شد. نمونه‌ها پس از پایان زمان تعادل (24 ساعت) به مدت پنج دقیقه با 3000 دور در دقیقه سانتریفیوژ شده، و از کاغذ صافی واتمن 42 عبور داده شدند. غلظت فسفر موجود در عصاره‌ها به روش مورفی و ریلی تعیین شد (مورفی و ریلی، 1962). مقدار فسفر محلول اندازه‌گیری شده در این مرحله به عنوان مقدار فسفر واجذب شده از خاک در نظر گرفته شد.

نتایج به دست آمده از مطالعات هم‌دمای جذب بر معادلات لانگمویر، فروندلیچ، ون‌های و تمکین برازش داده شدند و بهترین معادلات توصیف کننده جذب سطحی بر اساس حداکثر R^2 و حداقل SE به دست آمدند. به کمک بهترین معادلات توصیف کننده جذب سطحی ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر در هر دو عمق خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد. در این مطالعه شاخص نیاز استاندارد فسفر، در غلظت 0/3 میلی‌گرم در لیتر فسفر محلول خاک (مهادی و همکاران، 1990) به دست آمد. شاخص پسماند فسفر به کمک ضرایب n معادله فروندلیچ برازش داده شده بر داده‌های هم‌دمای جذب و واجذب به دست آمد. جهت مطالعه اثر ویژگی‌های خاک بر جذب فسفر در خاک، همبستگی ساده بین پارامترهای معادلات و برخی از ویژگی‌های خاک نیز به دست آمد.

نتایج و بحث

در مطالعه هم‌دمای جذب سطحی فسفر، جذب فسفر و غلظت تعادلی فسفر محلول در خاک‌ها با افزایش مقدار فسفر اضافه شده افزایش یافت. در کمترین غلظت از فسفر (4 میلی‌گرم بر لیتر) اضافه شده به خاک‌های سطحی بین 25/8 (64/5 درصد در خاک شماره 7) تا 36/4 میلی‌گرم بر کیلوگرم (90/9 درصد در خاک شماره 2) و در خاک‌های زیرسطحی بین 30/6 (76/5 درصد در خاک شماره 7) تا 36/19 میلی‌گرم بر کیلوگرم (90/6 درصد در خاک شماره 2) از فسفر اضافه شده توسط خاک‌ها جذب شد. در بیشترین غلظت از فسفر (200 میلی‌گرم بر لیتر) اضافه شده به خاک‌های سطحی بین 438/6 (21/9 درصد در خاک شماره 4) تا 1415/9 میلی‌گرم بر کیلوگرم (70/8 درصد در خاک شماره 6) و در خاک‌های زیرسطحی بین 634/7 (31/7 درصد در خاک شماره 4) تا 1394/1 میلی‌گرم بر کیلوگرم (69/7 درصد در خاک شماره 6) از فسفر اضافه شده توسط خاک‌ها جذب شد. نتایج نشان داد بیشترین درصد جذب فسفر، در کمترین غلظت از فسفر اضافه شده اتفاق افتاده است. خاک‌های سطحی و زیر سطحی مورد مطالعه، بر اساس حداکثر مقدار جذب در آخرین غلظت اضافه شده (200 میلی‌گرم بر لیتر) به دو گروه تقسیم شدند. گروه الف (خاک‌های شماره 1، 2، 6 و 8) که حداکثر مقدار جذب آن‌ها بیشتر از 1100 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، و گروه ب (خاک‌های شماره 3، 4، 5، 7، 9 و 10) که حداکثر مقدار جذب آن‌ها بین 400 تا 1000 میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد (شکل 1). خاک‌های شماره 6 و 4 نسبت به سایر خاک‌ها، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار جذب فسفر می‌باشند. با توجه به جدول 2 در هر دو عمق (سطحی و زیرسطحی)، خاک شماره 6 بیشترین مقدار رس و خاک شماره 4 به طور همزمان کمترین مقدار رس و کربنات کلسیم را دارد. مطالعات زیادی نشان دادند که رس و کربنات کلسیم نقش مهمی در تثبیت فسفر توسط خاک‌ها دارند (جلالی و نادری پیکام، 2013). به طوری که خاک‌هایی با درصد رس بیشتر، توان تثبیت فسفر بیشتری نسبت به خاک‌هایی با درصد رس کمتر دارند (اولیویرا و همکاران، 2014). محمود سلطانی و صمدی (1382) گزارش کردند مهمترین عامل در قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های آهکی استان فارس میزان رس آن‌ها می‌باشد. کاریبا و همکاران (2006) نیز گزارش کردند که کربنات کلسیم خاک‌ها نقش مهمی در رسوب و خارج ساختن فسفر از محلول خاک دارد.

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی و زیرسطحی مورد مطالعه در جدول 2 آورده شده است. میانگین pH در خاک‌های زیرسطحی کمتر از خاک‌های سطحی به دست آمد. قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها، با افزایش عمق تغییر چندانی نداشت. درصد کربنات کلسیم و مقدار رس در خاک‌های زیرسطحی بیشتر از خاک‌های سطحی به دست آمد. وجود رس و کربنات کلسیم فراوان موجب افزایش جذب و کاهش فراهمی فسفر خاک می‌گردد (مشی و همکاران، 1974؛ جلالی و نادری پیکام، 2013). میانگین ماده آلی در خاک‌های سطحی بیشتر از خاک‌های زیرسطحی به دست آمد. وجود ماده آلی در خاک باعث می‌شود فسفر با پیوندهای کم انرژی تری نگهداری شود و قابلیت استفاده آن افزایش یابد (ساندرز، 1965).

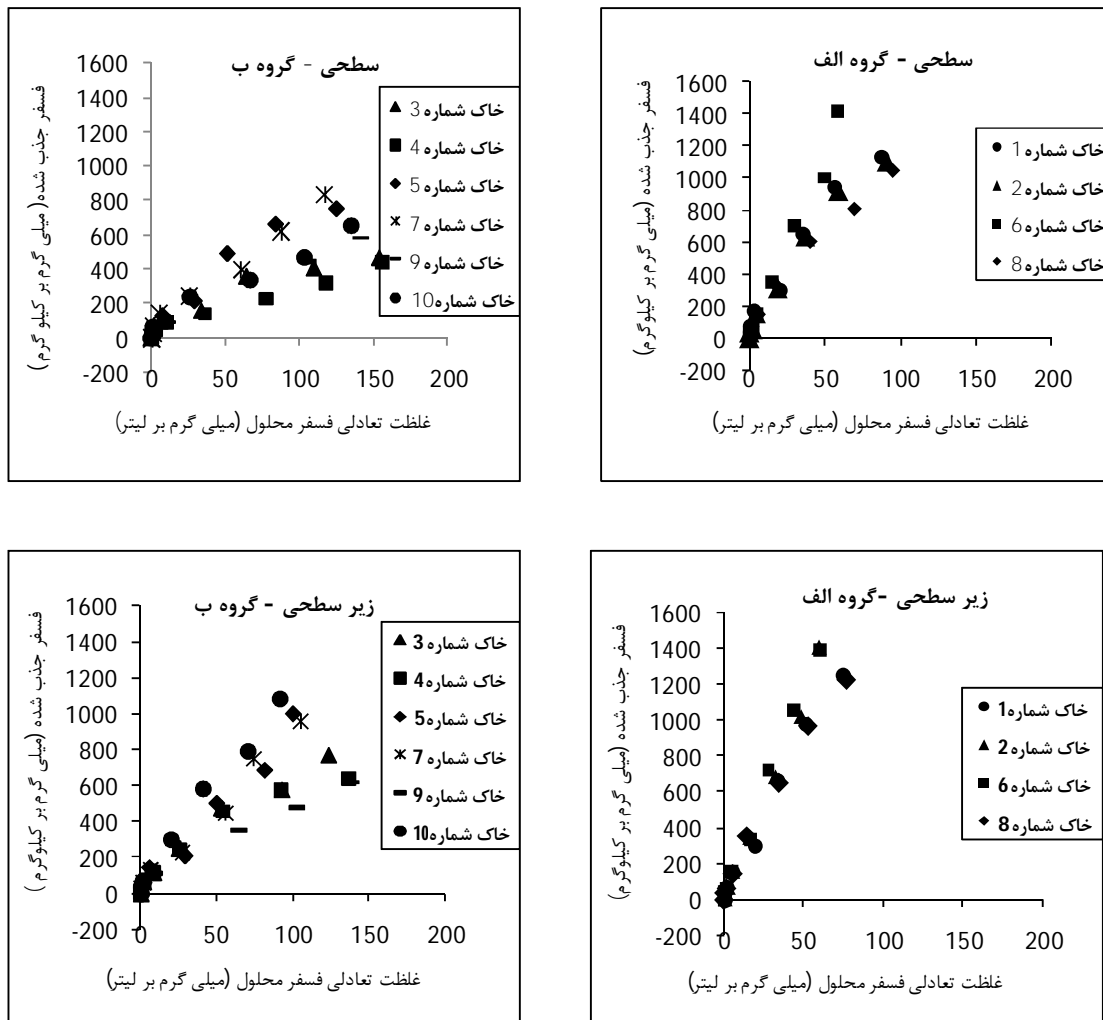
غلظت فسفر اولسن در خاک‌های سطحی و زیر سطحی به ترتیب در دامنه 13/4 تا 36/0 و 11/6 تا 34/5 میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. در تمامی خاک‌های سطحی و زیرسطحی غلظت فسفر اولسن بالاتر از حد بحران یفسفر، که برای محصولات باغی بین 7 تا 10 میلی‌گرم در کیلوگرم است (ملکوئی و همکاران، 1384)، می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که مصرف بیش از اندازه کود فسفات و همچنین مصرف کودهای حیوانی توسط کشاورزان منطقه، بدون توجه به ذخیره فسفری خاک موجب تجمع فسفر در خاک تاکستان‌های شهرستان ملایر شده است. جلالی (2007) نیز در مطالعات خود گزارش نمود، مصرف کودهای فسفر بالاتر از نیاز گیاهان در برخی از مناطق زراعی استان همدان باعث تجمع فسفر در خاک‌ها شده است. زیادی فسفر در خاک، جذب سایر عناصر غذایی به‌ویژه روی را مختل می‌نماید (ملکوئی و همکاران، 1387).

در مناطقی که غلظت فسفر اولسن خاک بالاتر از حد بحرانی باشد، احتمال خروج فسفر از خاک توسط فرسایش، روان‌آب سطحی و آبشویی نیز وجود دارد (سیمز و همکاران، 1998). کلاه‌چی و جلالی (2013) در مطالعه حرکت فسفر در خاک‌های آهکی گزارش نمودند، احتمال آبشویی فسفر در خاک‌های آهکی وجود دارد. بالا بودن غلظت فسفر محلول در خاک‌ها خطر آلودگی آب-های سطحی و بروز پدیده غنی‌سازی را افزایش می‌دهد (سویی و همکاران، 1999). در خاک‌های شماره 4، 7، 8، 9 و 10 که دارای بافت شنی می‌باشند، احتمال آبشویی فسفر و ورود آن به آب‌های زیر زمینی بالا است.

جدول 2- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی و زیرسطحی مورد مطالعه

شماره خاک	عمق خاک cm	pH*	EC* dS m ⁻¹	رس	شن g kg ⁻¹	سیلت	OM %	CCE %	Olsen-P kg ⁻¹ mg	CEC Cmolc kg ⁻¹
1	0-30	7/8	0/16	310	310	380	1/7	36/2	19/5	24/5
	30-60	7/7	0/14	330	310	360	1/7	37/5	23/7	23/1
2	0-30	7/7	0/17	350	390	260	1/4	12/5	20/3	23/7
	30-60	7/3	0/17	370	390	240	1/4	13/7	16/8	24/5
3	0-30	7/9	0/12	235	320	445	2/3	12/5	20/2	16/0
	30-60	7/8	0/18	235	320	445	1/3	12/7	11/6	17/0
4	0-30	8/0	0/16	215	540	245	1/2	8/0	32/5	12/8
	30-60	7/7	0/20	215	540	245	1/1	10/7	14/5	14/3
5	0-30	7/8	0/18	270	390	340	1/9	25/5	26/1	22/6
	30-60	7/9	0/14	350	390	26	1/4	28/0	17/2	22/7
6	0-30	7/8	0/17	435	240	325	2/4	28/7	24/2	20/1
	30-60	7/9	0/16	475	240	285	1/6	29/5	15/8	22/5
7	0-30	7/8	0/24	275	460	265	3/1	13/5	33/1	21/8
	30-60	7/7	0/25	275	440	285	1/5	16/2	34/5	24/1
8	0-30	7/5	0/21	250	470	280	1/8	12/0	17/9	22/2
	30-60	7/8	0/16	250	490	260	1/2	13/7	14/3	21/2
9	0-30	7/8	0/12	310	510	180	2/3	12/5	36/0	22/4
	30-60	7/9	0/11	310	530	160	1/7	14/5	33/9	20/5
10	0-30	7/8	0/12	310	510	180	2/3	12/5	13/4	22/4
	30-60	7/5	0/13	362	437	200	1/0	13/5	11/8	16/7
میانگین	0-30	7/7	0/17	297	412	297	1/9	17/3	24/3	20/2
	30-60	7/3	0/16	317	409	274	1/4	19/0	19/4	20/7

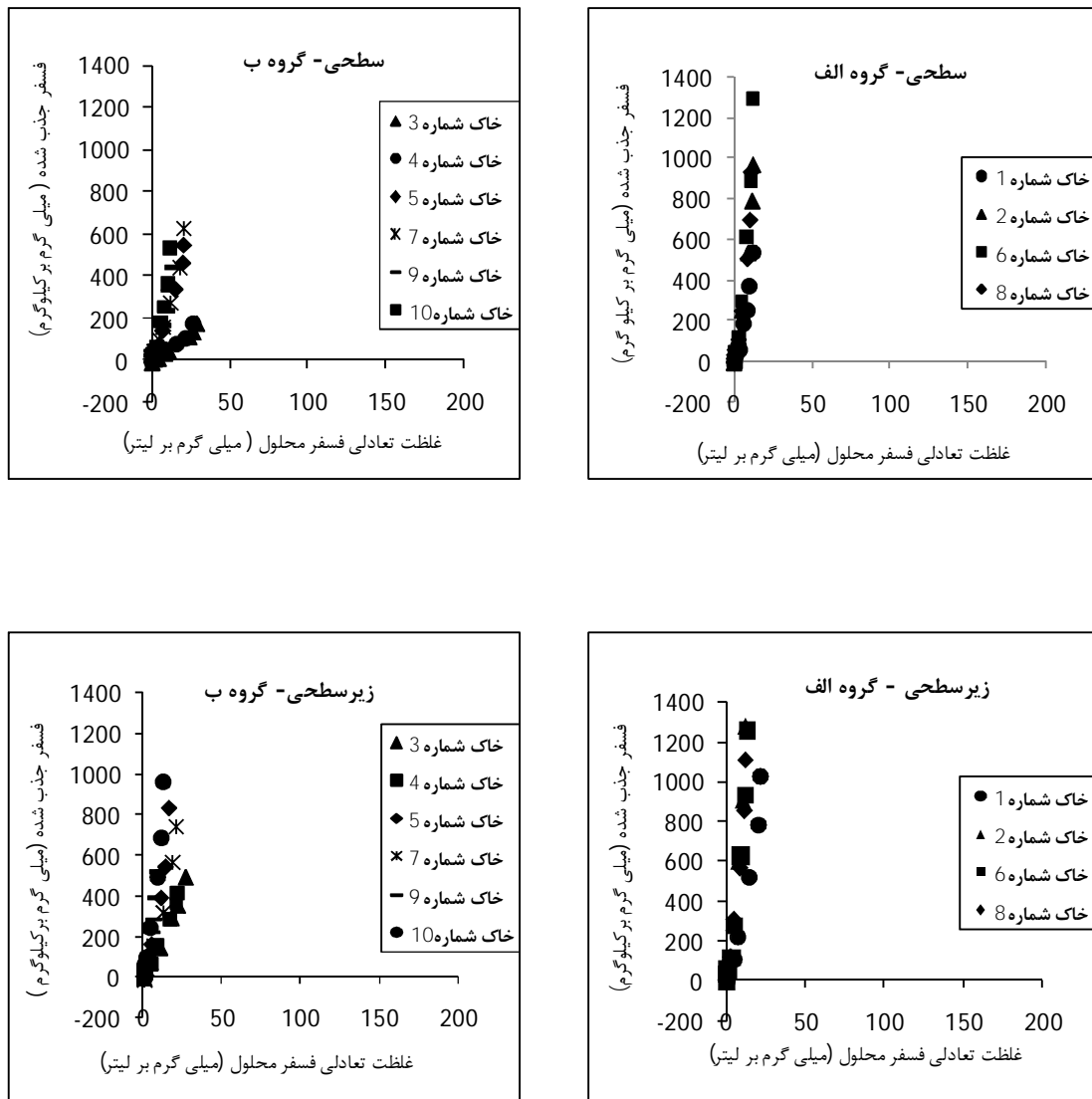
*: در عصاره یک به پنج خاک به آب مقطر ، EC : قابلیت هدایت الکتریکی ، OM: ماده آلی ، CCE: کربنات کلسیم معادل ، Olsen-P: فسفر قابل عصاره‌گیری با روش اولسن ، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی



شکل 1- نمودارهای هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های سطحی و زیرسطحی در دو گروه الف و ب

به ترتیب 36/3 و 23/0 درصد به دست آمد. فسفر واجذب شده در خاک‌های سطحی و زیر سطحی گروه الف کمتر از خاک‌های سطحی و زیر سطحی گروه ب می‌باشد و خاک‌هایی که فسفر بیشتری جذب کرده‌اند، فسفر کمتری در مرحله واجذب آزاد نمودند. از طرفی درصد واجذب فسفر در خاک‌های سطحی بیشتر از خاک‌های زیرسطحی می‌باشد. تفاوت در مقدار واجذب فسفر در خاک‌های مختلف، می‌تواند به علت تفاوت در درصد و نوع رس، درصد کربنات کلسیم معادل و ظرفیت بافری فسفر (جلالی و نادری پیکام، 2013) باشد.

شکل 2 نمودار هم‌دمای واجذب فسفر در خاک‌های سطحی و زیرسطحی در دو گروه الف و ب را نشان می‌دهد. عدم انطباق نمودارهای واجذب و جذب بر هم، نشان دهنده پدیده پس ماند فسفر و باقی ماندن بخش زیادی از فسفر تازه جذب شده در بخش جامد خاک است (شکل 1 و 2). در خاک‌های سطحی و زیرسطحی گروه الف به طور میانگین به ترتیب 12/6 و 11/7 درصد از فسفر جذب شده در بیشترین غلظت فسفر اضافه شده (200 میلی‌گرم بر لیتر) واجذب شد، در حالی که در خاک‌های سطحی و زیرسطحی گروه ب، فسفر واجذب شده



شکل 2- نمودارهای همدمای واجذب فسفر در خاک های سطحی و زیرسطحی در دو گروه الف و ب

معادله فروندلیچ و لانگمویر قابل توصیف می باشند. محققین دیگر نیز در مطالعات خود بر روی همدمای جذب فسفر معادلات فروندلیچ، ونهای و تمکین را بهترین معادلات توصیف کننده جذب فسفر توسط خاک گزارش نمودند (غفور و همکاران، 2014؛ هادجو و همکاران، 2014؛ راشمی و همکاران، 2013؛ روسی و همکاران، 2012). جدول 3 پارامترهای معادلات توصیف کننده داده های همدمای جذب و جدول 4 معادله توصیف کننده داده های همدمای واجذب فسفر و شاخص پسماند فسفر در خاک ها را نشان می دهند.

نتایج به دست آمدها زبرازش داده های همدمای جذب، بر معادلات نشان داد که بهترین معادلات توصیف کننده جذب معادلات فروندلیچ، ونهای و تمکین می باشند (جدول 3). معادله لانگمویر نتوانست داده های همدمای جذب را توصیف نماید. ماشال و همکاران (2011) گزارش کردند که در بررسی خصوصیات جذب فسفر خاک های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک داده های جذب فسفر به خوبی با معادله فروندلیچ قابل توصیف می باشند. وانگ ولی (2010) در بررسی رفتار جذب و واجذب فسفر، در رسوبات مناطق مختلف گزارش نمودند که داده های جذب فسفر به خوبی با

جدول 3- پارامترهای معادلات برازش داده شده بر هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	عمق خاک cm	معادله فروندلیچ				معادله ون‌های			معادله تمکین		
		SPR mg kg ⁻¹	n _f adsorb	K _f L kg ⁻¹	R ²	b L kg ⁻¹	a mg kg ⁻¹	R ²	b L kg ⁻¹	a mg kg ⁻¹	R ²
1	0-30	24/0	1/5	53/7	0/98	128/9	-106/9	0/97	188/7	44/9	0/83
	30-60	19/9	1/4	46/9	0/98	150/9	-157/8	0/95	211/8	14/6	0/79
2	0-30	22/5	1/5	50/4	0/95	124/8	-108/7	0/98	170/5	71/5	0/79
	30-60	20/4	1/3	51/5	0/96	178/0	-187/1	0/93	493/6	74/8	0/73
3	0-30	18/3	1/9	34/6	0/98	39/4	-13/3	0/97	74/5	17/2	0/87
	30-60	23/8	1/8	46/2	0/98	68/5	-48/4	0/98	110/5	40/4	0/82
4	0-30	11/0	1/8	21/4	0/99	33/4	-30/3	0/96	66/3	-16/7	0/82
	30-60	17/3	1/7	35/2	0/99	60/6	-36/7	0/99	109/8	8/7	0/89
5	0-30	19/7	1/7	40/2	0/97	73/2	-61/7	0/97	123/2	11/8	0/82
	30-60	21/9	1/7	44/6	0/95	91/4	-91/8	0/96	139/4	27/6	0/74
6	0-30	18/7	1/3	47/3	0/94	206/8	-226/3	0/96	216/3	66/1	0/73
	30-60	20/5	1/3	51/9	0/98	183/0	-182/6	0/95	216/9	90/6	0/75
7	0-30	13/7	1/5	30/8	0/95	75/3	-84/5	0/95	133/7	-26/3	0/83
	30-60	15/0	1/6	31/8	0/98	92/6	-112/3	0/93	155/2	-38/0	0/77
8	0-30	25/3	1/6	53/7	0/95	109/4	-88/8	0/98	156/8	66/2	0/81
	30-60	23/2	1/4	54/5	0/98	147/2	-132/7	0/98	191/2	81/4	0/79
9	0-30	11/1	1/6	23/6	0/98	48/7	-39/2	0/98	91/6	-7/6	0/85
	30-60	16/0	1/7	32/6	0/98	49/5	-20/6	0/98	95/3	13/8	0/88
10	0-30	22/4	1/9	42/4	0/97	52/5	-31/7	0/96	87/9	37/1	0/81
	30-60	18/9	1/5	42/3	0/99	113/0	-116/1	0/96	163/7	32/2	0/78
میانگین	0-30	18/7	1/6	39/8	0/97	89/2	-79/1	0/96	130/9	26/4	0/82
	30-60	19/7	1/5	43/7	0/98	103/5	-108/6	0/96	188/7	42/7	0/79

SPR: نیاز استاندارد فسفر

بیشتر فسفر در خاک است (اسپارکس، 2003). ضریب توزیع در خاک‌های سطحی برای جذب فسفر بین 21/4 تا 53/7 لیتر بر کیلوگرم و برای واجذب فسفر بین 2/1 تا 60/7 لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های زیرسطحی برای جذب فسفر بین 31/8 تا 54/5 لیتر بر کیلوگرم (جدول 3) و برای واجذب فسفر بین 16/8 تا 59/4 لیتر بر کیلو-

ثابت K_f (ضریب توزیع)، معادله فروندلیچ نشان دهنده تمایل خاک به جذب یون می‌باشد. ضریب توزیع کوچک‌تر نشان دهنده باقی ماندن فسفر بیشتر در فاز محلول و فراهمی بیشتر فسفر برای فرآیند انتقال، واکنش-های شیمیایی و جذب توسط گیاه است. بر عکس مقادیر بیشتر ضریب توزیع نشان دهنده تحرک کمتر و جذب

برتراند و همکاران (2003) گزارش کردند در خاک های آهکی جنوب استرالیا، ضریب توزیع در دامنه 1 تا 151 لیتر بر کیلوگرم می باشد. غفور و همکاران (2014) در برخی گروه های بزرگ خاک کردستان عراق، ضریب توزیع فسفر را بین 42/27 تا 121/06 لیتر بر کیلوگرم به دست آوردند.

گرم (جدول 4) به دست آمد. میانگین مقادیر ضریب توزیع به دست آمده برای داده های واجذب فسفر نسبت به جذب فسفر در خاک های سطحی 20/2 درصد و در خاک های زیرسطحی 5/8 درصد کاهش داشت. ضرایب توزیع به دست آمده در این مطالعه در دامنه نتایج به دست آمده توسط جلالی (2007) در تعدادی از خاک های سطحی استان همدان (2 تا 77 لیتر بر کیلوگرم) می باشد.

جدول 4- پارامترهای معادله برازش داده شده بر همدمای واجذب فسفر در خاک های مورد مطالعه

PHI	معادله فروندلیچ			عمق خاک cm	شماره خاک
	$n_{f\text{desorb}}^* / n_{f\text{desorb}}$	$n_{f\text{desorb}}$	K_f $L\ kg^{-1}$		
1/4	1/1	46/0	0/91	0-30	1
1/3	1/1	40/1	0/93	30-60	
1/5	1/0	60/7	0/95	0-30	2
1/4	0/9	59/4	0/94	30-60	
2/4	0/8	2/1	0/97	0-30	3
1/3	1/1	40/1	0/93	30-60	
1/3	1/4	12/4	0/94	0-30	4
1/7	1/0	18/9	0/97	30-60	
1/4	1/2	33/6	0/93	0-30	5
1/7	1/0	39/5	0/97	30-60	
1/6	0/8	51/3	0/96	0-30	6
1/6	0/8	45/6	0/97	30-60	
1/7	0/9	16/9	0/99	0-30	7
2	0/8	16/8	0/97	30-60	
1/8	0/9	48/7	0/95	0-30	8
1/7	0/8	47/3	0/99	30-60	
1/3	1/2	39/3	0/90	0-30	9
1/5	1/1	53/8	0/93	30-60	
2/4	0/8	20/4	0/95	0-30	10
1/5	1/0	54/2	0/98	30-60	
1/7	1/0	33/1	0/94	0-30	میانگین
1/6	1/0	41/3	0/96	30-60	

PHI: شاخص پسماند فسفر $n_{f\text{desorb}}$: محاسبه شده در جدول شماره 3

خاک‌های شماره 1، 2، 6 و 8 بیشترین مقدار نیاز استاندارد فسفر را دارا می‌باشند، که نشان دهنده جذب بالای فسفر توسط این خاک‌ها و کاهش فراهمی فسفر آن‌ها می‌باشد. شیروانی و شریعتمداری (1381) گزارش کردند که مقدار شاخص نیاز استاندارد فسفر به شدت تحت تأثیر میزان رس، کربنات کلسیم و ظرفیت بافری خاک است. به عبارت دیگر، خاک‌های دارای درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل بیشتر، به منظور نگهداشت غلظت فسفر محلول به میزان مطلوب برای تغذیه گیاهی، نیاز به افزودن فسفر بیشتری به ازای واحد وزن خاک دارند، چنین خاک‌هایی دارای توانایی جذب فسفر زیاد هستند. موازد و همکاران (2010) در مطالعات خود مقادیر 42/4 تا 114/7 میلی‌گرم بر کیلوگرم را برای نیاز استاندارد فسفر به‌دست آوردند.

جلالی (2007)، گزارش کرد نیاز استاندارد فسفر در خاک‌های سطحی همدان بین 4 تا 102 میلی‌گرم بر کیلو-گرم می‌باشد. اویک و سهرات (2001) گزارش کردند نیاز استاندارد فسفر در خاک‌های بسیار هوادیده غرب آفریقا، در دامنه 42 تا 175 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نیاز استاندارد فسفر به‌دست آمده در این مطالعه کمتر از مطالعات ذکر شده می‌باشد. بالا بودن غلظت فسفر اولسن در خاک‌های مورد مطالعه می‌تواند دلیل پایین بودن این شاخص در خاک‌ها باشد. شاخص نیاز استاندارد فسفر با مقدار فسفر اولسن در خاک‌های سطحی ($p \leq 0/01$) و زیر سطحی ($p \leq 0/05$)، و همچنین با pH در خاک‌های سطحی ($p \leq 0/05$) همبستگی معنادار منفی نشان داد (جدول 5).

بین ضریب توزیع با فسفر اولسن در خاک‌های سطحی ($p \leq 0/01$) و زیر سطحی ($p \leq 0/05$) همبستگی معنادار منفی به‌دست آمد، و همچنین بین ضریب توزیع با pH در خاک‌های سطحی ($p \leq 0/05$) نیز همبستگی معنادار منفی مشاهده شد (جدول 5).

ضریب n_f هم‌دمای جذب سطحی در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب بین 1/3 تا 1/9 و 1/3 تا 1/8 به‌دست آمد، و ضریب n_f هم‌دمای واجذب در خاک‌های سطحی و زیرسطحی به ترتیب بین 0/8 تا 1/4 و 0/8 تا 1/1 به‌دست آمد. مطابق معادله فروندلیچ انرژی پیوند با افزایش جذب به طور نمایی کاهش می‌یابد. در تمام خاک‌ها ضریب n_f بزرگتر از یک به‌دست آمد، که نشان می‌دهد غلظت فسفر در محلول خاک توسط رسوب فسفر کنترل می‌شود (جلالی، 2007). میانگین مقادیر n_f واجذب فسفر نسبت به جذب فسفر در خاک‌های سطحی 37/5 درصد و در خاک‌های زیرسطحی 33/3 درصد کاهش نشان داد (جدول 3 و 4). غفور و همکاران (2014) گزارش کردند در برخی گروه‌های بزرگ خاک کردستان عراق ضریب n_f بین 1/03 تا 1/52 می‌باشد. جلالی (2007) نیز گزارش کرد در تعدادی از خاک‌های استان همدان ضریب n_f در خاک‌های سطحی بین 0/62 تا 1/64 می‌باشد. بین ضریب n_f با درصد رس در خاک‌های سطحی و زیر سطحی ($p \leq 0/05$) همبستگی معنادار منفی به‌دست آمد (جدول 5).

نیاز استاندارد فسفر (SPR) حاصل از معادله فروندلیچ، در خاک‌های سطحی و زیر سطحی به ترتیب در دامنه، 11/0 تا 25/3 و 15/0 تا 23/8 میلی‌گرم بر کیلو-گرم به‌دست آمد (جدول 3). کمترین نیاز استاندارد فسفر، در خاک سطحی و زیرسطحی شماره 4 مشاهده شد.

جدول 5- ضرایب همبستگی خطی بین پارامترهای معادلات و برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها

	CEC Cmol _c kg ⁻¹	Olsen-P mg kg ⁻¹	CCE	OM	Clay %	pH	پارامترهای معادلات خاک‌های سطحی
	0/55	-0/91 ^{***}	0/38	-0/23	0/22	-0/65 [~]	SPR
	0/74	-0/26	0/64 [~]	- ⁺	0/81 ^{***}	-0/41	ثابت b معادله ون‌های
0/56		-0/26	0/68 [~]	- ⁺	0/73 [~]	-0/51	ثابت b معادله تمکین
	0/61	-0/78 ^{***}	0/53	-0/19	0/44	-0/68 [~]	k _f
	-0/46	-0/20	-0/52	-0/14	-0/71 [~]	0/37	n _f
		-0/74 [~]	0/15	-0/22	0/04	-0/09	خاک‌های زیرسطحی
		-0/27	0/44	0/16	0/65	-0/35	SPR
0/54		-0/15	0/04	0/08	0/43	-0/74 [~]	ثابت b معادله ون‌های
	0/28	-0/64 [~]	0/30	-0/06	0/39	-0/13	ثابت b معادله تمکین
	-0/53	0/14	-0/35	-0/16	-0/63 [~]	0/41	k _f
							n _f

Clay: رس OM: ماده آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل، Olsen-P: فسفر قابل عصاره‌گیری با روش اولسن، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

SPR: نیاز استاندارد فسفر، * معنادار در سطح 5 درصد؛ ** معنادار در سطح یک درصد؛ + محاسبه نشد

توانایی خاک در ثابت نگهداشتن غلظت فسفر در محلول خاک دارد. هر چه در خاکی ظرفیت بافری بالاتر باشد، جهت بالا بردن غلظت فسفر در محلول خاک، احتیاج به کود بیشتری می‌باشد (جلالی، 2007). بعد از افزودن کود-های فسفاته به خاک، مقدار قابل توجهی از فسفر محلول به شکل ترکیبات نامحلول رسوب می‌نماید. جلالی (2006) گزارش کرد به‌طور میانگین 79 درصد از کود فسفاته افزوده شده به خاک‌های آهکی بعد از گذشت 90 روز توسط روش اولسن قابل عصاره‌گیری نیست. فسفر رسوب نموده در خاک با گذشت زمان حل شده و می‌تواند نیاز گیاه را برطرف نماید. مک‌لوم (1991) گزارش کرد 16 تا 18 سال زمان لازم است، تا در خاکی که در آن سویا و گندم بدون اضافه نمودن کود فسفاته کشت می‌شود، غلظت فسفر فراهم خاک از 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم، به حد آستانه 20 میلی‌گرم بر کیلوگرم برسد. با توجه به بالا بودن غلظت فسفر اولسن در خاک‌های مورد مطالعه، توصیه کودی متناسب بر اساس غلظت فسفر محلول در خاک و ظرفیت بافری خاک‌ها، جهت صرفه جویی در مصرف کود و جلوگیری از آلودگی محیط زیست لازم است.

دامنه مقدار عددی شاخص پس‌ماند در خاک‌های سطحی بین 1/3 تا 2/4 و در خاک‌های زیرسطحی بین 1/3 تا 2 به‌دست آمد (جدول 4). بیشترین مقدار پس-ماند مربوط به خاک شماره 3، 10 و 7 می‌باشد. شاخص پس‌ماند بزرگتر از یک نشان می‌دهد که خاک‌ها تمامی فسفر جذب کرده را واجذب ننموده‌اند. توانایی خاک‌ها در رهاسازی یا واجذب فسفر جذب کرده متفاوت بوده، و خاک‌هایی که توانایی تثبیت بالاتری دارند شاخص پس‌ماند بزرگتری نیز دارند. میانگین شاخص پس‌ماند در خاک‌های سطحی (1/7)، و در خاک‌های زیرسطحی (1/6) به-دست آمد. میانگین شاخص پس‌ماند در خاک‌های زیرسطحی نسبت به خاک‌های سطحی 6/2 درصد کاهش یافت.

ظرفیت بافری خاک‌ها به کمک شیب معادلات ون-های و تمکین به‌دست آمد (جدول 3). ضریب b (شیب) معادله ون‌های در خاک‌های سطحی دامنه‌ای بین 33/4 تا 206/8 لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های زیرسطحی دامنه‌ای بین 49/5 تا 183/0 لیتر بر کیلوگرم دارد. موازد و همکاران (2010) نیز مقادیر 56/0 تا 83/0 لیتر بر کیلوگرم و شهبازی و داودی (1391) در خاک‌های آهکی با کشت گندم مقادیر 40/0 تا 271/5 لیتر بر کیلوگرم را برای ضریب b معادله ون‌های گزارش کردند. ضریب b معادله ون‌های در خاک‌های سطحی همبستگی معنادار مثبت با مقدار رس ($p \leq 0/01$)، درصد کربنات کلسیم معادل ($p \leq 0/05$) و ظرفیت تبادل کاتیونی ($p \leq 0/05$) نشان داد. بین درصد رس در خاک‌های زیرسطحی با ضریب b معادله ون‌های نیز همبستگی مثبت ($p \leq 0/05$) به‌دست آمد (جدول 5). شیروانی و شریعتمداری (1381) نیز بین این ضریب با مقدار رس و کربنات کلسیم معادل خاک، همبستگی معناداری به‌دست آوردند. شهبازی و داودی (1391) گزارش کردند که ضریب b معادله ون‌های همبستگی معنی‌داری با کربن آلی، مقدار رس و فسفر اولسن ($p \leq 0/05$) داشت.

ضریب b (شیب) معادله تمکین در خاک‌های سطحی دارای دامنه‌ای بین 66/3 تا 216/3 لیتر بر کیلوگرم و در خاک‌های زیرسطحی دارای دامنه‌ای بین 95/3 تا 493/6 لیتر بر کیلوگرم می‌باشد. در هر دو معادله بیشترین و کمترین ظرفیت بافری فسفر به ترتیب در خاک‌های شماره 6 و 4 به‌دست آمد (جدول 3). ضریب b معادله تمکین در خاک‌های سطحی با درصد رس و درصد کربنات کلسیم معادل همبستگی معنادار مثبت ($p \leq 0/05$) داشت (جدول 5). احمد و همکاران (2008) نیز در بررسی جذب فسفر در برخی خاک‌های استرالیا، مقادیر 31/6 تا 93/7 لیتر بر کیلوگرم را برای ضریب b معادله تمکین گزارش نمودند، که نسبت به خاک تاکستان‌ها دارای مقدار کمتری می‌باشند. مقادیر ظرفیت بافری فسفر به‌دست آمده از معادله تمکین بزرگتر از مقادیر حاصل از معادله ون‌های می‌باشند. جهت تعیین مقدار دقیق ظرفیت بافری فسفر، به‌دست آوردن همبستگی بین فسفر جذب شده توسط گیاه و ضرایب به‌دست آمده از معادلات لازم است.

هالفورد (1979) گزارش کرد که ظرفیت بافری فسفر خاک در مقدار فسفر رها شده از خاک به وسیله روش‌های عصاره‌گیری اولسن و بری تاثیر دارد، به طوری که با افزایش ظرفیت بافری فسفر خاک، مقدار فسفر رها شده کاهش می‌یابد. ظرفیت بافری فسفر خاک اشاره به

نتیجه گیری کلی

تا 25/3 و در خاک‌های زیرسطحی در دامنه بین 15/0 تا 23/8 میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. با توجه به بالا بودن غلظت فسفر اولسن در خاک‌های مورد مطالعه، توصیه کودی مناسب بر اساس غلظت فسفر محلول در خاک، نیاز استاندارد فسفر و ظرفیت بافری خاک‌ها، جهت صرفه جویی در مصرف کود و جلوگیری از بوجود آمدن اثرات آنتاگونیستی با سایر عناصر توصیه می‌شود. در تمامی خاک‌های مورد مطالعه پدیده پس‌ماند فسفر وجود دارد و در هر دو عمق خاک، فسفر اضافه شده به خاک، به صورت نمک‌های کم محلول یا نامحلول رسوب می‌نماید.

نتایج این تحقیق نشان داد، عدم وجود مدیریت صحیح در مصرف کودهای فسفاته و کودهای حیوانی توسط کشاورزان منطقه، بدون توجه به ذخیره فسفوری خاک موجب تجمع فسفر در خاک تاکستان‌های شهرستان ملایر شده است. در تمامی خاک‌های سطحی و زیر سطحی، غلظت فسفر محلول بالاتر از حد بحرانی فسفر (7 تا 10 میلی‌گرم در کیلوگرم برای محصولات باغی) می‌باشد. به دلیل تجمع فسفر در خاک سطحی، احتمال ایجاد اختلال در جذب عناصر دیگر به‌ویژه روی وجود دارد. مقدار عددی نیاز استاندارد (SPR) به دست آمده از معادله فروندلیچ در خاک‌های سطحی در دامنه بین 11/0

فهرست منابع:

1. احمدی، ک. کلینزاده، ح. عبادزاده، ح.ر. حسینیپور، ر. حاتمی، ف. عبدشاه، ه. رضایی، م.م. کاظمیفر، ر. فضلی استبرق، م. 1394. آمار نامه کشاورزی سال 1393، جلد سوم: محصولات باغی. انتشارات وزارت جهادکشاورزی. معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. 147 صفحه.
2. جعفری، الف. شریعتمداری، ح. حجازی مهریزی، م. 1394. تعیین شاخص‌های بافری و نیاز استاندارد فسفر در چهار ردیف اراضی مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از هم‌دماهای جذب سطحی (مطالعه موردی: اصفهان و شهرکرد). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد 22، شماره 3، صفحه 89-103.
3. شهبازی، ک. و داودی، م.ح. 1391. ارزیابی نیازفسفرگندم درخاک‌های آهکی با استفاده از هم‌دماهای جذب فسفر. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). جلد 26، شماره 1، صفحه 1-17.
4. شیروانی، م. شریعتمداری، ح. 1381. استفاده از هم‌دماهای جذب سطحی در تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر برخی خاک‌های آهکی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 6، شماره 1، صفحه 121-129.
5. محمودسلطانی، ش. صمدی، ع. 1382. شکل‌های مختلف فسفر در برخی خاک‌های آهکی استان فارس و روابط آن‌ها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 7، شماره 3، صفحه 119-128.
6. مظاهری، د. مجنون حسینی، ن. 1385. مبانی زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران. 412 صفحه.
7. ملکوتی، م.ج. کشاورز، پ. کریمیان، ن. 1387. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم با بازنگری کامل. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. 755 صفحه.
8. ملکوتی، م.ج. مشیری، ف. غیبی، م.ن. مولوی، ص. 1384. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک و برخیازمحصولاتزراعیوباغی. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره 406. 21 صفحه.
9. ملکوتی، م.ج. همایی، م. 1383. حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک (مشکلات و راه حل‌ها). چاپ دوم با بازنگری کامل. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. 600 صفحه.
10. Abekoe, M.K., and K.L. Sahrawat. 2001. Phosphate retention and extractability in soils of the humid zone in West Africa. *Geoderma*. 102:175-187.

11. Acanda, Y., M.J.Prado, M.V.González, and M. Rey. 2013. Somatic embryogenesis from stamen filaments in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Mencía): changes in ploidy level and nuclear DNA content. In *Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*. 1-9.
12. Ahmed, M.F., I.R.Kennedy, A.T. Choudhury, M.A.M.L.Kecske's, and R.Deaker. 2008. Phosphorus adsorption in some Australian soils and influence of bacteria on the desorption of phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 39: 1269-1294.
13. Allison, L.E., and C.D. Moodi. 1962. Carbonates. PP 1379-1396. In: C. A. Black et al. (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, American, Society of Agronomy, Madison, WI.
14. Barros, N.F., Filho., N.B. Comerford., and N.F. Barros. 2005. Phosphorus sorption, desorption and resorption by soils of the Brazilian Cerrado supporting eucalypt. *Biomass and Bioenergy*. 28: 229-236.
15. Barrow, N.J. 1978. The description of phosphate adsorption curves. *Journal of Soil Science*. 29: 447-462.
16. Bertrand, I., R.E.Holloway, R.D. Armstrong, and M.J.McLaughlin. 2003. Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 61-76.
17. Bohn, H.L., McNeal, B.L., and O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons.
18. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Journal of Agronomy*. 54: 464-465.
19. Carreira, J.A., B.Vinegla., and K. Lajtha. 2006. Secondary CaCO₃ and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in arid ecosystems. *Arid Environmental*. 64: 460-473.
20. Fink, J.R., A.V. Inda., J. Bavaresco., V. Barron., J. Torrent., and C. Bayer. 2016. Adsorption and desorption of phosphorus in subtropical soils as affected by management system and mineralogy. *Soil and Tillage Research*. 155: 62-68.
21. Food, and Agriculture Organization, faostat, retrieved may 1. 2012. from <http://faostat.fao.org/site/626/default//626/asp#ancor>.
22. Fox, R.L., and E.J.Kamprath. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Journal of Soil Science Society of American Proceeding*. 34: 902-907.
23. Ghafoor, A., R.Mam. and S.S. Kamil. 2014. Phosphorus Sorption in Some Great Soil Groups of Iraqi Kurdistan Region. *Journal of Zankoy Sulaimani- Part A, Special Issue, Vol. 16*.
24. Hadgu, F., H.Gebrekidan, K. Kibret, and B.Yitaferu. 2014. Study of phosphorus adsorption and its relationship with soil properties, analyzed with Langmuir and Freundlich models. *Agriculture, Forestry and Fisheries*. 3: 40-51.
25. Holford, I.C.R. 1979. Evaluation of soil phosphorus buffering indices. *Australian Journal of Soil Research*. 17: 495-54.
26. Jalali, M. 2006. Soil phosphorus buffer coefficient as influenced by time and rate of P addition. *Archive of Agronomy and Soil Science*.
27. Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. *Environmental Geology*. 53: 365-374.
28. Jalali, M., and E. Naderi Peikam. 2013. Phosphorus sorption-desorption behavior of river bed sediments in the Abshineh river, Hamedan, Iran, related to their composition. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185: 537-552.
29. Kolahch, Z. and M. Jalali. 2013. Phosphorus movement and retention by two calcareous soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*. 22(1), 21-38.

30. Ma, L., R. Xu. and J. Jiang. 2010. Adsorption and desorption of Cu(II) and Pb(II) in paddy soils cultivated for various years in the subtropical China. *Journal of Environment and Science*. 22: 689–695.
31. Mashal, K., M. Al-Qinna, and J.Ibbini. 2011. Phosphorus-Sorption Characteristics of Calcareous Soils in Arid and Semi Arid Regions. *Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*. 3 (1): 53-58.
32. McCollum, R.E. 1991. Build up and decline in soil phosphorus: 30-year trends on a typic umprabuult. *Agronomy Journal*. 83:77–85.
33. Mehadi, A.A., R.W. Taylor, and J.W.Shuford. 1990. Prediction of fertilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. *Plant and Soil*. 122(2): 267-270.
34. Moazed, H., Y.Hoseini, A. Naseri, and F.Abbasi. 2010. Determining phosphorus adsorption isotherm in soil and its relation to soil characteristics. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8 (2):1153 - 1157.
35. Moshi, A.O., A. Wild., and D.J. Greenland. 1974. Effect of organic matter on the charge phosphate adsorption characteristics of Kikuyu red clay from Kenya. *Geoderma*. 11:275-285.
36. Murphy, J., and J.P.Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*. 27:31-36.
37. Oliveira, C.M.B., L.C.Gatiboni, D.J. Miquelluti, T.J.Smyth., and J.A. Almeida.2014. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 38: 1805–1815.
38. Olsen, S.R., and F.S. Watanabe.1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous I water and NaHCO₃ extracts from soil. In *method of soil analysis: chemical and microbiological properties, part 1* 2nd ed. Agron. Monogr. No9. A. Klute (Ed). ASA and SSSA, Madison WI. pp: 403-430.
39. Ozanne, P.G., and T.C.Shaw. 1968. Advantages of the recently developed phosphate sorption test over the older extractant methods for soil phosphate. *International, Congress of Soil Science. Trans.* 2: 273-280.
40. Polyzopoulos, N.A., V.Z. Keramidas., and H. Kiosse.1985. Phosphate sorption by some Alfisols of Greece as described by commonly used isotherms. *Journal of Soil Science Society of American*. pp: 49.
41. Probert, M.E., and P.W. Moody. 1998. Relating phosphorus quantity, intensity and buffer capacity to phosphorus uptake. *Australian Journal of Soil Research*. 36:389-393.
42. Rashmi, A.K., S.K.C. Biswas., and R. A.Subba. 2013. Phosphorus adsorption capacity in soybean growing soils of Madhya Pradesh African Crop. *Indian Institute of Soil Science, Bhopal (M.P.)*. 1: 15-20.
43. Rhoades, J.D. 1968. Cation exchange capacity. pp. 149-158. In: A.C. page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Monograph No 9* .American, Society of Agronomy.
44. Rossi, C.G., D.M. Heil, N.B. Bonumà., and J.R. Williams. 2012. Evaluation of the Langmuir model in the Soil and Water Assessment Tool for a high soil phosphorus condition .*Sci Verse Science Direct. Environmental Modelling and Software*. 38: 40-49.
45. Rowell, D.L. 1994. *Soil science: methods and applications*. Longman, London.
46. Saunders, W.M.H. 1965. Phosphate retenyion by New Zealand soils and its relationship to free constituents. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 8: 30-57.
47. Shirvani, M., M.Kalbasi, H. Shariatmadari, F. Nourbakhsh, and B. Najafi. 2006. Sorption- adsorption of cadmium in aqueous palygorshite, sepiolite, and calcite suspensions: Isotherm hysteresis. *Chemosphere*. 65: 2178-2184.

48. Sims, J.T., R.R. Simard, and B.C. Joern. 1998. Phosphorus losses in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality*. 27:277–293
49. Sparks, D.L. 2003. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego.
50. Sui, Y., and M.L. Thompson. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended Mollisol. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 164-169.
51. Sui, Y., M.L. Thompson, and C.W. Mize. 1999. Redistribution of biosolids-derived total P applied to a Mollisol. *Journal of Environmental Quality*. 28:1068–1074.
52. Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods*. SSSA, Madison, WI.
53. Turin, H.J., and R.S. Bowman. 1997. Sorption behavior and competition of bromacil, napropamide, and prometryn. *Journal of Environmental Quality*. 26: 1282-1287.
54. Wang, Q.R., and Y.C. Li. 2010. Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins. *Journal of Soil Sediment*. 10: 1159–1173.
55. Wang, W., X.S. Hang, Y.M. Zhang, and Y.L. Yi. 2011. Phosphorus adsorption of red clay and its mechanism. *Journal of Ecology and Rural Environment*. 27: 109–112 (in Chinese).

Phosphorus Sorption and Desorption Characteristics of Some Surface and Subsurface Vineyard Soils of Malayer Area in Hamedan Province

M. Zarrabi¹, F. Bagvand, S. Mahdavi, and Z. Kolahchi

Assistant Professor., Malayer University; E-mail: zarrabi7@gmail.com

Former MS student, Malayer University; E-mail: f.bagvand@gmail.com

Assistant Professor., Malayer University; E-mail: sh.mahdavi@malayeru.ac.ir

Assistant Professor., Bu-Ali Sina University; E-mail: zkolahchi@yahoo.com

Received: July, 2016 & Accepted: February, 2017

Abstract

Phosphorus (P) sorption characteristics of soils influence P availability. This study was conducted to investigate P sorption isotherm, standard P requirement (SPR), P buffering capacity (PBC), desorption, and P hysteresis index (PHI) by 10 surface (0-30 cm) and 10 subsurface (30-60 cm) soils in vineyard soils of Malayer area in Hamadan province. Isotherm experiment was carried out by concentrations of P ranging from 0 to 200 mg l⁻¹ of KH₂PO₄ salt in the presence of 0.01 M CaCl₂. Desorption experiments were conducted with 0.01 M CaCl₂. Phosphorus sorption characteristics in soil were calculated from isotherm equations. The average values of Olsen's extractable P (Olsen P) in surface and subsurface soils were 24.3 and 19.4 mg kg⁻¹, respectively. In surface and subsurface soils, Olsen P was higher than the optimum concentration of P for most crops (7-10 mg P kg⁻¹). Phosphorus sorption curves were well fitted to the Freundlich, Van-Hay and Temkin equations. The SPR average of surface and subsurface soils, defined as the amount of P sorbed at an equilibrium concentration of 0.3 mgP l⁻¹ was 18.7 mg kg⁻¹ and 19.7 mg kg⁻¹, respectively. The PBC average of surface and subsurface soils, account from Van-Hay equation was 89.2 l kg⁻¹ and 103.5 l kg⁻¹, respectively. The average value of PHI in surface soils (1.7) was greater than subsurface soils (1.6). There was significant negative correlation between SPR with Olsen-P in surface (p≤0.01) and subsurface (p≤0.05) soils. We found significant positive correlation between PBC with clay (p≤0.01) and ECC (p≤0.05) of soils. Our finding showed that high level of Olsen P concentration in surface and subsurface soils may decrease the availability of other nutrients. Appropriate P fertilizer management according to isotherm finding is needed.

Keywords: Phosphorous sorption isotherm, Buffering capacity, Standard requirement, Hysteresis

¹ Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agricultural, Malayer University, Malayer.