اثر اندازه خاکدانه بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر در تعدادی از خاک‌های آهکی استان چهار محال و بختیاری

مرتضی شیرمحمدی*، علیرضا حسین‌پور و شهرام کیانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۴)

چکیده

شناخت توزیع شکل‌های مختلف فسفر در خاکدانه‌ها به منظور ارزیابی خطر هدرروی فسفر از طریق رواناب و آبشویی از زمین‌های کشاورزی دارای اهمیت است. در این مطالعه اثر اندازه خاکدانه بر قابلیت استفاده و اجزاء فسفر در ۱۰ نمونه خاک آهکی تعیین شد. بدین منظور با استفاده از روش الک خشک خاکدانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) و خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) جدا شدند. فسفر قابل استفاده به روش اولسن، فسفر کل، فسفر آلی و اجزاء فسفر معدنی در خاکدانه‌های ریز، درشت و خاک‌ها تعیین شدند. اجزاء فسفر معدنی به‌صورت عصاره‌گیری متوالی به شش شکل شامل: دی‌کلسیم فسفات، اکتاکلسیم فسفات، آپاتایت، فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده در درون اکسیدهای آهن تفکیک شد. نتایج نشان داد مقادیر فسفر قابل استفاده، دی-کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتایت، فسفر آلی، فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن، فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن و فسفر کل به‌ترتیب در۷۰، ۶۰، ۴۰، ۴۰، ۶۰، ۷۰، ۶۰، ۵۰ و ۷۰ درصد خاک‌ها، در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. در نهایت می‌توان گفت، با افزایش مقدار فسفر، به‌ویژه در خاکدانه‌های ریز امکان از دست رفتن فسفر از طریق فرسایش افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: خاکدانه‌های ریز و درشت، فسفر قابل استفاده، خاک‌های آهکی، عصاره‌گیری متوالی

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: morteza.s@stu.sku.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز برای رشد گیاه و یک عنصر محدود کننده برای منابع آبی است. برای این که اهداف کشاورزی و زیست‌محیطی تحقق یابند، باید جذب فسفر توسط گیاه افزایش و میزان تلفات آن کاهش یابد (۱۹).

راه‌های عمده کاهش فسفر از خاک شامل آبشویی، جذب توسط گیاه و فرسایش است. معمولاً میزان فسفر از بین رفته در اثر فرسایش بیشتر از میزان فسفری است که به‌وسیله گیاه مصرف می‌شود (۲). یکی از عوامل مؤثر در فرسایش خاک، پایداری خاکدانه‌ها و عوامل مؤثر در تغییر آن است. خاک‌هایی که دارای خاکدانه‌های قوی بوده و سهم خاکدانه‌های درشت در آنها زیاد است، خاک‌های پایدار در برابر فرسایش هستند (۴).

هدررفت فسفر در زمین‌های کشاورزی به دو صورت محلول در رواناب و همراه با ذرات خاک فرسایش یافته است (۱۳). غلظت فسفر در محلول خاک در حدود ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر است و به‌ندرت دیده شده است که این رقم حتی به نزدیکی یک میلی‌گرم بر لیتر برسد. با چنین غلظت کم، آبشویی فسفر از خاک ناچیز است (۲). اما حدود ۷۰ تا ۹۰ درصد از کل فسفری که از زمین‌های کشاورزی هدر می‌رود را فسفر متصل به ذرات خاک (فسفر ذره‌ای) تشکیل می‌دهد (۲۷). مقادیر اندک غلظت فسفر، در حدود ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر، باعث مغذی شدن آب‌ها می‌شود و محیط را برای رشد موجودات مضر به‌خصوص جلبک‌ها فراهم می‌کند (۲۱). کارپنتر و همکاران عنوان کردند انتقال فسفر از زمین‌های کشاورزی به آب‌های سطحی، یک نگرانی ویژه در بسیاری از نقاط دنیا است و عقیده دارند فسفر عنصر اصلی کنترل کننده پدیده آب‌پروردگی در آب‌ها است (۵). پدیده آب‌پروردگی باعث رشد جلبک‌ها و سایر گیاهان آبزی و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول آب، کاهش شفافیت آب و افزایش نرخ مصرف اکسیژن در داخل آب می‌شود. بر طبق گزارش دفتر مطالعات حفاظت منابع طبیعی ایالات متحده، عنصر فسفر در زمین‌های کشاورزی به عنوان عنصر اصلی مؤثر بر کیفیت آب در آمریکا تشخیص داده شده است (۱).

ترکیب شیمیایی و رفتار عناصر غذایی در خاک به ترکیب شیمیایی و ترکیب ماتریکس خاک بستگی دارد، بنابراین تغییر ترکیب ماتریکس خاک ممکن است باعث تغییر ترکیب شیمیایی و رفتار عناصر غذایی در خاک شود (۳۳). توزیع یک عنصر در فاز جامد می‌تواند در سرعت شست‌وشوی آن تأثیر داشته باشد. عناصری که در سطح ذرات جذب شده‌اند، با آسانی بیشتری در دسترس محلول خاک هستند. در نتیجه این عناصر به‌ویژه اگر در شکل محلول در آب باشند، ممکن است نسبت به عناصری که در داخل ماتریکس خاک قرار دارند، سریع‌تر شسته شوند.

لینکوئیست و همکاران نقش اندازه خاکدانه‌ها بر جذب و آزاد شدن فسفر در یک خاک رسی را مطالعه و دریافتند که جذب فسفر با کاهش اندازه خاکدانه‌ها افزایش و آزاد شدن فسفر از خاکدانه‌ها به‌صورت خطی با جرم واکنش‌پذیر خاکدانه‌ها همبستگی داشت. آنها دریافتند که خاکدانه‌ها بر قابلیت استفاده فسفر در کوتاه‌مدت و بلندمدت تأثیر دارند. توزیع فسفر در شکل‌های مختلف و در خاکدانه‌های با اندازه متفاوت، تحت تأثیر فرایندهای خاک‌ساز است و بر قابلیت استفاده فسفر تأثیر دارد (۱۵).

درک تأثیر فسفر خاک در یک سیستم اکولوژیکی نیازمند اطلاعاتی از ذخایر فسفر در خاکدانه‌ها است. تحقیقات نشان داده است که بخش‌های ریز خاک به‌واسطه رواناب به آب‌های سطحی منتقل می‌شوند و فسفر چسبیده به این ذرات باعث غنی شدن آب‌ها می‌شود. برای ارزیابی خطر شست‌وشوی فسفر از سیستم خاک به محیط، تعیین مقدار فسفر در خاکدانه‌های ریز ضروری است. در رابطه با تأثیر اندازه خاکدانه‌ها بر فسفر قابل استفاده و اجزای فسفر در خاک‌های آهکی، اطلاعاتی در دست نیست، لذا این مطالعه با اهداف بررسی اثر اندازه خاکدانه بر فسفر قابل استفاده و توزیع فسفر در تعدادی از خاک‌های آهکی انجام شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

انتخاب نمونه‌های خاک

برای انجام این پژوهش، ۲۳ نمونه خاک از خاک‌های آهکی تحت کشت در شهرستان شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری، ۱۰ نمونه خاک براساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و غلظت فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن، برای انجام تحقیق انتخاب شدند.

تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

pH در سوسپانسیون دو به یک آب مقطر به خاک (۳۰)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت دو به یک آب مقطر به خاک (۲۵)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون خنثی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال (۱۶)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۲۲)، گنجاش تبادل کاتیونی به روش استات سدیم یک مولار در pH =۷ (۲۸) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۷)، تعیین شد.

جداسازی خاکدانه‌ها به اندازه‌های مختلف

برای جداسازی خاکدانه‌ها به اندازه‌های مختلف از روش الک خشک (۳۳) استفاده شد. دراین روش از دستگاه شیکر الک با سری الک‌های استاندارد استفاده شد. بدین منظور ۵۰ گرم خاک خشک را روی الک چهار میلی‌متری ریخته و به‌مدت دو دقیقه تکان داده شد. اندازه الک‌ها به‌ترتیب ۴، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بود. در پایان هر آزمایش وزن خاک باقی‌مانده روی هر الک توزین شد و بر این اساس توزیع اندازه ذرات در حالت خشک تعیین شد. برای انجام مطالعه روی خاکدانه‌ها، خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر و بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر جمع‌آوری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، اجزای فسفر معدنی، فسفر کل، فسفر آلی و فسفر قابل استفاده در کل خاک و خاکدانه‌های کوچک‌تر و بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر تعیین شد.

تعیین اجزای مختلف فسفر معدنی، فسفر قابل استفاده، فسفر آلی و فسفر کل

برای جداسازی اجزای فسفر معدنی در خاک و خاکدانه‌های ریز و درشت، به‌دلیل آهکی بودن خاک‌های مورد مطالعه از روش جیانگ و گو (۱۱) استفاده شد. فسفر کل به روش هضم توسط اسید پرکلریدریک (۲۳)، فسفر آلی به روش کوئو (۱۲) و فسفر قابل دسترس خاک‌ها با روش اولسن (۲۳) عصاره‌گیری شده و فسفر موجود در عصاره‌ها به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (۲۱).

تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. به‌منظور بررسی اثرات نوع خاک با اندازه خاکدانه و اثرات متقابل آنها، تجزیه واریانس طرح با استفاده از نرم‌افزار استاتیستیکا انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن و در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول (۱) آورده شده است. براساس نتایج ارائه شده می‌توان گفت واکنش خاک‌های قلیایی، در دامنه ۷/۹ تا ۸/۲ با میانگین هشت است. دامنه تغییرات هدایت الکتریکی خاک‌ها، ۰/۳ تا ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر با میانگین ۰/۵۱ دسی‌زیمنس بر متر است. دامنه تغییرات کربنات کلسیم معادل ۱۰ تا ۴۰/۱ درصد با میانگین ۲۵/۲ درصد است. دامنه تغییرات مقدار رس ۱۵ تا ۵۴/۳۲ درصد با میانگین ۳۹/۷ درصد است. دامنه تغییرات کربن آلی خاک‌ها ۰/۲۶ تا ۱/۸ درصد با میانگین ۰/۵۴ درصد است. دامنه تغییرات گنجایش تبادل کاتیونی ۱۰/۱ تا ۲۴ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و با میانگین ۱۷/۶۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های کوبیده نشده

شماره خاک	پ هاش	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	گنجایش تبادل کاتیونی ($Cmol_c kg^{-1}$)	فسفر قابل استفاده ($mgkg^{-1}$)	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	رس	سیلت (٪)	شن
۱	۷/۹	۰/۵۰	۱۸/۵	۲۱/۹	۰/۳۵	۱۳/۳	۴۶/۳	۴۰/۰	۱۳/۶
۲	۷/۹	۰/۴۰	۲۴/۰	۳۶/۵	۰/۳۱	۱۰/۰	۵۲/۳	۳۲/۵	۱۵/۱
۳	۸/۱	۰/۴۱	۱۸/۰	۳۶/۰	۰/۳۵	۲۵/۸	۴۶/۳	۴۴/۰	۹/۶
۴	۷/۹	۰/۴۶	۲۰/۶	۲۹/۶	۰/۳۷	۲۷/۶	۵۲/۳	۳۶/۰	۱۱/۶
۵	۸/۰	۰/۴۲	۱۷/۵	۲۱/۶	۰/۴۱	۲۸/۹	۴۸/۳	۳۰/۹	۲۰/۷
۶	۸/۰	۰/۴۴	۲۰/۸	۲۱/۴	۰/۲۶	۲۲/۵	۵۴/۳	۳۳/۱	۱۲/۵
۷	۸/۲	۰/۵۱	۱۸/۴	۲۸/۷	۰/۷۵	۴۰/۱	۴۶/۳	۴۳/۰	۱۰/۶
۸	۸/۰	۰/۳۰	۱۱/۵	۱۶/۳	۰/۴۲	۲۴/۰	۱۵/۰	۱۶/۱	۶۸/۸
۹	۸/۰	۰/۴۳	۱۰/۱	۱۵/۰	۰/۴۲	۲۵/۰	۱۹/۰	۱۷/۰	۶۴/۰
۱۰	۷/۹	۱/۲۲	۱۷/۲	۸۴/۶	۱/۸۰	۳۵/۰	۱۷/۰	۲۴/۰	۵۹/۰

جدول ۲. درصد توزیع خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	درصد خاکدانه‌ها						
	۴-۲	۲-۱	۱-۰/۵	۰/۵-۰/۲۵	<۰/۲۵	درشت	ریز
	(mm)						
۱	۰/۵	۱۷/۷	۲۰/۳	۲۵/۸	۳۵/۷	۶۴/۳	۳۵/۷
۲	۰/۸	۲۸/۱	۲۰/۲	۲۴	۲۶/۹	۷۳/۱	۲۶/۹
۳	۱/۲	۱۸/۶	۲۱/۸	۳۳/۲	۲۵/۲	۷۴/۸	۲۵/۲
۴	۰/۷	۷/۳	۲۲/۲	۳۵/۵	۳۴/۳	۶۵/۷	۳۴/۳
۵	۰/۹	۱۵/۱	۲۷/۳	۳۰/۲	۲۶/۵	۷۳/۵	۲۶/۵
۶	۱/۶	۳۱/۲	۲۹/۷	۲۵/۳	۱۲/۲	۸۷/۸	۱۲/۲
۷	۰/۸	۱۳/۶	۲۲/۱	۲۷/۱	۳۶/۴	۶۳/۶	۳۶/۴
۸	۰/۷	۱۵/۶	۲۵/۲	۲۰/۳	۳۸/۲	۶۱/۸	۳۸/۲
۹	۱/۱	۱۸/۷	۳۰/۳	۲۴/۸	۲۵/۱	۷۴/۹	۲۵/۱
۱۰	۰/۴	۱/۹	۲۴/۷	۲۷/۳	۴۵/۷	۵۴/۳	۴۵/۷

درصد توزیع خاکدانه‌ها در خاک

درصد توزیع خاکدانه‌ها در خاک در جدول (۲) آورده شده است. درصد خاکدانه‌های درشت در این خاک‌ها در دامنه ۵۴/۳ تا ۸۷/۸ بود. درصد خاکدانه‌های ریز در دامنه ۱۲/۲ تا ۴۵/۷ بود. به‌طور میانگین، خاکدانه‌های درشت و خاکدانه‌های ریز به‌ترتیب ۶۹/۳ و ۳۰/۶ درصد از وزن کل این خاک‌ها را تشکیل

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. تأثیر اندازه خاکدانه بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن در خاک‌های مختلف

شماره خاک	خاکدانه ریز	خاک	خاکدانه درشت	میانگین
۱	۲۲/۷^{a} E	۲۱/۹^{ab} D	۱۹/۷^{b} E	۲۱/۴
۲	۳۹/۰^{a} B	۳۶/۵^{ab} B	۳۳/۹^{b} C	۳۶/۴
۳	۳۴/۹^{a} C	۳۶/۰^{a} B	۳۸/۴^{a} B	۳۶/۴
۴	۲۹/۴^{a} D	۲۹/۶^{a} C	۲۸/۷^{a} D	۲۹/۲
۵	۲۴/۳^{a} E	۲۱/۶^{ab} D	۱۸/۹^{b} E	۲۱/۶
۶	۲۳/۰^{a} E	۲۱/۴^{a} D	۲۰/۸^{a} E	۲۱/۷
۷	۳۱/۳^{a} D	۲۸/۷^{ab} C	۲۷/۷^{b} D	۲۹/۲
۸	۱۷/۸^{a} F	۱۶/۳^{ab} E	۱۲/۴^{b} F	۱۵/۵
۹	۱۵/۲^{a} G	۱۵/۰^{a} E	۱۰/۹^{b} F	۱۳/۷
۱۰	۹۴/۳^{a} A	۸۴/۶^{b} A	۶۸/۹^{c} A	۸۲/۶
میانگین	۳۳/۲	۳۱/۱	۲۸/۰	

حروف بزرگ متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک‌ها و حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک، خاکدانه ریز و خاکدانه درشت در سطح احتمال پنج درصد است. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

دادند. تفاوت در درصد توزیع خاکدانه‌ها به نوع خاک، نوع کود استفاده شده و دیگر خصوصیات خاک بستگی دارد (۳۱).

تأثیر اندازه خاکدانه بر فسفر قابل استفاده

جدول (۳) میانگین فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن را در خاک کل و خاکدانه‌های ریز و درشت نشان می‌دهد. در خاکدانه‌های ریز مقدار فسفر قابل استفاده در هشت خاک بیش از ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک است. اما در خاکدانه‌های درشت، شش خاک مقدار فسفر قابل استفاده بیش از ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک دارند. علت بالا بودن فسفر قابل استفاده در بیشتر خاک‌های مورد مطالعه را می‌توان به کوددهی مستمر فسفر در خاک نسبت داد.

نتایج نشان داد که کاهش اندازه خاکدانه باعث افزایش فسفر قابل استفاده با روش اولسن شده است. با مقایسه مقدار فسفر قابل استفاده در خاکدانه‌های ریز و درشت مشاهده می‌شود که در ۷۰ درصد خاک‌ها مقدار فسفر اولسن در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. این شاید به‌دلیل وجود مکان‌های سطحی بیشتر در خاکدانه‌های ریز باشد. مقدار فسفر اولسن در خاکدانه‌های ریز از ۱۲/۹ درصد تا ۵۱/۴ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود.

لی و همکاران مقدار فسفر اولسن را در خاکدانه‌های با اندازه مختلف (۲ < ، ۲-۰/۲، ۰/۲-۰/۰۲، ۰/۰۲-۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۲> میلی‌متر) در خاک‌های شالیزار اندازه‌گیری کردند. آنها گزارش کردند بیشترین مقدار فسفر اولسن در خاکدانه‌های با اندازه ۰/۰۰۲> میلی‌متر اندازه‌گیری شد (۱۴).

هی و همکاران نیز تحقیقی در مورد توزیع فسفر در خاکدانه‌های با اندازه مختلف، روی دو خاک زراعی و دو خاک چمن‌زار انجام دادند و عنوان کردند که مقدار فسفر قابل استفاده (عصاره‌گیری شده توسط بری-۱) در همه خاک‌ها، در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر کمترین مقدار بود. پس مقدار خیلی کمی از فسفر موجود در خاکدانه‌های ریز قابل

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده هستند که دلیل آن گنجایش جذب سطحی بالاتر خاکدانه‌های ریز است و فسفر به این خاکدانه‌ها نسبت به خاکدانه‌های درشت محکم‌تر متصل شده است (۱۰).

تائو و همکاران گزارش کردند که مقدار فسفر قابل استخراج توسط مهلیچ یک در خاکدانه‌های ریز (<۰/۲۱۲ میلی‌متر) نسبت به خاکدانه‌های درشت (۶/۵ - ۴ میلی‌متر) در دو خاک با فسفر کم و فسفر زیاد به‌ترتیب ۱۸۴ و ۵۰ درصد بیشتر بود. بعد از افزودن مقادیر مساوی فسفر به خاکدانه‌ها و انکوباسیون به‌مدت ۱۵ روز در آزمایشگاه، در هر دو خاک، مقدار فسفر مهلیچ یک با کاهش اندازه خاکدانه از ۶/۵ به <۰/۲۱۲ میلی‌متر، افزایش یافت. در هر دو خاک فسفر بالا و فسفر کم، وزن خشک اندام هوایی و جذب فسفر توسط برنج و ذرت با کاهش اندازه خاکدانه افزایش یافت (۲۹).

وجود رابطه معکوس بین اندازه خاکدانه و مقدار فسفر قابل استفاده توسط گئیسلر و همکاران (۸) نیز عنوان شده است. آنها در مطالعه خود گزارش کردند که مقدار فسفر (اندازه‌گیری شده با روش کالول) در خاکدانه‌های کوچک‌تر (< ۵۳ میکرومتر) نسبت به خاکدانه‌های درشت‌تر، در همه خاک‌ها، بیشتر است. آنها دلیل آن را این گونه توجیه کردند که خاک‌های مورد مطالعه حاوی مقادیر کمی رس هستند و خاکدانه‌های درشت در این خاک‌ها غالباً از دانه‌های شن تشکیل شده‌اند، که در مقایسه با ذرات سیلت و رس نسبت سطح به حجم خیلی کمتری دارند، پس غلظت فسفر در این خاکدانه‌ها پایین است (۸).

وی و همکاران در بررسی اثر کشت‌وکار بر مقدار فسفر قابل استفاده (فسفر اولسن) در خاکدانه‌های با اندازه مختلف (۰/۲۵-۰/۱۰۶، ۰/۵۰-۰/۲۵، ۱-۰/۵، ۲-۱ و ۲ < میلی‌متر) عنوان کردند که پس از ۲۸ سال کشت‌وکار، مقدار فسفر اولسن در خاک و خاکدانه‌ها افزایش یافته است. مقدار فسفر اولسن در خاکدانه‌های با اندازه ۰/۲۵-۰/۱۰۶ و ۲ < میلی‌متر بیشترین مقدار بود (۳۲).

راناتونگا و همکاران نیز مقدار فسفر قابل استفاده را با دو روش بیکربنات سدیم و مهلیچ سه در خاکدانه‌های با اندازه مختلف اندازه‌گیری کردند. آنها گزارش کردند مقدار فسفر عصاره‌گیری شده توسط بیکربنات سدیم در همه بخش‌ها به یک میزان بود. این در حالی بود که فسفر عصاره‌گیری شده توسط عصاره‌گیر مهلیچ سه در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر بیشترین مقدار بود (۲۴).

تجمع شکل‌های قابل دسترس فسفر در خاکدانه های ریز به‌دلیل مستعد بودن این ذرات برای فرسایش آبی و بادی ایجاد نگرانی می‌کند. وجود شکل‌های فسفری که به‌صورت سست به این ذرات متصل‌اند، خطر هدرروی فسفر به منابع آبی را افزایش می‌دهد.

اثر اندازه خاکدانه بر جزءبندی فسفر

از آنجا که قابلیت استفاده فسفر به جانشین شدن فسفر قابل دسترس از دیگر بخش‌های فسفر بستگی دارد و روش‌های جزءبندی فسفر نیز می‌توانند ذخایر فسفر که منبع فسفر قابل استفاده در طول رشد است را مشخص کنند، لذا مطالعات جزءبندی شیمیایی فسفر خاک برای به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر درباره قابلیت استفاده فسفر خاک مفید است (۳).

دی‌کلسیم فسفات (Ca_2-P)

جدول (۴) میانگین مقادیر دی‌کلسیم فسفات در خاک‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که کاهش اندازه خاکدانه باعث افزایش مقدار دی‌کلسیم فسفات شده است. با مقایسه مقدار دی‌کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز و درشت مشاهده می‌شود که در ۶۰ درصد خاک‌ها، مقدار دی‌کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار دی‌کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز ۱/۱۸ تا ۸/۸ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار دی‌کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز از ۱۴/۳ درصد تا ۵۲ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. در خاک‌های شماره سه و هفت بین خاکدانه درشت و خاک کل اختلاف معنی‌دار وجود نداشت اما مقدار دی‌کلسیم فسفات در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. تأثیر اندازه خاکدانه بر فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن در خاک‌های مختلف

تیمار	خاک ۱	خاک ۲	خاک ۳	خاک ۴	خاک ۵	خاک ۶	خاک ۷	خاک ۸	خاک ۹	خاک ۱۰	میانگین
دی کلسیم فسفات											
خاکدانه ریز	۱۳/۴^{a}	۱۶/۲^{a}	۲۰/۲^{a}	۲۱/۶^{a}	۱۷/۲^{a}	۹/۸^{a}	۱۵/۴^{a}	۱۵/۳^{a}	۱۴/۴^{a}	۱۶۶/۸^{a}	۳۱/۰
خاک کل	۱۳/۰^{a}	۱۴/۸^{a}	۱۴/۰^{b}	۱۹/۳^{a}	۱۶/۴^{a}	۹/۸^{a}	۱۳/۵^{b}	۱۵/۶^{a}	۱۴/۵^{a}	۱۵۹/۳^{ab}	۲۹/۰
خاکدانه درشت	۱۳/۴^{a}	۱۴/۷^{a}	۱۳/۲^{b}	۱۶/۸^{b}	۱۶/۲^{a}	۹/۲^{a}	۱۲/۵^{b}	۱۱/۰^{b}	۱۱/۱^{b}	۱۴۶/۰^{b}	۲۶/۴
میانگین	۱۳/۱	۱۵/۲	۱۵/۸	۱۹/۲	۱۶/۶	۹/۶	۱۳/۸	۱۴/۰	۱۳/۳	۱۵۷/۳	
اکتا کلسیم فسفات											
خاکدانه ریز	۹۳/۵^{a}	۸۱/۲^{a}	۹۶/۴^{a}	۵۳/۹^{a}	۷۱/۳^{a}	۵۲/۵^{a}	۱۲۷/۷^{a}	۱۱۳/۵^{a}	۷۲/۶^{a}	۲۹۷/۸^{a}	۱۰۶/۰
خاک	۹۵/۴^{a}	۷۹/۴^{a}	۹۲/۷^{a}	۵۳/۲^{a}	۷۲/۶^{a}	۴۲/۴^{b}	۱۲۷/۲^{a}	۸۷/۲^{b}	۶۹/۷^{a}	۲۷۲/۴^{a}	۹۹/۲
خاکدانه درشت	۷۲/۳^{b}	۸۱/۰^{a}	۷۵/۴^{b}	۵۴/۲^{a}	۸۳/۳^{a}	۳۵/۱^{c}	۱۲۷/۵^{a}	۸۳/۰^{b}	۶۴/۲^{a}	۲۸۱/۲^{a}	۹۵/۷
میانگین	۸۷/۰	۸۰/۵	۸۸/۱	۵۳/۷	۷۵/۷	۴۳/۳	۱۲۷/۴	۹۴/۵	۶۸/۸	۲۸۴/۳	
آپاتایت											
خاکدانه ریز	۳۸۳^{a}	۲۴۳^{a}	۳۴۷^{a}	۳۱۰^{a}	۳۲۰^{a}	۱۸۱^{b}	۳۶۸^{a}	۷۲۶^{a}	۴۴۱^{a}	۳۸۵^{a}	۳۷۰
خاک	۳۶۶^{a}	۲۳۵^{a}	۳۷۶^{a}	۲۹۱^{a}	۳۱۱^{a}	۲۰۰^{ab}	۳۶۱^{a}	۶۶۷^{b}	۴۵۱^{a}	۳۹۲^{a}	۳۶۵
خاکدانه درشت	۳۱۲^{b}	۱۹۱^{b}	۳۷۷^{a}	۲۳۶^{b}	۳۰۴^{a}	۲۰۲^{a}	۳۵۸^{a}	۶۳۴^{c}	۴۵۰^{a}	۴۱۱^{a}	۳۴۸
میانگین	۳۵۳	۲۲۳	۳۶۶	۲۷۹	۳۱۲	۱۹۴	۳۶۲	۶۷۶	۴۴۷	۳۹۶	
فسفر پیوند شده با آلومینیوم											
خاکدانه ریز	۹۰۳^{a}	۹۸/۸^{a}	۱۰۸/۰^{a}	۶۷/۹^{a}	۸۲/۵^{a}	۶۶/۴^{a}	۹۰/۸^{a}	۴۲/۰^{a}	۴۲/۰^{a}	۱۰۴/۵^{a}	۷۹/۳
خاک	۸۸/۲^{a}	۹۵/۲^{a}	۱۰۱/۲^{b}	۶۴/۶^{a}	۷۹/۷^{a}	۴۵/۶^{b}	۸۴/۸^{a}	۳۴/۵^{b}	۳۷/۹^{a}	۹۴/۸^{b}	۷۲/۶
خاکدانه درشت	۸۷/۷^{a}	۸۴/۹^{b}	۹۱/۲^{c}	۵۹/۸^{b}	۷۹/۷^{a}	۳۵/۳^{c}	۸۴/۷^{a}	۳۳/۱^{b}	۲۱/۵^{b}	۸۷/۷^{c}	۶۶/۵
میانگین	۸۸/۷	۹۳/۰	۱۰۰/۱	۶۴/۱	۸۰/۷	۴۹/۱	۸۶/۷	۳۶/۵	۳۳/۸	۹۵/۷	

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک کل، خاکدانه ریز و خاکدانه درشت در سطح احتمال پنج درصد است. هر کدام از داده‌های ارائه شده در جداول میانگین سه تکرار است.

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۴.

تیمار	خاک ۱	خاک ۲	خاک ۳	خاک ۴	خاک ۵	خاک ۶	خاک ۷	خاک ۸	خاک ۹	خاک ۱۰	میانگین
فسفر پیوند شده با آهن											
خاکدانه ریز	۹۶/۳^{a}	۱۳۶/۶^{a}	۱۴۸/۰^{a}	۱۲۱/۴^{a}	۷۵/۹^{b}	۱۱۰/۸^{a}	۹۶/۴^{a}	۶۳/۰^{a}	۱۱۲/۴^{a}	۱۷۴/۴^{a}	۱۱۳/۵
خاک کل	۹۴/۶^{a}	۱۳۵/۹^{a}	۱۳۴/۶^{b}	۱۲۱/۶^{a}	۸۳/۴^{ab}	۹۱/۸^{b}	۹۱/۷^{ab}	۶۱/۹^{a}	۱۰۴/۹^{ab}	۱۶۶/۶^{ab}	۱۰۸/۷
خاکدانه درشت	۹۵/۰^{a}	۱۳۷/۴^{a}	۱۱۵/۰^{c}	۱۲۳/۳^{a}	۹۲/۰^{a}	۷۲/۶^{c}	۸۳/۵^{b}	۵۱/۵^{b}	۱۰۱/۸^{b}	۱۶۳/۶^{b}	۱۰۳/۶
میانگین	۹۵/۳	۱۳۶/۶	۱۳۲/۵	۱۲۲/۱	۸۳/۸	۹۱/۷	۹۰/۵	۵۸/۸	۱۰۶/۴	۱۶۸/۲	
فسفر محبوس درون اکسیدهای آهن											
خاکدانه ریز	۱۵/۲^{a}	۲۱/۷^{a}	۳۳/۰^{a}	۱۳/۹^{a}	۱۰/۱^{a}	۰*	۰*	۵/۰^{a}	۰*	۲۴/۷^{a}	۱۲/۳
خاک	۱۴/۴^{ab}	۱۹/۴^{b}	۳۰/۰^{b}	۱۲/۷^{ab}	۱۰/۱^{a}	۰*	۰*	۴/۶ ^{a}	۰*	۲۰/۲^{b}	۱۱/۱
خاکدانه درشت	۱۳/۲^{b}	۱۸/۳^{b}	۲۵/۹^{c}	۱۲/۱^{b}	۹/۸^{a}	۰*	۰*	۴/۵^{a}	۰*	۱۸/۲^{c}	۱۰/۲
میانگین	۱۴/۲	۱۹/۸	۲۹/۶	۱۲/۹	۱۰/۰	۰*	۰*	۴/۷	۰*	۲۱/۰	
فسفر آلی											
خاکدانه ریز	۱۰۶^{a}	۱۳۴^{a}	۱۶۶^{a}	۸۱^{a}	۱۴۳^{a}	۱۳۲^{a}	۲۷۳^{a}	۱۵۹^{a}	۱۷۹^{a}	۳۵۱^{a}	۱۷۲
خاک	۱۰۱^{a}	۱۲۵^{ab}	۱۵۵^{a}	۷۹^{a}	۱۲۷^{b}	۱۱۹^{a}	۲۱۵^{b}	۱۴۰^{b}	۱۶۵^{a}	۳۵۶^{a}	۱۵۸
خاکدانه درشت	۹۹^{a}	۱۲۰^{b}	۱۵۴^{a}	۷۸^{b}	۹۹^{c}	۱۰۷^{b}	۱۸۳^{c}	۱۲۶^{b}	۱۲۹^{b}	۳۷۷^{a}	۱۴۷
میانگین	۱۰۲	۱۲۷	۱۵۸	۷۹	۱۲۳	۱۱۹	۲۲۴	۱۴۲	۱۵۸	۳۶۱	
فسفر کل											
خاکدانه ریز	۹۲۰^{a}	۸۶۰^{a}	۹۶۶^{a}	۶۷۹^{a}	۷۴۳^{a}	۵۵۸^{a}	۱۲۹۴^{a}	۱۲۹۳^{a}	۸۷۷^{a}	۱۸۹۲^{a}	۱۰۰۸
خاک	۸۵۲^{b}	۷۰۹^{b}	۹۳۲^{b}	۶۶۳^{a}	۷۱۰^{b}	۵۱۶^{b}	۱۱۱۰^{b}	۱۲۳۸ ^{b}	۸۶۰^{a}	۱۹۱۸ ^{a}	۹۵۰
خاکدانه درشت	۶۹۶^{c}	۶۵۲^{c}	۸۸۸^{c}	۵۸۷^{b}	۶۸۸^{b}	۵۲۸^{a}	۹۳۴^{c}	۱۱۹۷^{c}	۸۵۴^{a}	۱۹۱۹^{a}	۸۹۴
میانگین	۸۲۲	۷۴۰	۹۲۹	۶۴۳	۷۱۴	۵۳۴	۱۱۱۳	۱۲۴۲	۸۶۳	۱۹۰۹	

حروف متفاوت نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین خاک کل، خاکدانه ریز و خاکدانه درشت در سطح احتمال پنج درصد است. هر کدام از داده‌های ارائه شده در جدول میانگین سه تکرار است.

www.SID.ir

Archive of SID

خاکدانه ریز به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاک کل بود که این می‌تواند به‌خاطر وجود درصد زیاد خاکدانه‌های درشت در این خاک‌ها و تأثیر آن بر خاک کل باشد (جدول ۲).

اکتا کلسیم فسفات (Ca_8-P)

با مقایسه مقدار اکتا کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز و درشت مشاهده می‌شود که در ۴۰ درصد خاک‌ها، مقدار اکتا کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار اکتا کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز، ۷/۹ تا ۱۵/۷ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار اکتا کلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز از ۲۷/۸ درصد تا ۴۹/۳ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. در خاک‌های شماره شش و هشت، مقدار اکتاکلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاک کل است که این نشان‌دهنده وجود درصد بالای اکتاکلسیم فسفات در خاکدانه‌های ریز در این دو خاک است (جدول ۴).

آپاتایت (Ca_{10}-P)

نتایج جدول (۴) نشان دادند که در ۴۰ درصد خاک‌ها مقدار آپاتایت در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار آپاتایت در خاکدانه‌های ریز ۲۰/۳ تا ۵۶/۱ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار آپاتایت در خاکدانه‌های ریز از ۱۴/۴ درصد تا ۳۱/۱ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. در خاک شماره شش، مقدار آپاتایت در خاکدانه درشت به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاکدانه ریز است. در خاک شماره شش، مقدار آپاتایت در خاکدانه درشت، ۱۱/۷ درصد بیشتر از خاکدانه‌های ریز بود. نتایج نشان می‌دهد که خاک شماره شش در هر سه تیمار، کمترین مقدار آپاتایت را نسبت به سایر خاک‌ها دارد. با توجه به نتایج جدول (۱) مشاهده می‌شود که خاک شماره شش بیشترین درصد رس را در بین خاک‌ها دارد. هانلی و مورفی نیز گزارش کردند که مقادیر فسفات‌های کلسیم در بخش رس کمترین و در بخش شن، بیشترین مقدار است (۹)

فسفر پیوند شده با آلومینیوم (Al-P)

نتایج نشان دادند که در ۷۰ درصد خاک‌ها (۷ خاک از ۱۰ خاک) مقدار فسفر پیوند شده با آلومینیوم در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار فسفر پیوند شده با آلومینیوم در خاکدانه‌های ریز ۳/۲۵ تا ۱۱/۸ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار فسفر پیوند شده با آلومینیوم در خاکدانه‌های ریز از ۱۳/۵ درصد تا ۹۵/۳ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود (جدول ۴).

فسفر پیوند شده با آهن (Fe-P)

نتایج جدول (۴) نشان دادند که در ۶۰ درصد خاک‌ها مقدار فسفر پیوند شده با آهن در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار فسفر پیوند شده با آهن در خاکدانه‌های ریز ۹/۲ تا ۴۵/۷ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار فسفر پیوند شده با آهن در خاکدانه‌های ریز از ۶/۵ درصد تا ۵۲/۵ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. در خاک شماره پنج مقدار فسفر پیوند شده با آهن در خاکدانه‌های درشت به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های ریز است. در این خاک مقدار فسفر پیوند شده با آهن در خاکدانه‌های درشت، ۲۱/۲ درصد بیشتر از خاکدانه‌های ریز بود.

فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن (O-P)

نتایج نشان دادند که در ۵۰ درصد خاک‌ها فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار فسفر محبوس در خاکدانه‌های ریز صفر تا ۳/۴ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار فسفر حبس شده درون اکسیدهای آهن در خاکدانه‌های ریز از ۱۴/۸ درصد تا ۳۵/۸۲ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود (جدول ۴). به هر حال این شکل‌های

www.SID.ir

Archive of SID

محبوس شده، نگرانی از لحاظ آلودگی محیط زیست ایجاد نمی‌کنند. به‌عبارت دیگر، تحت شرایط خاص این شکل‌های فسفر ممکن است از ذرات خاک آزاد شوند.

فسفر آلی خاک

بیشترین غلظت فسفر آلی منطبق با بیشترین میزان کربن آلی (۱/۸ درصد) در خاک شماره ۱۰ است. در ۶۰ درصد خاک‌ها مقدار فسفر آلی در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. مقدار فسفر آلی در خاکدانه‌های ریز، ۱۱/۵۲ تا ۲۳/۶ درصد از فسفر کل را تشکیل می‌دهد. مقدار فسفر آلی در خاکدانه‌های ریز از ۱۱/۴درصد تا ۴۸/۹ درصد بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود (جدول ۴).

فسفر کل خاک

جدول (۴) میانگین مقادیر فسفر کل در خاک‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان دادند که در ۷۰ درصد خاک‌ها مقدار فسفر کل در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت است. مقدار فسفر کل در خاکدانه‌های ریز از ۸/۰۲ درصد تا ۳۸/۵ درصد، بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. گارلند و همکاران نیز مقدار فسفر کل را در خاکدانه‌های با اندازه مختلف (<۰/۰۵۳، ۰/۲۵-۰/۰۵۳ و ۰/۲۵ < میلی‌متر) در دو خاک به‌شدت هوازده که تحت کشت ذرت و نخود بودند، اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها نشان داد مقدار فسفر کل در خاکدانه‌های با اندازه ۰/۲۵ < میلی‌متر، کمترین و در بخش <۰/۰۵۳ میلی‌متر، بیشترین مقدار بود (۶). اسکالنج و همکاران عنوان کردند، مقادیر بالای فسفر کل در ذرات ریز می‌تواند تلفات فسفر را به‌دلیل آسانی انتقال این ذرات نسبت به ذرات درشت‌تر افزایش دهد (۲۶).

ماگویر و همکاران در بررسی اثر کشت بر توزیع فسفر در خاکدانه‌های با اندازه مختلف (<۲، ۵۲- ۲، ۱۵۰ - ۵۳ و ۲۰۰۰- ۱۵۱ میکرومتر) گزارش کردند که فسفر کل خاک و فسفر قابل استخراج توسط رزین، در هر دو خاک کشت شده و کشت نشده، با کاهش اندازه خاکدانه افزایش یافتند. اما مقدار فسفر معدنی قابل استخراج توسط آب از خاکدانه‌های درشت‌تر (۲۰۰۰ - ۱۵۱ میکرومتر) نسبت به خاکدانه‌های کوچک‌تر (۵۲ - ۲ و ۱۵۰- ۵۳ میکرومتر) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. با این وجود مقادیر فسفر آلی قابل استخراج توسط آب برای همه اندازه خاکدانه‌ها شبیه بود (۱۷).

مک داول و همکاران در بررسی اثر اندازه خاکدانه بر هدررفت فسفر در یک خاک کشت شده به‌صورت متناوب، شکل‌های مختلف فسفر را در خاکدانه‌های با اندازه مختلف اندازه‌گیری کردند. نتایج آنها بدین صورت بود که مقدار فسفر کل در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر کمترین و در بخش ۰/۵- ۰/۲۵ میلی‌متر بیشترین مقدار بود. شکل‌های فسفر معدنی عصاره‌گیری شده توسط H_2SO_4، NaOH، H_2O و HCO_3 و همچنین شکل‌های فسفر آلی عصاره‌گیری شده توسط NaOH و HCO_3، در خاکدانه‌های با اندازه ۰/۵- ۰/۲۵ میلی‌متر بیشترین و بزرگ‌تر از چهار میلی‌متر، کمترین مقدار بودند. بین تمام شکل‌های فسفر و اندازه خاکدانه همبستگی معنی‌داری وجود داشت (۱۸).

گئیسلر و همکاران در مطالعه خود درباره توزیع فسفر در خاکدانه‌ها در خاک‌های شنی با سوابق کوددهی مختلف به این نکته اشاره کردند که، مقدار فسفر در خاکدانه‌های کوچک‌تر (< ۵۳ میکرومتر) نسبت به خاکدانه های درشت‌تر، در همه خاک‌ها، بیشتر است. آنها نتیجه گرفتند که، چون خاک‌های شنی حاوی مقادیر کمی رس هستند، و از آنجایی‌که خاکدانه‌های درشت غالباً از دانه‌های شن تشکیل شده‌اند که در مقایسه با ذرات سیلت و رس نسبت سطح به حجم خیلی کمتری دارند، پس غلظت فسفر در این خاکدانه‌ها پایین است (۸).

لی و همکاران مقادیر فسفر کل، فسفر آلی و شکل‌های مختلف فسفر معدنی (فسفات کلسیم، فسفات آلومینیوم، فسفات آهن و فسفر محبوس درون اکسیدهای آهن) را در خاکدانه‌های با اندازه مختلف (۲ < ، ۲-۰/۲، ۰/۲-۰/۰۲، ۰/۰۲-۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۲> میلی‌متر) در خاک‌های شالیزار اندازه‌گیری کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج آنها نشان داد که مقادیر فسفر کل، فسفر آلی و فسفر معدنی در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر بیشترین و در بخش ۰/۲– ۰/۰۲ میلی‌متر کمترین مقدار بود. به‌طورکلی، مقادیر شکل‌های مختلف فسفر در خاکدانه‌های کوچک‌تر بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود (۱۴).

راناتونگا و همکاران مطالعه‌ای در مورد توزیع فسفر در خاکدانه‌های با اندازه مختلف در دو خاک (یکی تیمار شده با کود مرغی و دیگری بدون کاربرد کود)، انجام دادند. مقدار فسفر قابل استخراج توسط آب در هر دو خاک شاهد و کود داده شده در خاکدانه‌های با اندازه (یک تا دو و ۰/۵ تا یک میلی‌متر) بیشترین مقدار بود. فسفر عصاره‌گیری شده توسط NaOH در خاک شاهد در خاکدانه‌های با اندازه ۰/۱۲۵ – ۰/۰۵۳ میلی‌متر و خاک کود داده شده در خاکدانه‌های ۰/۰۵۳> میلی‌متر بیشترین مقدار بود. فسفر عصاره‌گیری شده توسط HCl در خاک شاهد در بخش کوچک‌تر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر بیشترین مقدار بود، درحالی‌که در خاک کود داده شده در بخش ۲–۱ میلی‌متر به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از دیگر بخش‌ها بود. فسفر عصاره‌گیری شده توسط بی‌کربنات سدیم نیز در همه بخش‌ها به یک میزان بود و فسفر باقی‌مانده در خاک شاهد در خاکدانه‌های با اندازه کمتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر بیشترین مقدار بود (۲۴).

نتیجه‌گیری

همان‌طورکه ملاحظه شد، نتایج نشان داد که؛ کاهش اندازه خاکدانه باعث افزایش فسفر قابل استفاده با روش اولسن شد. به‌طوری‌که در ۷۰ درصد خاک‌های مطالعه شده، مقدار فسفر اولسن در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌داری بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود.

در اغلب خاک‌ها، مقادیر اجزاء فسفر معدنی، فسفرآلی و فسفر کل در خاکدانه‌های ریز بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. مقادیر دی‌کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، آپاتایت، فسفر پیوند شده با آلومینیوم، فسفر پیوند شده با آهن و فسفر حبس شده در درون اکسیدهای آهن، در بیش از ۵۰ درصد خاک‌ها، در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود. مقادیر فسفر آلی و فسفر کل نیز در بیشتر از ۶۰ درصد خاک‌ها، در خاکدانه‌های ریز به‌صورت معنی‌دار بیشتر از خاکدانه‌های درشت بود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان گفت کاهش اندازه خاکدانه باعث افزایش فسفر قابل استفاده با روش اولسن شد. تجمع شکل‌های لبایل فسفر در خاکدانه‌های ریز به‌دلیل مستعد بودن این ذرات برای فرسایش آبی و بادی ایجاد نگرانی می‌کند. پس پیشنهاد می‌شود در خاک‌هایی که راندمان مصرف کود در آنها پایین است مانند خاک‌های آهکی، مدیریت‌هایی صورت گیرد که باعث افزایش خاکدانه‌سازی در خاک شود و تخریب خاکدانه‌ها کمتر صورت گیرد (فعالیت‌هایی مانند کشت با حداقل خاکورزی، کشت آلی، استفاده از کودهای آلی و ... می‌تواند در این زمینه مؤثر باشد).

انتظار می‌رود شکل‌های فسفری که به‌صورت سست به خاکدانه‌های کوچک با مکان‌های سطحی بیشتر متصل‌اند، پتانسیل بیشتری برای آزاد شدن داشته باشند. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات تخمین فسفر قابل دسترس در خاکدانه‌ها، همراه با مطالعات سینتیک جذب و آزاد شدن فسفر صورت گیرد.

همچنین به منظور دستیابی به نتایج و ارزیابی‌های دقیق‌تر در رابطه با اثر خاکدانه‌ها بر فسفر قابل استفاده و تأثیر آن بر حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی و حفظ محیط زیست، توصیه می‌شود این مطالعات با تعداد بیشتری خاک همراه با کشت گیاهان مختلف با سیستم‌های ریشه‌ای متفاوت در خاکدانه‌ها صورت گیرد و اثر اندازه خاکدانه بر شاخص‌های گیاهی نیز بررسی شود.

www.SID.ir

منابع مورد استفاده

۱. احمدی گلی، ک.، ف. کیانی و ا. دردی پور. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر آب و هوایی بر تولید رسوب و هدرروی فسفر وکربنات کلسیم توسط رسوب در حوضه گرگانرود استان گلستان، *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک* ۲۱ (۳): ۲۹۴-۲۸۳.

۲. سالار دینی، ع. ۱۳۷۴. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۳. شاهکلایی، س.، م. بارانی مطلق و ا. دردی‌پور. ۱۳۹۲. فراهمی و جزءبندی فسفر معدنی در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب، *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار* ۳(۲): ۷۳-۵۳.

4. Amezketa, E., R. Arguos, R. Carranza and B. Urgel. 2003. Macro and micro aggregate stability of soils determined by a combination of wet seving and laser-ray differection. *Spanish Journal of Agriculture Research* 4: 83-94.
5. Carpenter, S. R., N. F. Caraco, D. L. Correll, R. W. Howarth, A. N. Sharpley and V. H. Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Application* 8: 559-568.
6. Garland, G., E. K. Bünemann, A. Oberson, E. Frossard, S. Snapp, R. Chikowo and J. Six. 2018. Phosphorus cycling within soil aggregate fractions of a highly weathered tropical soil: A conceptual model. *Soil Biology and Biochemistry* 116: 91-98.
7. Gee, G. H. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-409. *In:* A. Klute, (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Physical Properties, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
8. Geisseler, D., D. Linsler, C. Piegholdt, R. Andruschkewitsch, J. Raupp and B. Ludwig. 2011. Distribution of phosphorus in size fractions of sandy soils with different fertilization histories. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174: 891–898.
9. Hanely, P. K. and M. D. Murphy. 1970. Phosphate forms in particle size separates of Irish soils in relation to drainage and parent materials. *Soil Science Society of America Proceedings* 34: 587-590.
10. He, Z. L., M. J. Wilson, C. O. Campbell, A. C. Edwards and S. J. Chapman. 1995. Distribution of phosphorus in soil aggregate fractions and its significance with regard to phosphorus transport in agricultural runoff. *Water, Air and Soil Pollution* 83: 69–84.
11. Jiang, B. and Y. Gu. 1989. A suggested fractionation scheme for inorganic phosphorus in calcareous soil. *Fertilizer Research* 20: 150-165.
12. Kou, S. 1996. Total organic phosphorus. PP: 869-919. *In*: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA. Madison, WI.
13. Kronvang, B., R. Grant and A. L. Laubel. 1997. Sediment and phosphorus export from a lowland catchment: Quantification of sources. *Water, Air and Soil Pollution* 99:465–476.
14. Li, B., T. Ge, H. Xiao, Z. Zhu, Y. Li, O. Shibistova, S. Liu, J. Wu, K. Inubushi and G. Guggenberger. 2016. Phosphorus content as a function of soil aggregate size and paddy cultivation in highly weathered soils. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 7494-7503.
15. Linquist, B. A., P. W. Singleton, R. S. Yost and K. G. Cassman. 1997. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an Ultisol. *Soil Science Society of America Journal* 61: 160–166.
16. Loeppert, R. H. and D. L. Sparks. 1996. Carbonate and gypsum. PP: 437-474. *In*: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
17. Maguire, R. O., A. C. Edwards and M. J. Wilson. 1998. Influence of cultivation on the distribution of phosphorus in three soils from NE Scotland and their aggregate size fractions. *Soil Use Management* 14: 147–153.
18. McDowell, R. W., A. N. Sharpley, L. M. Condron, P. M. Haygarth and P. C. Brookes. 2001. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59: 269–284.
19. McDowell, R. W., J. T. Scott and L. M. Condron. 2006. Influence of aggregate size on phosphorus loss and ryegrass yield in a soil cultivated intermittently. *Soil Use Management* 22: 224–226.
20. McDowell, R. W., J. T. Scott and L. M. Condron. 2007. Influence of aggregate size on phosphorus changes in a soil cultivated intermittently: analysis by ^{31}P nuclear magnetic resonance. *Biology and Fertility Soils* 43: 409–415.
21. Murphy, I. C. R. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27:31-143.
22. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP. 961-1011. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
23. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 4013-430. *In:* A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part1, Chemical and Biological Properties, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

www.SID.ir

Archive of SID

24. Ranatunga, T. D., S. S. Reddy and R. W. Taylor. 2013. Phosphorus distribution in soil aggregate size fractions in a poultry litter applied soil and potential environmental impacts. *Geoderma* 192: 446–452.
25. Rhoades, J. D. 1996. Salinity, electrical conductivity and total dissolved solids. PP: 417-437. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
26. Scalenghe, R., A. C. Edwards and E. Barberis. 2007. Phosphorus loss in overfertilized soils: the selective P partitioning and redistribution between particle size separates. *European Journal of Agronomy* 27:72-80.
27. Sharpley, A. N. and S. J. Smith. 1990. Phosphorus transport in agricultural runoff: the role of soil erosion, PP: 351–366. *In:* J. Boardman, I. D. L. Foster and J. A. Dearing (Eds.), Soil Erosion on Agricultural Land. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
28. Sumner, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP: 1201-1229. *In:* D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
29. Thao, H. T. B., T. Georg, T. Yamakawa and L. R. Widowati. 2008. Effects of soil aggregate size on phosphorus extractability and uptake by rice (*Oryza sativa* L.) and corn (*Zea mays* L.) in two Ultisols from the Philippines. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 54: 148–158.
30. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP: 475-491. *In*: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
31. Wei, C., M. Gao, J. Shao, D. Xie and G. Pan. 2006. Soil aggregate and its response to land management practices. *China Particulogy* 4: 211–219.
32. Wei, G., Z. Zhou, Y. Guo, Y. Dong, H. Dang, Y. Wang and J. Ma. 2014. Long-term effects of tillage on soil aggregates and the distribution of soil organic carbon, total nitrogen, and other nutrients in aggregates on the semi-arid loess plateau, china. *Arid Land Research and Management* 28: 291-310.
33. Zhang, M. K., Z. L. He, D. V. Calvert, P. J. Stoffella, X. E. Yang and Y. C. Li. 2003. Phosphorus and heavy metal attachment and release in sandy soil aggregate fractions. *Soil Science Society of America Journal* 67:1158–1167.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 3, Fall 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effects of Aggregate Size on Soil Phosphorus Availability and its Fractionation in some Calcareous Soils of Chahar Mahal _Va_ Bakhtiari Province

M. Shirmohammadi*, A. R. Hosseinpur and SH. Kiani[1]

(Received: January 13-2016 ; Accepted: January 24-2018)

Abstract

Understanding the distribution of different P forms in soil aggregate fractions is important in evaluating the risk of P run-off and leaching in the agricultural soils. The objective of the present research was to determine the effect of aggregate size on soil phosphorus availability and fractionation in 10 calcareous soils. Micro aggregate (< 0.25 mm), macro aggregate (> 0.25 mm) and whole soil were separated by dry sieving. Olsen P, total P, organic P, and inorganic P fractions in micro aggregate, macro aggregate, and whole soil were determined. Soil inorganic P fraction was determined by a sequential extraction procedure including: dicalcium phosphate (Ca_2-P), octa calcium phosphate (Ca_8-P), apatite (Ca_{10}-P), P absorbed by Al oxide (Al-P), P absorbed by Fe oxide (Fe-P) and P incorporated in to Fe oxide (O-P). The results showed that the amounts of (Olsen P), (Ca2-P), (Ca8-P), (Ca10-P), (Organic P), (Al-P), (Fe-P), (O-P) and (Total P) in 70, 60, 40, 40, 60, 70, 60, 50 and 70 percent of soils, respectively, in the micro aggregates were significantly higher than those of the macro ones. Finally, by increasing the P content, particularly the smaller sized aggregates, it was likely that the eroded material would favor greater P loss.

Keywords: Macro and micro Aggregates, Available Phosphorus, Calcareous Soils, Sequential Extraction

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: morteza.s@stu.sku.ac.ir

www.SID.ir