

کارایی برآورد فسفر قابل استفاده لوبیا توسط برخی از عصاره‌گیرهای شیمیایی در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری

طاهره رئیسی* و علیرضا حسین‌پور^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۶/۲۶)

چکیده

توانایی آزمون‌های خاک در پیش‌بینی قابلیت استفاده فسفر برای گیاه در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش ارزیابی چند عصاره‌گیر شیمیایی در برآورد فسفر قابل استفاده لوبیا در ۱۰ خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب از استان چهارمحال و بختیاری در گلخانه بود. بدین منظور نمونه‌های خاک یک‌ماه با لجن فاضلاب شهری در نرخی معادل با ۳۹ تن در هکتار خوابانیده شدند. سپس فسفر قابل استفاده این خاک‌ها توسط عصاره‌گیرهای اولسن، کالول، بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای، کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، بری I، II و مهلیچ I و II تعیین شدند. به منظور بررسی شاخص‌های گیاه لوبیا یک کشت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی به مدت ۸ هفته اجرا شد. نتایج این آزمایش نشان داد که مقدار فسفر استخراجی توسط روش‌های عصاره‌گیری ذکر شده به صورت زیر کاهش یافت کالول < بری II < مهلیچ II < اولسن < بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌پی‌ای < مهلیچ I < بری I < کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار. همچنین، فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ II، I، اولسن و کالول همبستگی معنی‌داری با غلظت فسفر در بخش هوایی و مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا داشته و می‌توانند برای برآورد فسفر قابل استفاده لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب استفاده شوند.

کلمات کلیدی: لجن فاضلاب، فسفر قابل استفاده، لوبیا، و عصاره‌گیرهای شیمیایی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: taraiesi@gmail.com

مقدمه

به دنبال افزودن کود آلی و شیمیایی به خاک‌های مطالعه شده افزایش یافت.

قابلیت دسترسی فسفر در میان تیمارهای اعمال شده در لجن فاضلاب حداقل بود. آنها دلیل این رخداد را به مقدار کلسیم کل بالاتر لجن فاضلاب نسبت به تیمارهای دیگر ربط دادند. همچنین در پژوهشی دیگر پگیلاری (۲۶) گزارش کردند که استفاده از خاکستر کود آلی نسبت به استفاده از سوپر فسفات تریپل منجر به افزایش بیشتر غلظت فسفر استخراجی با روش‌های بری I و نوارهای کاغذی شد.

طی دهه‌های گذشته مطالعاتی نیز در ارتباط با آزمون‌های شیمیایی فسفر باقیمانده در خاک‌های تیمار شده با منابع آلی انجام شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد تعداد زیادی از آزمون‌های شیمیایی برای ارزیابی فسفر قابل دسترس گیاه در خاک‌های تیمار شده با منابع آلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲، ۴، ۱۲، ۲۴، ۲۵، ۲۹ و ۳۳). تحقیقات نشان می‌دهد که آزمون شیمیایی بری I در خاک‌های خنثی تا اندکی اسیدی آزمون مناسبی است اما در خاک‌های آهکی مقدار فسفر قابل دسترس گیاه را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند (۱۵). آزمون شیمیایی اولسن در خاک‌های آهکی برآوردی واقع بینانه‌تر از فسفر قابل دسترس گیاه دارد (۱۴). از طرف دیگر، امروزه به دلیل افزایش تقاضا برای آزمون شیمیایی خاک و همچنین صرفه‌جویی در وقت و هزینه، استفاده از عصاره‌گیرهای چند منظوره مانند روش بی‌کربنات آمونیوم-دی‌تی‌بی‌ای و مهلیچ رواج یافته است (۱۵). تیلور و همکاران (۳۳) به بررسی قابلیت دسترسی فسفر باقیمانده در یک خاک تیمار شده با لجن فاضلاب شهری پرداختند. بررسی نتایج رگرسیون بین غلظت فسفر در گیاه و فسفر قابل استخراج توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف نشان داد که شاخص‌های گیاه ذرت بالاترین همبستگی را با فسفر استخراجی به روش مورگان و شاخص‌های گیاه سورگوم بالاترین همبستگی را با فسفر عصاره‌گیری شده به روش‌های مهلیچ I و بری I داشت. گال و همکاران (۱۲) به بررسی

فسفر نقش کلیدی در تولید دانه و عملکرد محصولات زراعی دارد. طبق گزارش لارسن (۱۷) غلظت فسفر در فاز محلول حدود ۱/۰ تا ۱ میلی‌گرم بر لیتر است که این مقدار با خصوصیات فاز جامد، مایع و همچنین با نسبت بین فاز جامد به محلول تغییر می‌کند. با توجه به مقدار اندک فسفر در فاز محلول، فسفر به زمین‌های تحت کشت به صورت کودهای شیمیایی یا کودهای آلی افزوده می‌شود. یکی از منابع آلی حاوی مقادیر ارزشمند فسفر، بیوسالیدها (biosolids) نظیر لجن فاضلاب می‌باشند. کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر کم از نقطه نظر تغذیه گیاه، اکولوژیکی و اقتصادی مهم است. ولی این نیازمند بررسی دقیق فسفر باقیمانده قابل دسترس گیاه در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب است. آزمون خاک ابزار ارزشمندی است که می‌تواند در بررسی قابلیت دسترسی عناصر غذایی برای گیاه مفید باشد. فسفر قابل استفاده عبارت است از مقدار فسفوری که در طی رشد گیاه وارد محلول خاک شده و جذب گیاه می‌گردد. مقدار فسفر قابل استفاده گیاه تابع خصوصیات خاک و گیاه است. به طور کلی، استخراج و اندازه‌گیری دقیق مقادیر فسفوری که گیاه جذب می‌کند، امکان‌پذیر نیست اما می‌توان به روش‌های مختلف از جمله آزمون‌های آزمایشگاهی، اجزائی از فسفر خاک را استخراج نمود که با فسفر جذب شده توسط گیاه همبستگی نزدیکی داشته باشند (۲). به همین دلیل تعدادی آزمون آزمایشگاهی توسعه یافته و همبستگی نتایج حاصل از این آزمون‌های آزمایشگاهی با عملکرد گیاه و یا جذب فسفر بررسی شده است. این آزمون‌ها برای بررسی فسفر قابل استفاده در خاک‌هایی که کود آلی و یا شیمیایی دریافت کرده‌اند، استفاده می‌شوند اما رابطه بین فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی و ارتباط فسفر عصاره‌گیری شده توسط این روش‌ها با شاخص‌های گیاه در خاک‌هایی که کود آلی یا شیمیایی دریافت کرده‌اند، متفاوت است (۳، ۹، ۱۱، ۲۶ و ۳۰). طبق گزارش سیدیکیو و رایینسون (۳۰) شاخص جذب فسفر به دنبال کاربرد لجن فاضلاب کاهش و قابلیت دسترسی فسفر

خاک‌های زراعی دشت شهرکرد از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از هواخشک کردن، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس ۱۰ نمونه خاک براساس مقادیر درصد رس، کربنات کلسیم معادل و مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن (۱۶) انتخاب شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منتخب به روش‌های معمول آزمایشگاهی تعیین شدند. pH نمونه‌های خاک در سوسپانسیون ۲ به ۱ محلول به خاک (۳۴)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت ۲ به ۱ محلول به خاک (۲۷)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسیدکلریدریک یک نرمال (۱۸)، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (۲۳) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۳) اندازه‌گیری شد.

جهت انجام این پژوهش از لجن فاضلاب شهری تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد استفاده شد. لجن فاضلاب، هوا خشک شد و از الک ۵/۰ میلی‌متری عبور داده شد و پاره‌ای ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده از جمله pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی مطابق با روش‌های ذکر شده در بند قبلی، همچنین فسفر کل با روش هضم با اسیدنیتریک و اسیدپرکلریک (۱۶)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (۸)، و غلظت کل فلزات سنگین شامل روی، مس، سرب، نیکل و کادمیوم (۳۲) اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تیمار خاک‌ها با لجن فاضلاب، معادل یک درصد وزنی (۳۹ تن بر هکتار) لجن فاضلاب عبور داده شده از الک ۵/۰ میلی‌متری به خاک اضافه شد. رطوبت خاک‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسانده و یک ماه پس از اعمال تیمارها، فسفر قابل استفاده توسط عصاره‌گیرهای اولسن (۱۶)، کالول (۱۰)؛ کلرید کلسیم ۱۰/۰ مولار (۱۹)، بی‌کربنات آمونیوم - دی‌تی‌پی‌ای (۳۱)؛ مهلیچ I (۲۰)، مهلیچ II (۲۱)، بری I و بری II (۷) عصاره‌گیری شد. غلظت فسفر نمونه‌ها به روش رنگ‌سنجی (۲۲) تعیین شد.

به‌منظور ارزیابی اثر نوع خاک بر شاخص‌های گیاه لوبیا (عملکرد خشک بخش هوایی، غلظت فسفر در بخش هوایی و

قابلیت دسترسی فسفر توسط روش‌های اولسن و غشا تبادل آنیونی در خاک‌هایی که چهار سال متوالی کود آلی دریافت کرده بودند، پرداختند. نتایج حاکی از وجود همبستگی بالای فسفر استخراجی با غشا تبادل آنیونی و فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن بود. سرکار و اوکانور (۲۸) گزارش کردند که فسفر قابل استخراج به روش نوارهای کاغذی و فسفر عصاره‌گیری شده با روش مهلیچ I روش‌های مناسبی برای ارزیابی قابلیت دسترسی فسفر باقیمانده در خاک‌های اسیدی تیمار شده با لجن فاضلاب برای یک نوع چمن بودند. اختر و همکاران (۲) گزارش کردند که مصرف لجن فاضلاب، فسفر استخراج شده توسط نوارهای کاغذی پوشیده با اکسیدهای آهن را افزایش داد. آنها افزایش قابلیت دسترسی فسفر را به اثر افزایش لجن فاضلاب بر معدنی شدن فسفر آلی و کمپلکس شدن آهن، آلومینیوم و کلسیم توسط لیگاندهای آلی حاصل از تجزیه جزئی لجن فاضلاب نسبت دادند. عادل و همکاران (۴) به بررسی تغییر فسفر قابل استخراج با آب مقطر و فسفر استخراجی با روش مهلیچ III در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی در یک دوره ۹۰ روزه انکوباسیون پرداختند. نتایج نشان داد که خاک‌های درشت بافت حاوی مقادیر بیشتری از فسفر محلول در آب مقطر بودند.

اطلاعات در مورد ارتباط بین شاخص‌های شیمیایی فسفر قابل استفاده گیاه با شاخص‌های گیاه در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب شهری محدود است. بنابراین، این تحقیق با هدف مقایسه عصاره‌گیرهای مختلف در استخراج فسفر و نیز بررسی همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده توسط تعدادی از روش‌های شیمیایی با شاخص‌های گیاه لوبیا در تعدادی از خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب از استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش ۳۰ نمونه خاک از نقاط مختلف

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک‌های مطالعه شده

شماره خاک	واکنش خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت خاک	سیلت رس (درصد)	کربنات کلسیم معادل (گرم بر کیلوگرم)	کربن آلی اولسن	فسفر
۱	۸/۰	۰/۳۶	clay loam	۳۵ ۳۷	۴۲۱	۳/۱	۲۴/۷
۲	۸/۰	۰/۳۸	clay	۴۰ ۴۸	۱۶۲	۵/۰	۱۵/۹
۳	۸/۰	۰/۴۶	loam	۳۳ ۲۵	۴۱۰	۴/۳	۱۷/۵
۴	۸/۰	۰/۴۲	Clay	۳۶ ۴۹	۴۷۵	۴/۱	۱۹/۱
۵	۸/۰	۰/۴۶	silty clay	۴۳ ۵۲	۳۸۸	۵/۴	۱۸/۱
۶	۷/۹	۰/۵۹	Clay	۳۰ ۵۵	۲۶۷	۸/۴	۲۲/۴
۷	۸/۱	۰/۳۶	silty clay loam	۴۴ ۳۷	۳۲۵	۵/۱	۴۰/۱
۸	۸/۱	۰/۵۹	clay	۳۹ ۴۹	۲۶۶	۱۳/۹	۳۲/۰
۹	۸/۰	۰/۶۱	silty clay loam	۴۷ ۳۷	۲۱۰	۱۰/۴	۷۱/۹
۱۰	۸/۰	۰/۲۶	sandy loam	۲۵ ۱۳	۱۹۰	۷/۰	۱۶/۸

بررسی شد. معنی‌دار بودن تفاوت‌ها توسط آزمون حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵ درصد مورد سنجش قرار گرفت. همبستگی بین مقدار فسفر استخراج شده به‌وسیله تعدادی از عصاره‌گیرهای شیمیایی و همچنین همبستگی بین مقدار فسفر استخراج شده توسط این روش‌های شیمیایی با شاخص‌های گیاه لوبیا شامل عملکرد خشک بخش هوایی، غلظت فسفر در بخش هوایی لوبیا و مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا در تعدادی از خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری توسط نرم‌افزار Statistica 10 بررسی شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دامنه مقدار رس و سیلت در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب از ۱۳/۳ تا ۵۵ و از ۲۵ تا ۴۷ درصد، دامنه کربنات کلسیم معادل از ۱۶۲ تا ۴۷۵ گرم بر کیلوگرم خاک و مقدار

مقدار فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا)، آزمایش به صورت گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی در ده نوع خاک و در سه تکرار انجام شد. گلدان‌ها با چهار کیلوگرم خاک‌های یک‌ماه انکوبه شده با لجن فاضلاب پر شدند. برای کشت گیاه، بذرهای لوبیا رقم صیاد (*Phaseolus vulgaris*) پس از ضدعفونی با هیپوکلریت سدیم و تلقیح با باکتری ریزوبیوم به تعداد شش بذر در قسمت مرکزی گلدان‌ها کشت شد. در پایان هفته اول تعداد بذرها در هرگلدان به چهار عدد تقلیل یافت. در طول مدت رشد، مراقبت‌های لازم انجام و سعی شد رطوبت خاک‌ها در حد ظرفیت مزرعه ثابت بماند. بخش هوایی گیاهان ۸ هفته بعد از کاشت برداشت شد. بخش‌های هوایی گیاهان با آب مقطر شسته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک و وزن خشک اندام هوایی تعیین شد. نمونه‌های خشک شده در آون به روش خاکستر خشک هضم و مقدار فسفر موجود در نمونه‌های هضم شده به روش مورفی و رایلی (۲۲) تعیین شد. در نهایت اثر نوع خاک بر شاخص‌های گیاه توسط آنالیز واریانس یک‌طرفه با استفاده از نرم‌افزار استاتیسیتیکا ۱۰

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده

مقدار	واحد	ویژگی
۷/۵	-	pH (عصاره ۱:۵)
۲/۲۵	دسی‌زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی (عصاره ۱:۵)
۵/۷	درصد	نیتروژن کل
۱/۸۵	"	فسفر کل
۲۰	"	کربن آلی
۱۳۲۱	میلی‌گرم بر کیلوگرم	روی کل
۷۸	"	مس کل
۰/۹۱	"	کادمیوم کل
۲۶۷	"	سرب کل
۷۸	"	نیکل کل

این عناصر در لجن فاضلاب کمتر از حداکثر غلظت استاندارد این عناصر (حداکثر غلظت استاندارد عناصر روی، مس، کادمیم، نیکل و سرب به ترتیب ۷۵۰۰، ۴۳۰۰، ۸۵، ۴۲۰ و ۸۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم؛ ۳۵) می‌باشد و بنابراین کاربرد آن مشکلا نخواهد بود.

آزمون‌های شیمیایی فسفر

مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های مختلف در جدول ۳ آورده شده است. مقدار فسفر استخراج شده توسط یک روش در خاک‌های مختلف متفاوت است. این نتیجه نشان دهنده تفاوت خاک‌ها در آزاد کردن فسفر به محلول‌های عصاره‌گیر می‌باشد. مقدار فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف در یک خاک نیز متفاوت بود. این امر نشان دهنده به‌کارگیری مکانیزم‌های مختلف توسط این عصاره‌گیرها می‌باشد. به‌طور کلی در عصاره‌گیری فسفر از خاک از مکانیسم‌های حل شدن در اسید، تشکیل کمپلکس با کاتیون‌های در ارتباط با فسفر، رسوب و هیدرولیز کاتیون‌های در ارتباط با فسفر استفاده می‌شود (۱۵).

مقادیر فسفر استخراجی با روش اولسن از خاک‌های مطالعه شده در دامنه ۲۹/۵ تا ۸۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بیشترین

کربن آلی از ۳/۱ تا ۱۳/۹ گرم بر کیلوگرم خاک می‌باشد. خاک‌های مورد مطالعه قلیایی (دامنه pH از ۷/۹ تا ۸/۱) و غیرشور (دامنه هدایت الکتریکی از ۰/۲۶ تا ۰/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر) بودند. بنابراین، می‌توان گفت خاک‌های بررسی شده دارای دامنه وسیعی از نظر فسفر استخراجی با روش اولسن، درصد رس و مقدار کربنات کلسیم معادل می‌باشند.

خصوصیات لجن فاضلاب

برخی از ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. این ترکیب دارای ۲۰ درصد کربن آلی می‌باشد که می‌تواند اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشد. مقدار نیتروژن و فسفر کل در لجن فاضلاب شهری مورد استفاده به ترتیب ۵/۷ و ۱/۸۵ درصد بود. همچنین مقدار روی و مس کل آن به ترتیب ۱۳۲۱ و ۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. بنابراین انتظار می‌رود استفاده از لجن فاضلاب شهری می‌تواند حداقل بخشی از نیاز گیاه به این عناصر را تأمین کند.

مقایسه مقادیر عناصر سنگین موجود در لجن فاضلاب مورد استفاده در این تحقیق (جدول ۲) با استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) نشان‌داد که غلظت

جدول ۳. مقادیر فسفر استخراج شده (میلی گرم بر کیلوگرم) با روش های شیمیایی در خاک های تیمار شده با لجن فاضلاب

شماره خاک	اولسن	کالول	بی کربنات آمونیوم-دی تی پی ای	کلرید کلسیم	بری I	بری II	مهلیچ I	مهلیچ II
۱	۲۹/۵	۹۹/۸	۱۱/۲	۲/۳	۳/۲	۳۸/۰	۴/۷	۵۰/۸
۲	۳۳/۳	۱۰۱/۰	۱۱/۳	۲/۰	۷/۵	۴۱/۸	۴/۵	۵۵/۵
۳	۳۲/۳	۱۱۶/۸	۱۱/۱	۲/۰	۰/۵	۰/۸	۷/۱	۴۴/۰
۴	۳۷/۵	۱۱۳/۵	۲۲/۳	۱/۵	۰/۶	۰/۶	۳/۹	۳۸/۳
۵	۳۴/۵	۱۰۶/۱	۱۳/۶	۱/۶	۲/۳	۴۳/۴	۴/۱	۵۰/۳
۶	۳۴/۶	۸۸/۶	۵/۸	۱/۷	۳۰/۳	۱۰۷/۱	۸/۰	۴۳/۵
۷	۴۷/۰	۱۲۹/۸	۲۴/۹	۲/۳	۴۳/۱	۱۰۷/۹	۲۱/۹	۱۱۹/۸
۸	۴۶/۶	۱۵۱/۸	۱۷/۰	۲/۰	۰/۴	۰/۷	۵/۲	۵۶/۰
۹	۸۰/۲	۱۹۹/۰	۳۸/۲	۴/۳	۹/۶	۱۰۵/۸	۱۸/۰	۱۵۴/۰
۱۰	۳۴/۹	۱۰۷/۶	۲۸/۶	۲/۱	۰/۱	۳۳/۵	۷/۴	۲۲/۸
میانگین	۳۸/۹	۱۲۱/۴	۱۸/۴	۲/۲	۸/۵	۶۳/۵	۹/۸	۴۸/۰

خاک باشد. علاوه بر این، درصد سیلت نیز در خاک شماره ۹ در میان خاک های مطالعه شده حداکثر مقدار بود. در واقع ممکن است در خاک ۹ کربنات کلسیم در اندازه سیلت وجود داشته و یا در بخش سیلت این خاک کانی هایی وجود داشته باشد که توانسته اند فسفر را به صورت جذب سطحی نگه داشته و این فسفر طی عصاره گیری آزاد شده است. همچنین عصاره گیرهای مهلیچ I و بری II بیشترین مقدار فسفر را از خاک ۷ (به ترتیب ۲۱/۹ و ۱۰۷/۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار فسفر را از خاک ۴ (به ترتیب ۳/۹ و ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم) استخراج کردند (جدول ۳). دامنه مقدار فسفر استخراجی با روش بری I از ۰/۴ (خاک شماره ۸) تا ۴۳/۱ (خاک شماره ۷) میلی گرم بر کیلوگرم متغیر بود. متوسط مقدار فسفر استخراجی توسط روش های عصاره گیری ذکر شده در خاک های مطالعه شده به صورت زیر کاهش یافت (جدول ۳): کالول < بری II < مهلیچ II < اولسن < بی کربنات آمونیوم-دی تی پی ای < مهلیچ I < بری I < کلرید کلسیم ۰/۱ مولار. نتایج نشان داد با افزایش زمان عصاره گیری فسفر با بی کربنات سدیم از نیم ساعت به ۱۶ ساعت، توانایی این عصاره گیر برای استخراج فسفر

مقدار فسفر توسط این عصاره گیر از خاک شماره ۹ و کمترین آن از خاک شماره ۱ استخراج شد. دامنه تغییر مقدار فسفر استخراجی توسط روش کالول و بی کربنات آمونیوم-دی تی پی ای به ترتیب از ۸۸/۶ تا ۱۹۹/۰ و ۵/۲۸ تا ۳۸/۲ میلی گرم بر کیلوگرم خاک بود. در این دو روش نیز مشابه روش اولسن، بیشترین مقدار فسفر از خاک شماره ۹ ولی کمترین مقدار فسفر از خاک شماره ۶ استخراج شد. دامنه تغییر مقدار فسفر استخراجی توسط عصاره گیر کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار از ۱/۵ تا ۴/۳ میلی گرم بر کیلوگرم و بیشترین و کمترین مقدار فسفر به ترتیب از خاک ۹ و ۴ استخراج شد. مقدار فسفر استخراجی توسط روش مهلیچ II از ۲۲/۸ (خاک ۱۰) تا ۱۵۴/۰ (خاک ۹) میلی گرم بر کیلوگرم بود. این روش عصاره گیری نیز مشابه سایر روش های عصاره گیری ذکر شده در بالا، بیشترین فسفر را از خاک شماره ۹ استخراج کرد. بیشترین مقدار فسفر قابل استفاده اولیه نیز در خاک ۹ مشاهده شد (جدول ۱). بنابراین به نظر می رسد، سابقه کودهی و بالاتر بودن فسفر قابل استفاده اولیه خاک ۹ نسبت به سایر خاک های بررسی شده می تواند یکی از دلایل استخراج مقادیر بالایی از فسفر توسط روش های عصاره گیری ذکر شده از این

جدول ۴. ضرایب همبستگی بین چند روش آزمون شیمیایی فسفر (n= ۱۰)

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	
۰/۴۷	۰/۲۷	۰/۸۷**	۰/۷۴*	۰/۷۶*	۰/۷۸**	۰/۹۳**	۱- اولسن
۰/۲۲	- ۰/۰۳	۰/۷۹**	۰/۵۸	۰/۸۲**	۰/۷۵*	-	۲- کالول
۰/۲۶	۰/۰	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۷۰*	-	-	۳- بی کربنات آمونیوم-دی تی پی ای
۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۸۲**	۰/۶۴*	-	-	-	۴- کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار
۰/۷۴*	۰/۷۱*	۰/۸۶**	-	-	-	-	۵- مهلیچ I
۰/۶۶*	۰/۴۷	-	-	-	-	-	۶- مهلیچ II
۰/۸۱**	-	-	-	-	-	-	۷- بری I
-	-	-	-	-	-	-	۸- بری II

** و * : به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد ($P \leq 0.01$) و در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P \leq 0.05$)

عصاره‌گیری (حدول ۴) نشان داد که فسفر استخراجی به روش اولسن و کالول همبستگی معنی داری با همدیگر و با فسفر استخراجی به روش‌های مهلیچ II، بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای و کلرید کلسیم رقیق داشتند. همچنین، بررسی نتایج نشان داد که روش بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای با روش‌های اولسن، کالول و کلرید کلسیم رقیق همبستگی معنی داری داشت. روش کلرید کلسیم رقیق نیز همبستگی معنی داری با روش‌های اولسن، کالول، بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای، مهلیچ I و II داشت. نتایج بررسی ضریب همبستگی نشان داد که فسفر استخراجی به روش مهلیچ II با فسفر استخراجی با روش‌های مهلیچ I، کلرید کلسیم رقیق، اولسن، کالول و بری II همبستگی معنی داری داشت. علاوه بر این، فسفر استخراجی به روش مهلیچ I با فسفر استخراجی با سایر روش‌های عصاره‌گیری استفاده شده در این تحقیق به استثناء کالول و بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای همبستگی معنی داری داشت. همچنین فسفر استخراجی با روش بری II با فسفر استخراج شده با روش‌های مهلیچ I، II و بری I همبستگی معنی داری داشت. فسفر استخراجی به روش بری I فقط با فسفر استخراجی به روش بری II و مهلیچ I همبستگی معنی داری داشت. هالفورد (۱۴) به بررسی همبستگی بین چهار روش آزمون خاک فسفر (اولسن، کالول، بری I و بری II) پرداخت. او گزارش کرد که همبستگی بالا بین دو آزمون خاک

افزایش یافته است به طوری که متوسط فسفر استخراجی به روش اولسن و کالول در ۱۰ خاک تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب ۳۸/۹ و ۱۲۱/۴ بود. بلانچر و کالدول (۵) بیان کردند که مقدار فسفر استخراجی به روش کالول دو برابر اولسن بود و می توان گفت عصاره‌گیر کالول تقریباً تمام فسفر قابل استفاده را استخراج می کند. در این مطالعه مقدار فسفر استخراجی با روش کالول تقریباً سه برابر مقدار فسفر استخراجی با روش اولسن بود. تحقیقات قبلی در مناطق دیگر نیز نشان داد که آزمون‌های شیمیایی فسفر که مکانسیم استخراج آنها بر پایه ی حل شدن در اسید است، فسفر بیشتری را نسبت به دیگر روش‌های عصاره‌گیری متداول از خاک‌های تیمار شده با کود آلی استخراج می کنند (۳ و ۲۹). همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می شود کلرید کلسیم رقیق فسفر کمتری نسبت به سایر روش‌های عصاره‌گیری از خاک‌های مورد مطالعه استخراج می کند. به دنبال کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، کمترین مقدار فسفر توسط مهلیچ I و بری I از خاک‌های مورد مطالعه استخراج شد. اسیدهای رقیق در روش‌های مهلیچ I و بری I قادر نیستند فسفر زیادی از خاک استخراج نمایند زیرا خاک‌های آهکی تمایل دارند اسید را خنثی نمایند و ظرفیت این عصاره‌گیرها برای استخراج فسفر کاهش می یابد. بررسی نتایج همبستگی به دست آمده بین روش‌های مختلف

تنها زمانی قابل انتظار بود که آزمون‌ها از درجه حساسیت مشابهی به ظرفیت بافری برخوردار باشند. به عبارت دیگر، وقتی عصاره‌گیرها از مکانیسم‌های مختلف استخراج برخوردار باشند، احتمال این‌که مقادیر فسفر استخراج شده توسط آنها در دامنه وسیعی از خاک‌ها با یکدیگر همبستگی داشته باشد، ضعیف است.

در مطالعات قبلی نیز همبستگی مقدار فسفر استخراجی توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی بررسی شده است (۱، ۳، ۴، ۱۱، ۱۲، ۲۶ و ۳۳). تیلور و همکاران (۳۳) گزارش کردند که فسفر استخراجی به روش‌های عصاره‌گیری مختلف از یک خاک تیمار شده با لجن فاضلاب شهری عموماً رده زیر را دنبال کرد: بری I < مهلیچ III < مهلیچ I < مورگان. بررسی نتایج همبستگی بین فسفر استخراجی به روش‌های مختلف عصاره‌گیری تحت تأثیر شش منبع آلی فسفر شامل لجن فاضلاب شهری نشان داد که بالاترین همبستگی بین فسفر استخراجی با روش بری I و مهلیچ III و کوچک‌ترین همبستگی بین فسفر استخراجی با روش بری I و فسفر قابل استخراجی با غشا تبادل آنیونی وجود داشت. اتیا و مالارینو (۳) گزارش کردند که روش‌های عصاره‌گیری بری I، مهلیچ III، و روش رزین از خاک‌های تیمار شده با فضولات خوک فسفر بیشتری را نسبت به روش اولسن و روش نوارهای کاغذی استخراج کردند. همچنین ضریب همبستگی بین فسفر استخراجی با روش بری I و مهلیچ III بزرگ‌تر از ضرایب همبستگی بین فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن با فسفر عصاره‌گیری شده توسط روش‌های بری I و مهلیچ III بود. در تحقیقی از پگیلاری و همکاران (۲۶) فسفر استخراجی با روش‌های عصاره‌گیری مختلف به صورت زیر کاهش یافت: بری I < اولسن < نوارهای کاغذی < آب مقطر.

همبستگی شاخص‌های گیاه با مقدار فسفر استخراج شده با روش‌های شیمیایی

عملکرد خشک، غلظت فسفر و فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا در ده خاک مورد مطالعه در جدول ۵ آورده شده

است. کمترین و بیشترین جذب فسفر توسط لوبیا مربوط به خاک ۴ (۲۵/۵ میلی‌گرم در گلدان)؛ و خاک ۹ (۵۷/۵ میلی‌گرم در گلدان) بود. همچنین بیشترین عملکرد خشک و غلظت فسفر در بخش هوایی لوبیا مربوط به خاک ۹ بود و کمترین عملکرد خشک و غلظت فسفر در بخش هوای لوبیا به ترتیب در خاک ۸ و خاک ۴ مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که از میان شاخص‌های بررسی شده از گیاه لوبیا فقط غلظت فسفر در بخش هوایی لوبیا به طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع خاک است. بررسی همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط عصاره‌گیرهای شیمیایی با شاخص‌های گیاه لوبیا در جدول ۶ آورده شده است. بررسی نتایج نشان داد که شاخص عملکرد خشک لوبیا با هیچیک از مقادیر فسفر استخراجی با عصاره‌گیرهای شیمیایی همبستگی معنی‌داری نداشت. در بین آزمون‌های شیمیایی فسفر مورد استفاده در این تحقیق، همبستگی معنی‌داری بین غلظت فسفر در بخش هوایی لوبیا و فسفر استخراجی با روش‌های مهلیچ I، II، کلرید کلسیم رقیق، اولسن، کالول و بی‌کربنات آمونیوم - دی‌تی‌پی‌ای؛ و همچنین فسفر جذب شده توسط بخش هوایی لوبیا با فسفر استخراجی به روش کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ II، I، اولسن و کالول مشاهده شد (جدول ۶).

همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در بین روش‌های عصاره‌گیری مورد استفاده، فسفر استخراجی با روش‌های کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ II، I، اولسن و کالول با شاخص‌های گیاه لوبیا (غلظت و جذب فسفر توسط بخش هوایی گیاه) همبستگی معنی‌داری داشتند. بنابراین، با توجه به همبستگی معنی‌دار فسفر استخراجی با شاخص‌های جذب و غلظت فسفر در لوبیا، به نظر می‌رسد این روش‌های عصاره‌گیری می‌توانند در برآورد فسفر قابل استفاده در این خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب مناسب باشند. بررسی ضرایب همبستگی نشان داد که همبستگی فسفر استخراجی توسط ۸ روش عصاره‌گیری مورد استفاده با فسفر جذب شده توسط لوبیا در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب به ترتیب زیر کاهش یافت: کلرید کلسیم رقیق > مهلیچ II < مهلیچ I < بری I < اولسن < کالول < بی‌کربنات

جدول ۵. شاخص‌های گیاه لوبیا در خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	غلظت (درصد)	عملکرد خشک (گرم بر گلدان)	فسفر جذب شده (میلی گرم بر گلدان)
۱	۰/۳۳	۱۲/۲	۴۰/۸
۲	۰/۲۴	۱۲/۷	۳۰/۹
۳	۰/۲۹	۱۲/۳	۳۴/۹
۴	۰/۲۴	۱۰/۶	۲۵/۵
۵	۰/۲۷	۱۳/۹	۳۷/۹
۶	۰/۲۷	۱۳/۶	۳۷/۰
۷	۰/۴۰	۱۱/۵	۴۶/۴
۸	۰/۳۳	۱۰/۰	۳۳/۱
۹	۰/۴۱	۱۴/۲	۵۷/۵
۱۰	۰/۳۴	۱۰/۸	۳۶/۳
	۰/۱۰	-	-
LSD			
	*۲/۹	ns۲/۳	ns۲/۴
F			

*: معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P \leq 0.05$) و ns در سطح احتمال ۹۵٪ معنی دار نیست.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین شاخص‌های گیاه لوبیا و فسفر عصاره‌گیری شده با روش‌های شیمیایی ($n = 10$)

شاخص‌های گیاه	اولسن	کالول	بی‌کربنات آمونیوم - دی‌تی‌پی‌ای	کلرید کلسیم	بری I	بری II	مهلیج I	مهلیج II
غلظت (درصد)	۰/۷۰*	۰/۶۸*	۰/۶۸*	۰/۷۳*	۰/۳۶	۰/۵۰	۰/۸۲**	۰/۷۵*
عملکرد خشک (گرم بر گلدان)	۰/۱۰	۰/۰۷	-۰/۱۱	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۵۹	۰/۱۷	۰/۳۷
فسفر جذب شده (میلی گرم بر گلدان)	۰/۶۹*	۰/۶۵*	۰/۵۷	۰/۸۶**	۰/۳۹	۰/۷۴*	۰/۷۹**	۰/۸۵**

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد ($P \leq 0.01$) و در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P \leq 0.05$)

سرکار و اوکانور (۲۸) گزارش کردند که به دنبال کاربرد لجن فاضلاب، فسفر قابل استخراج توسط کلرید پتاسیم بخش عمده تغییرات در جذب فسفر توسط یک نوع چمن را توجیه می‌کند. اما دو سال پس از کاربرد لجن فاضلاب، فسفر قابل استخراج توسط کلرید پتاسیم همبستگی پایینی با شاخص‌های گیاه داشت و فسفر قابل استخراج توسط نوارهای کاغذی و فسفر عصاره‌گیری شده با روش مهلیج I از همبستگی بالایی با شاخص‌های گیاه برخوردار بودند. اتیا و مالارینو (۳) گزارش کردند که فسفر استخراجی با روش‌های بری I، مهلیج III و اولسن به طور معنی داری با جذب فسفر توسط گیاه همبستگی داشتند. کاویگلی و تیین (۹) گزارش کردند که روش

آمونیوم دی‌تی‌پی‌ای. در واقع هدف از استفاده از یک عصاره‌گیر، استخراج تمام یا بخشی از فسفر قابل استفاده در خاک‌های با خصوصیات متفاوت می‌باشد و از سوی دیگر این مقدار فسفر عصاره‌گیری شده باید با شاخص‌های رشد گیاه همبستگی بالایی داشته باشد. بنابراین به نظر می‌رسد به دنبال یک ماه خواباندن خاک با لجن فاضلاب شهری، شکل فسفر محلول و فسفر محلول در اسید در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه لوبیا دخیل می‌باشند و عصاره‌گیرهایی که قادرند شکل‌های ذکر شده از فسفر را استخراج نمایند همبستگی بالاتری با شاخص‌های گیاه در بازه‌های زمانی کوتاه پس از کاربرد لجن فاضلاب خواهند داشت.

در خاک‌های مطالعه شده متفاوت بود. به‌طور کلی، متوسط مقدار فسفر استخراجی توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف به کار رفته در این تحقیق به صورت زیر کاهش یافت: کالول < بری II < مهلیچ II < اولسن < بی‌کربنات آمونیوم دی‌تی‌پی‌ای < مهلیچ I < بری I < کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار. همچنین، بررسی نتایج همبستگی نشان داد که وقتی عصاره‌گیرها از مکانیسم‌های استخراج مشابه برخوردار باشند، احتمال این‌که مقادیر فسفر استخراج شده توسط این عصاره‌گیرها در دامنه وسیعی از خاک‌ها با یکدیگر ارتباط داشته باشد، قوی بود. براساس ضریب همبستگی ساده از میان هشت روش عصاره‌گیری مطالعه شده، روش‌های عصاره‌گیری کلرید کلسیم رقیق، مهلیچ II، I، اولسن و کالول همبستگی معنی‌داری با شاخص‌های لویبا داشتند. بنابراین، می‌توان این روش‌ها را برای ارزیابی فسفر قابل استفاده لویبا در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب پیشنهاد کرد.

عصاره‌گیری بری I قادر به پیش‌بینی جذب فسفر توسط سورگوم در خاک‌های تیمار شده با کود آلی نبود. پگیلاری و همکاران (۲۵) گزارش کردند که فسفر قابل استخراج با روش بری I مقادیر زیادی از فسفر را در خاک‌های تیمار شده با خاکستر کود آلی استخراج کرد. بر عکس فسفر استخراجی با روش اولسن شاخص خوبی از فسفر قابل استفاده ذرت است و از همبستگی بالایی با پاسخ ذرت نیز برخوردار بود. باسول (۶) گزارش کرد که pH خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب باید حدود خنثی نگه داشته شود تا حلالیت و جذب گیاهی عناصر سنگین کاهش و حلالیت و جذب گیاهی فسفر افزایش یابد. اوکانور و همکاران (۲۴) گزارش کردند که کاهش اندک pH خاک بعد از افزودن لجن فاضلاب منجر به افزایش چشمگیر حلالیت فسفر در ارتباط با کلسیم در خاک‌های آهکی گردید.

نتیجه‌گیری

مقادیر فسفر استخراجی توسط روش‌های عصاره‌گیری مختلف،

منابع مورد استفاده

1. Abrams, M. M. and W. M. Jarell. 1992. Bioavailability index for phosphorus using ion exchange resin impregnated membranes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 225-252.
2. Akhtar, M., D. L. McCallister and K. M. Eskridge. 2002. Availability and fractionation of phosphorus in sewage sludge-amended soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2057-2068
3. Adeli, A., K. R. Sistani, M. F. Bal'a and D. E. Rowe. 2005. Phosphorus Dynamics in Broiler Litter-Amended Soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1099-1115.
4. Atia, A. M. and A. P. Mallarino. 2002. Agronomic and environmental soil phosphorus testing in soils receiving liquid swine manure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1696-1705.
5. Blanchar, R. W. and A. C. Caldwell. 1964. Phosphorus uptake by plant and readily extractable phosphorus in soils. *Agron. J.* 56: 218-220.
6. Boswell, F. C. 1975. Evaluation of Municipal Sewage Sludge for Land Treatment in Crop Production. University of Georgia, College of Agriculture Exp't Stations Research Bulletin, 267 p.
7. Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available phosphorus soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
8. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. PP. 1085-1121. *In:* D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 3 chemical methods. American Society of Agronomy, Madison, WI.
9. Cavigelli, M. A. and S. J. Thien. 2003. Phosphorus Bioavailability following Incorporation of Green Manure Crops. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 67: 1186-1194.
10. Colwell, J. D. 1963. The estimation of the phosphorus fertilizer requirements of wheat in Southern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 3: 190-197.
11. Ebeling, A. M., L. R. Cooperband and L. G. Bundy. 2003. Phosphorus Source Effects on Soil Test Phosphorus and Forms of Phosphorus in Soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34: 1897-1917.
12. Gale, P. M., M. D. Mullen, C. Cieslik, D. D. Tyler, B. N. Duck, M. Kirchner and J. McClure. 2000. Phosphorus

- distribution and availability in response to dairy manure applications . *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31: 553-565.
13. 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.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 14. Holford, C. R. 1980. Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Aust. J. Soil Res.* 18: 405-14.
 15. Fixen, P. E. and J. H. Grove. 1990. Testing soils for phosphorus. PP. 141-180. *In: R.L. Westerman ed) Soil Testing and Plant Analysis.* 3rd Ed. American Society of Agronomy, Madison, WI.
 16. Kuo, S. 1996. Phosphorus. PP. 869-920. *In: D. L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 17. Larsen, S. 1967. Soil phosphorus. *Adv. Agron.* 19: 151-210.
 18. 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.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 19. Luscombe, P. C., K. K. Syers and P. E. H. Gregg. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1361-1369.
 20. Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese, and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9: 477-492.
 21. Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12): 1409-1416.
 22. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anl. Chim. Acta.* 27: 31-36.
 23. Nelson, D. W. and L. E. Summers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. PP. 961-1011. *In: D.L. Sparks (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 24. O'Connor, G. A., K. L. Knudtsen and G. A. Connel. 1986. Phosphorus Solubility in Sludge-amended Calcareous Soils. *J. Environ. Qual.* 9: 405-407.
 25. Pagliari, P., C. Rosen, J. Strock and M. Russelle. 2010a. Phosphorus Availability and Early Corn Growth Response in Soil Amended with Turkey Manure Ash. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41: 1369-1382.
 26. Pagliari, P. H., J. S. Strock and C. J. Rosen. 2010b. Changes in soil pH and extractable phosphorus following application of turkey manure incinerator ash and triple superphosphate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41: 1502-1512.
 27. 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.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 28. Sarkar, D. and G. A. O'Connor. 2001. Using Pi soil test to estimate available phosphorus in biosolids-amended soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 2049-2063.
 29. Sharpley, A. N. 1996. Availability of residual phosphorus in manured soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1459-1466.
 30. Siddique, M. T. and J. S. Robinson. 2004. Differences in phosphorus retention and release in soils amended with animal manures and sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1421-1428.
 31. Soltanpour, P. N. and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro- and micro nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8: 195-207.
 32. Sposito, G., L. J. Lund and A. C. Chang. 1982. Trace Metal chemistry in air-zone field soils amended sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
 33. Taylor, R. W., P. V. Lindo, J. W. Shuford, D. C. Adriano and K. S. Sajwan. 1998. Availability to crops of residual p from a sludge-treated soil. *J. Environ. Sci. Health., Part A* 33: 1075-1090.
 34. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-491. *In: Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
 35. USEPA. 1995. Land application of sewage sludge and domestic septage. Section 503. EPA/625/R-95/001 USEPA. Washington, DC. 290 p.