تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی

اکرم حلاج‌نیا، غلامحسین حق‌نیا، امیر فتوت، رضا خراسانی[۱]

چکیده

مطالعه واکنش‌های فسفر در طول زمان و نقش مواد آلی در خاک‌های آهکی در رأستای مدیریت صحیح استفاده از کودهای فسفر و کودهای دامی سودمند خواهد بود. هدف از این پژوهش تعیین تأثیر مواد آلی بر فراهمی فسفر و اجزای آن در طول زمان بود. به این منظور ۸ خاک از خاک‌های آهکی دشت مشهد جمع‌آوری شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار فسفر، با دو سطح صفر و ۳۰۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک از KH_2PO_4 و تیمار ماده آلی با دو سطح صفر و یک درصد کود گاوی بود. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل اجرا گردید. مقدار فسفر قابل دسترس (Olsen-P) در خاک‌ها، ۲، ۵، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۵۰ روز پس از تیمار شدن اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در پایان دوره آزمایش تنها ۱۷ درصد فسفر افزوده شده در تیمار فسفر قابل دسترس بود در حالی که در این زمان در تیمار کود دامی این مقدار ۳۴ درصد بود. استفاده از کود دامی به همراه فسفر معدنی، درصد بازیافت فسفر را افزایش داد. در بررسی توزیع اجزای معدنی فسفر در زمان‌های ۵، ۳۰ و ۱۵۰ روز مشخص شد که کاربرد کود دامی به همراه فسفر موجب افزایش مقدار فسفر در جزء CBD (سیترات- بی‌کربنات- دی‌تیونات) گردیده است. این امر می‌تواند به دلیل تشکیل کمپلکس‌های آلی فسفر با اکسیدهای آهن باشد. استفاده از کود دامی در مقایسه با تیمارهای فسفر و فسفر به‌علاوه ماده آلی باعث افزایش بیشتر فسفر در جزء NaCl-NaOH گردید. می‌توان نتیجه گرفت که فسفر کود دامی در مقایسه با فسفر معدنی در طول زمان ممکن است برای گیاه بیشتر قابل استفاده باشد.

واژه‌های کلیدی: فسفر قابل دسترس، اجزای معدنی فسفر، خاک‌های آهکی، مواد آلی

مقدمه

کارایی استفاده از فسفر یکی از مسایل مهم حاصلخیزی خاک و تولید محصول است. به علت وارد شدن فسفر در واکنش‌های مختلف با ترکیب‌های موجود در خاک و پایین بودن توان خاک‌ها در فراهمی فسفر، افزایش مقدار زیادی از این عنصر لازم است تا فراهمی آن در خاک به حد مناسب برای رشد گیاه برسد. از این رو هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اکولوژیکی ارائه راه‌کارهایی به منظور افزایش کارایی استفاده از فسفر مانند کاربرد منابع آلی فسفر از جمله کودهای حیوانی، بقایای گیاهی، ضایعات شهری و صنعتی به همراه کودهای شیمیایی و یا به

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و مربی خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

صورت مجزا در مدیریت حاصلخیزی خاک مناسب‌تر از کودهای شیمیایی به تنهایی است (۲ و ۲۱). در مقایسه تأثیر ماده آلی و کودهای شیمیایی بر خواص شیمیایی خاک، عملکرد و جذب عناصر به‌وسیله ذرت، نشان داده شد که کود گاوی و لجن فاضلاب از بالاترین پتانسیل در حاصلخیزی خاک و تامین عناصر غذایی از جمله فسفر برخوردار بوده و کودهای شیمیایی و کمپوست به ترتیب در مرتبه بعد قرار داشتند (۱). در استفاده از مواد آلی، فسفر معدنی حاصل از تجزیه و فساد این ترکیبات به تدریج آزاد و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (۳۰). در مطالعه ۹ ماه خوابانیدن خاک با مواد آلی و کودهای شیمیایی- دارای مقادیر یکسان فسفر- مقدار فسفر قابل دسترس (Olsen-P) در زمان‌های مختلف درتیمار مواد آلی بیشتر از تیمار کودهای شیمیایی بود (۲۱).

میک و همکاران (۲۵) گزارش دادند که کاربرد ۳۹۲ کیلوگرم فسفر در هکتار به صورت سوپر فسفات تریبل در خاک‌های آهکی در طول دو سال آزمایش، فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم را تا ۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک افزایش داد. در حالی که استفاده از کود آلی محتوی ۳۳۴ کیلوگرم فسفر در هکتار، افزایش ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم را در خاک سبب شد. در مطالعه بلند مدتی که به‌وسیله این پژوهشگران انجام گرفت، مشخص شد که پس از کاربرد ۱۸۰ تن کود دامی، فسفر قابل استخراج با بی‌کربنات سدیم تنها در حدود ۹ درصد در سال بعد کاهش پیدا کرد (۲۴).

استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث تحرک بیشتر فسفر در پروفیل خاک می‌شود. استفاده از فاضلاب و کودهای حیوانی ظرفیت جذب فسفر خاک را کاهش داده و خطر آبشویی فسفر را به دنبال دارد (۱۸ و ۳۷). استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث می‌شود که فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر نگه‌داری شود و از این جهت قابلیت فراهمی آن افزایش می‌یابد (۴۲).

افزایش فراهمی فسفر در کاربرد کودهای حیوانی به همراه کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف در آزمایش‌های گلخانه‌ای و آزمایشگاهی گزارش شده است (۳۰ و ۴۰). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مواد آلی موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی می‌شود (۳ و ۸). مواد آلی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه آن، سطوح کربنات کلسیم را اشغال کرده و از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت جلوگیری می‌کنند (۱۹). مواد آلی با کلات کردن اکسیدهای آهن و آلومینیوم از جذب فسفر توسط این سطوح جلوگیری کرده و به‌طور غیر مستقیم با مانع شدن از تشکیل کریستال‌های Al_2O_3 روی جذب فسفر تأثیر می‌گذارد. از این جهت تشکیل اکسیدهای آهن و آلومنیوم ممکن است در حضور اسیدهای آلی خاص متوقف شود (۴).

کاربرد کودهای حیوانی در خاک‌های آهکی موجب تشکیل شکل‌های بلورین فسفات با پایداری کمتر یا جزئی بلورین می‌شود. در خاک‌های اسیدی کاربرد مواد آلی باعث کلات کردن عناصر آهن و آلومینیوم شده و شکل‌های فسفر با حلالیت بیشتر تولید می‌شود (۴۰). البته برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند که کودهای حیوانی تأثیری بر جذب فسفر نداشته حال آن‌که استفاده از کودهای سبز باعث افزایش فراهمی فسفر می‌گردد. علت عدم تأثیر کودهای حیوانی بر جذب فسفر رهاسازی ترکیبات آلی محلول با وزن مولکولی زیاد گزارش شده است (۲۸). از این رو وزن مولکولی و تجزیه پذیری ترکیب‌های آلی عامل‌های مهمی هستند که تعیین کننده توانایی این ترکیب‌ها در ایجاد پیوندهای آلی با آلومینیوم سطح ذرات و در نتیجه تأثیرشان بر جذب فسفر است.

هدف از این پژوهش مقایسه تأثیر استفاده از فسفر معدنی و ماده آلی به صورت جداگانه و هم‌چنین استفاده توام آنها بر فراهمی فسفر و توزیع آن در اجزای مختلف در خاک‌های آهکی در طول زمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تأثیر ماده آلی در دو سطح صفر و یک درصد بر فراهمی فسفر در دو سطح ۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شرایط آزمایشگاهی در طول زمان (۱۵۰ روز) در دمای ۲۵

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

جدول۱. برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	کلاس بافتی	CCE[1] %	CEC[2] Cmol(+) kg^{-1}	EC[3] dSm^{-1}	pH	OC[4] g kg^{-1}
۱	Loam	۵۷/۳	۸/۳	۰/۹۵	۸/۰	۱۰/۴
۲	Clay loam	۴۶/۳	۱۱/۷	۲/۱۰	۷/۸	۳/۶
۳	Clay	۲۹/۵	۱۵/۲	۱/۴۶	۸/۰	۱۳/۴
۴	Loamy sand	۳۳/۸	۳/۰	۱/۴۶	۷/۹	۲/۵
۵	Sandy loam	۱۸/۱	۵/۲	۰/۵۷	۸/۲	۴/۲
۶	Clay loam	۱۱/۵	۸/۳	۱۹/۵۷	۷/۳	۵/۶
۷	Sandy loam	۳/۸	۵/۲	۲/۰۴	۸/۱	۹/۲
۸	Silty clay loam	۱۳/۰	۱۲/۶	۱/۴۰	۷/۴	۲۹/۶

۱. Calcium Carbonate Equivalent

۲. Cation Exchange Capasity

۳. Electrical Condactivity

۴. Organic Carbon

درجه سانتی‌گراد بررسی شد. این آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی به صورت فاکتوریل در سه تکرار اجرا گردید.

تعداد ۸ نمونه خاک دارای گستره مناسب در مقدار آهک و بافت متفاوت از دشت مشهد انتخاب شد (جدول ۱). نمونه‌برداری از خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. نمونه‌های برداشته شده پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوای آزاد خشک و سپس به منظور انجام مراحل آزمایشگاهی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به شرح زیر اندازه‌گیری شد.

کلاس بافتی به روش هیدرومتری (۱۱)، pH در گل اشباع (۲۲)، هدایت الکتریکی در عصاره‌گل اشباع(۳۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از جایگزینی با استات سدیم (pH=۷)(۶)، کربنات کلسیم معادل (Calcium Carbonate Equivalent) (CCE) خاک به روش خنثی سازی با اسید (۳۳)، کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک (۴۱) تعیین گردید. رطوبت حد ظرفیت مزرعه خاک‌ها با استفاده از سانتریفوژ دور سریع تعیین گردید (۵). برای تعیین فسفر قابل دسترس از روش السن و برای تعیین اجزای فسفر معدنی در هر یک از تیمارها از روش اولسن و سامنر (۲۹) استفاده شد. به‌جز این که مرحلهٔ عصاره‌گیری با بافر استات سدیم pH=۴ (OAC) قبل از مرحله عصاره‌گیری با HCl به این روش افزوده شد (۹ و ۳۵). در روش اولسن و سامنر فسفر خاک به اجزای قابل عصاره‌گیری با NaCl-NaOH جهت استخراج فسفر جذب سطحی شده روی سطوح اجزای خاک که به سادگی قابل تبادل است، CB (Citrate-Bicarbonate) شامل فسفات‌های کلسیم پدوژنیک پویا و در خاک‌های آهکی فسفات‌های دوباره جذب سطحی شده به وسیله کلسیت در مرحله عصاره‌گیری با NaCl-NaOH، CBD (Citrate-Bicarbonate-Dithionite) نشان دهنده فسفر در ارتباط با اکسیدهای آهن و HCl شامل فسفر در ارتباط با آپاتیت لیتوژنیک، قابل تفکیک است. جزء OAC نشان دهنده فسفر در ارتباط با آپاتیت بیوژنیک و پدوژنیک است.

غلظت فسفر در عصاره‌ها به روش مورفی و ریلی (۲۶) تعیین گردید.

برای تهیه تیمار فسفر از نمک پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات به صورت پودری و برای تیمار ماده آلی به مقدار یک درصد از کود گاوی پوسیده استفاده شد. به این صورت که کود مورد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

استفاده ابتدا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و برای یک‌نواختی محیط عمل بعد از خرد کردن از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شد. مقدار زیاد فسفر و اندازه ریز ماده آلی برای شبیه سازی و بررسی تاثیر خصوصیات خاک و ماده آلی در محل ذره کود که غلظت فسفر در آن بالا است یا در کاربرد کود به صورت نواری در نظر گرفته شد. در شرایط مزرعه غلظت فسفر افزوده شده به خاک در مجاورت خاکدانه‌ها و یا ذرات خاک بسیار بالا می‌رود. این حالت با آزمایش‌های خوابانیدن در کاربرد مقادیر بالایی از فسفر (10^2 تا 10^3میلی‌گرم بر کیلوگرم) قابل مقایسه است (۳).

تیمارهای آزمایش روی ۶۰ گرم خاک خشک با در نظر گرفتن درصد رطوبت هوا خشک هر یک از خاک‌ها انجام گرفت. پس از مخلوط کردن کامل تیمارهای کودی و ماده آلی نمونه‌های خاک تیمار شده درون ظروف پلاستیکی (قطر ۷ و ارتفاع ۴ سانتی‌متر) جای داده شدند و رطوبت خاک به‌وسیله آب مقطر به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. در طول دوره آزمایش رطوبت نمونه‌های خاک در محدوده ظرفیت مزرعه به‌وسیله توزین نمونه‌ها حفظ گردید. طول دوره خوابانیدن تیمارها ۲، ۵، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۵۰ روز بود که در انتهای هر دوره مقدار فسفر قابل دسترس در نمونه‌های برداشته شده از هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد. بعد از نمونه‌برداری سطح خاک داخل ظروف یک‌نواخت می‌شد. ۵، ۳۰ و ۱۵۰ روز پس از تیمار خاک‌ها، اجزای معدنی فسفر خاک‌ها به ترتیب شامل اجزای NaCl-NaOH، CB، CBD، OAC و HCl به روش عصاره‌گیری پی‌درپی (Sequential extraction) تعیین گردید.

به دلیل اختلاف خاک‌ها در مقدار فسفر قابل دسترس اولیه و همچنین مقدار فسفر قابل دسترسی که در اثر افزودن ماده آلی به خاک اضافه می‌شود و به منظور مقایسه تیمارهای فسفر، ماده آلی و تعیین تأثیر ماده آلی بر مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار فسفر به‌علاوه ماده آلی، درصد بازیافت (Recovery) فسفر تعریف شد. به این صورت که مقدار فسفر قابل دسترس در هر یک از تیمارها به صورت درصدی از فسفر افزوده شده محاسبه گردید.

برای محاسبه درصد بازیافت فسفر در تیمار فسفر، تیمار ماده آلی و تیمار فسفر به‌علاوه ماده آلی به ترتیب از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد.

$$[(P_P-P_C)/300]\times 100 \quad [1]$$

$$[(P_{OM}-P_C)/120]\times 100 \quad [2]$$

$$[(P_{OM+P}-P_{OM})/300]\times 100 \quad [3]$$

P_P : مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار ۳۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم فسفر

P_C : مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار شاهد

P_{OM} : مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار ماده آلی

P_{OM+P} : مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار فسفر به علاوه ماده آلی

درصد افزایش فسفر در هر یک از اجزای معدنی آن با استفاده از روابط مشابه محاسبه شد (به جای فسفر قابل دسترس مقدار فسفر در هر یک از اجزا در روابط قرار داده شد).

مقدار فسفر اندازه گیری شده در کود دامی مورد استفاده برابر ۱/۲ درصد بود به عبارت دیگر مقدار فسفری که از کود گاوی به خاک افزوده می‌شد برابر ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Mstatc و Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

برخی مشخصات اندازه‌گیری شده خاک‌ها و کود گاوی مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. مقدار آهک خاک‌ها بین ۳/۸ تا ۵۷/۳ درصد تغییر می‌کرد و خاک‌ها دارای بافت متفاوت بودند.

افزودن یک درصد ماده آلی موجب افزایش معنی‌دار فسفر قابل دسترس در همه خاک‌ها شد (جدول ۳). میانگین این افزایش در طول دوره آزمایش از ۱۰/۰۲ به ۶۰/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر بود. به عبارت دیگر افزودن یک درصد کود گاوی تقریبا معادل ۳۰ تن در هکتار (تا عمق ۲۰ سانتی‌متر) به طور میانگین باعث افزایش فسفر قابل دسترس به مقدار ۵۰ میلی‌گرم بر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

جدول۲. برخی ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده

P(%)	درصد خاکستر	OC(%)	PH (1:5)	EC (dSm^{-1}) (1:5)
۱/۲	۴۴/۷	۲۲/۷	۷/۴	۷/۲

جدول ۳. میانگین مقدار فسفر قابل دسترس خاک‌ها ($mg\ kg^{-1}$) در هر یک از تیمار در طول دوره آزمایش

	خاک ۱	خاک ۲	خاک ۳	خاک ۴	خاک ۵	خاک ۶	خاک ۷	خاک ۸
تیمار شاهد	۹/۳	۳/۲	۲/۷	۲/۲	۵/۹	۴/۴	۴/۲	۴۸/۳
تیمار ماده آلی	۵۹	۴۸/۸	۴۵/۲	۵۷/۸	۵۹	۵۰/۸	۵۴/۲	۱۱۰/۳
تیمار فسفر	۱۳۷/۲	۱۱۸/۹	۱۶۴/۶	۱۴۷/۴	۱۰۷/۹	۷۱/۱	۱۰۸/۴	۲۰۰/۷
تیمار فسفر به علاوه ماده آلی	۲۲۳/۶	۱۴۷/۲	۲۱۸/۳	۲۴۳/۶	۱۹۴/۲	۱۱۹/۱	۲۳۴/۲	۲۶۵/۳

کیلوگرم شد. مقدار این افزایش در خاک‌های مختلف با هیچ یک از ویژگی‌های خاک هم‌بستگی نداشت. این جدول نشان دهنده پتانسیل بالای کود گاوی مورد استفاده در افزایش قابل ملاحظه مقدار فسفر قابل دسترس تا پایان دوره آزمایش (۱۵۰ روز) می‌باشد.

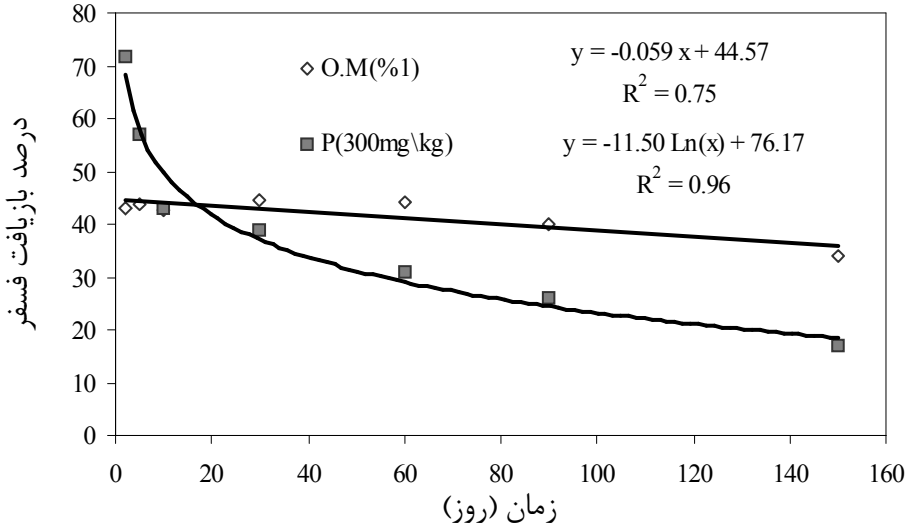
درصد بازیافت فسفر در هر دو تیمار فسفر و ماده آلی با زمان کاهش پیدا کرد البته تغییرات درصد بازیافت فسفر با زمان در استفاده از کود دامی (منبع آلی) بسیار کمتر از تیمار فسفر (منبع معدنی) بود (شکل ۱). به عبارت دیگر تغییرات درصد بازیافت فسفر در استفاده از منبع آلی در مقایسه با منبع معدنی کمتر تابع زمان بود. احتمالا می‌توان گفت که فسفر آزاد شده از منبع آلی به مدت بیشتری برای گیاه به صورت قابل دسترس باقی می‌ماند. لبوسکی و لمپ (۲۱) نشان دادند که در کاربرد کودهای حیوانی فراهمی فسفر با زمان تغییر نمی‌کند (در طول ۹ ماه خوابانیدن). در حالی که در استفاده از کودهای شیمیایی فراهمی فسفر با زمان کاهش پیدا کرد. افزون بر این در طول دوره آزمایش مقدار فسفر فراهم از منبع آلی بیشتر از منبع معدنی بود.

در ابتدای دوره، درصد بازیافت فسفر در استفاده از فسفر معدنی بالاتر از منبع آلی بود (شکل ۱) که این ناشی از حلالیت بالای منبع معدنی می‌باشد در حالی که فسفر موجود در مواد آلی به تدریج در خاک آزاد می‌شود. شیب زیادتر کاهش فراهمی فسفر معدنی نسبت به منابع آلی در برخی مطالعات گزارش شده است (۱۲). درصد بازیافت فسفر در استفاده از منبع معدنی به سرعت در خاک کاهش پیدا کرد. در مقابل در استفاده از منبع آلی این تغییرات بسیار کم بود. در پایان دوره آزمایش (۱۵۰ روز) درصد بازیافت فسفر از منبع معدنی کمتر از منبع آلی بود. در استفاده از کود آلی در اولین اندازه‌گیری (۲روز) به‌طور میانگین ۴۲/۸ درصد فسفر کل ماده آلی در خاک قابل عصاره‌گیری بود که در پایان دوره (۱۵۰ روز) به ۳۳/۸ درصد رسید. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که در نخستین مرحله تجزیه بقایای گیاهی و مواد آلی مقدار زیادی فسفر از این ترکیبات در خاک آزاد می‌شود (۲۷). در مطالعه سینتیک آزادسازی فسفر در خاک‌های قلیایی که کود دامی دریافت کرده بودند هانسن و استراون (۱۵) نشان دادند که در پی یک‌سری واکنش‌های سریع اولیه ۸۰ درصد فسفر محلول در مدت ۲۴ ساعت در خاک آزاد شده و در پی آن آزادسازی فسفر به فاز محلول کند می‌گردد.

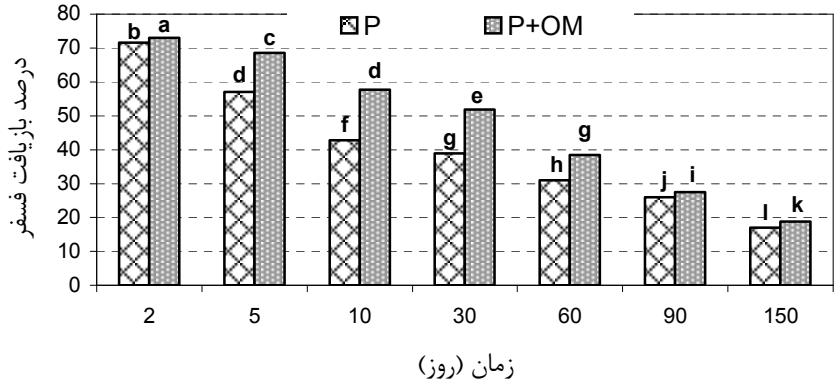
در زمان‌های متفاوت تأثیر ماده آلی بر درصد بازیافت فسفر دارای اختلاف معنی‌دار بود. در فاصله بین ۵ تا ۶۰ روز این

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]



شکل ۱. میانگین تغییرات درصد بازیافت فسفر با زمان در استفاده از منبع آلی و معدنی فسفر



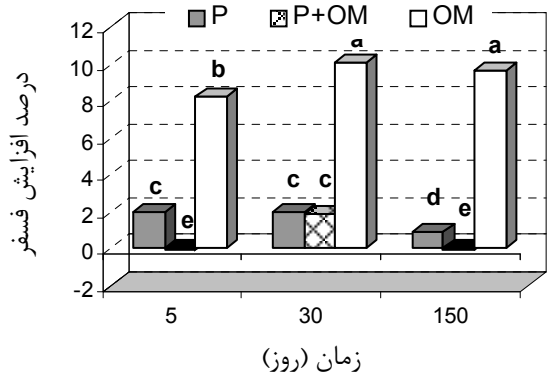
شکل ۲ . میانگین تغییر درصد بازیافت فسفر با زمان در تیمارهای فسفر (P) و فسفر به‌علاوه ماده آلی (P+OM)

تأثیر زیادتر بود و به طور میانگین درصد بازیافت فسفر را ۲۸ درصد افزایش داد. این تأثیر در زمان‌های ۹۰ و ۱۵۰ روز به ترتیب به ۵/۸ و ۱۰/۷ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۲).

تأثیر متفاوت ماده آلی افزوده شده به خاک می‌تواند به دلیل تجزیه آن در طول زمان به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها باشد. از این جهت بررسی روند تجزیه ترکیب‌های آلی در خاک می‌تواند سودمند باشد. با افزودن ماده آلی به خاک تجزیه آن به وسیله میکروارگانیسم‌ها به عنوان منبع کربن و انرژی آغاز می‌گردد. در نخستین مرحله تجزیه، ترکیب‌های آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک افزایش می‌یابد (۳۱). این ترکیب‌ها می‌توانند در افزایش فراهمی فسفر به‌وسیله جایگزینی آنیونی با یون‌های ارتوفسفات روی مکان‌های جذب، ایجاد پوشش بر روی سطوح جذب کننده اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات‌ها، ایجاد کمپلکس با یون‌های آهن، آلومینیوم و کلسیم موثر باشند. از طرف دیگر اسیدهای آلی با جذب روی سطوح جذب کننده باعث افزایش مقدار بار منفی ذرات شده و دفع آنیونی را افزایش می‌دهند (۱۷). با گذشت زمان تولید این ترکیب‌ها در اثر تجزیه ماده اولیه کاهش پیدا کرده و تجزیه آنها

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]



شکل ۳ .میانگین تغییر مقدار فسفر در جزء NaCl-NaOH با زمان در تیمارهای فسفر (P)، فسفر به علاوه ماده آلی (P+OM) و ماده آلی (OM)

افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان کاهش تاثیر ماده آلی طی زمان را بر فراهمی فسفر انتظار داشت.

افزودن یک درصد ماده آلی موجب افزایش معنی‌دار فسفر در جزء NaCl-NaOH در همه خاک‌ها شد (شکل ۳). درصدی از فسفر افزوده شده که در این جزء قرار گرفته است در تیمار ماده آلی بسیار بیشتر از تیمار فسفر بود. برخی پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهد که افزودن ماده آلی به خاک باعث افزایش مقدار شکل‌های فراهم فسفر در خاک می‌شود (۱۰). البته افزایش فراهمی فسفر در استفاده از مواد آلی به مقدار فسفر آنها بستگی دارد به گونه‌ای که افزودن بقایای آلی (گیاهی و دامی) دارای بیش از ۰/۳ درصد فسفر باعث کاهش جذب فسفر و افزایش فراهمی آن می‌شوند. در مقابل، ترکیب‌های آلی دارای کمتر ار ۰/۳ درصد فسفر دارای تأثیر عکس خواهند بود. ظرفیت جذب فسفر خاک با تجزیه میکروبی بقایای آلی در خاک تغییر می‌کند که مقدار و چگونگی این تغییر به مقدار مواد آلی و نوع آن بستگی دارد (۳۸). در این زمینه برخی دیگر از پژوهش‌ها نشان می‌دهند که مواد آلی محلولی که از کودهای دامی استخراج شده بودند، تأثیری بر جذب فسفر نداشتند در حالی که استفاده از کودهای سبز با کاهش جذب فسفر به‌وسیله خاک باعث افزایش فراهمی فسفر گردید (۲۸). بنابراین نوع ترکیبات آلی و مقدار فسفر آنها می‌تواند بر فراهمی فسفر در خاک مؤثر باشد. در این زمینه کود گاوی استفاده شده در این تحقیق از پتانسیل بالایی جهت تأمین فسفر قابل دسترس برخوردار بود.

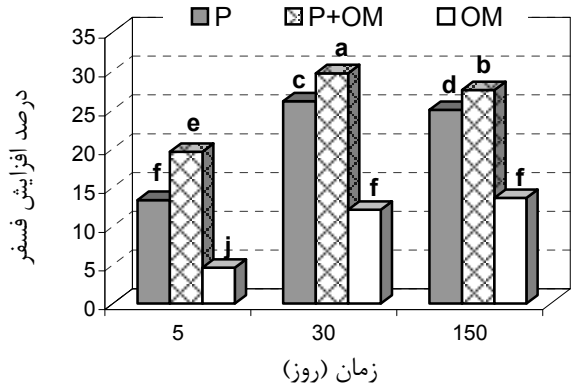
استفاده از ماده آلی به همراه فسفر باعث کاهش معنی‌دار درصد بازیافت فسفر در جزء NaCl-NaOH در زمان‌های ۵ و ۱۵۰ روز گردید (شکل ۳). در زمان ۳۰ روز اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای فسفر و فسفر به‌علاوه ماده آلی به‌دست نیامد. از این جهت می‌توان به الگوی تجزیه ماده آلی و تأثیر آن بر افزایش فراهمی فسفر توجه نمود.

نتایج نشان می‌دهند که کربن آلی احتمالاً با برقراری کمپلکس‌هایی با فسفر، آزاد سازی آن را به فاز محلول زیر تأثیر قرار می‌دهد. افزایش مقدار فسفر در جزء CBD می‌تواند مؤید این مطلب باشد. تشکیل کمپلکس‌های آلی فلزی (Organic-metal) با فسفر از جمله کمپلکس‌های آلی آهن، آلومنیوم و کلسیم در استفاده از کودهای حیوانی توسط رابینسون و شارپلی (۳۴) و شارپلی و سیسک (۳۶) نیز گزارش شده است.

درصد فسفر در ارتباط با اکسیدهای آهن (جزء CBD) در تیمار ماده آلی در همه خاک‌ها کمتر از تیمار فسفر بود. میانگین آن برای ۸ خاک مورد آزمایش در شکل ۴ نشان داده شده است. کمپلکس شدن ترکیبات آلی با آهن و آلومینیوم از جذب فسفر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]



شکل ۴ . میانگین تغییر مقدار فسفر در جزء CBD با زمان در تیمارهای فسفر (P)، فسفر به‌علاوه ماده آلی (P+OM) و ماده آلی (OM)

روی سطوح اکسیدهای این عناصر ممانعت می‌کند (۲۸). بنابراین می‌توان گفت که مواد آلی از جذب فسفر آزاد شده از این ترکیبات بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومنیوم جلوگیری کرده و یا جذب فسفر با واسطه ترکیبات آلی بر روی این سطوح به گونه‌ای بوده است که به راحتی در مرحله قبل (جزء NaCl-NaOH)عصاره‌گیری شده‌اند. تفاوت قابل ملاحظه مقدار فسفر در جزء NaCl-NaOH در تیمار ماده آلی نسبت به تیمارهای فسفر و فسفر به‌علاوه ماده آلی (شکل ۳) احتمالاً می‌تواند گویای این مطلب باشد.

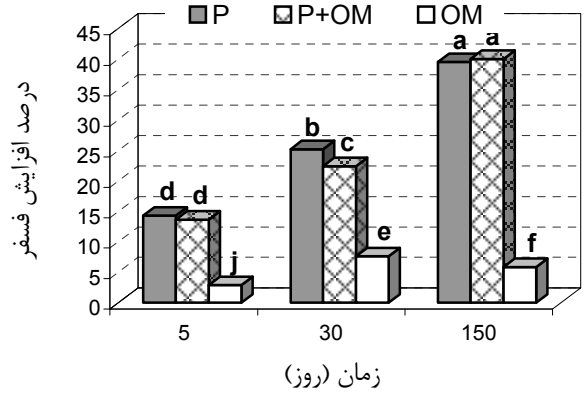
درصد افزایش فسفر در جزء CBD در تیمار فسفر به‌علاوه ماده آلی نسبت به تیمارهای فسفر و ماده آلی حداکثر بود (شکل ۴).

برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهند که فسفر در ارتباط با اکسیدهای آهن با مقدار رس و فسفر آلی وابسته است (۳۹). این هم‌بستگی نشان می‌دهد که فسفر قابل استخراج با CBD می‌تواند در خاک پیوندهای کمپلکسی با کربن آلی و پیوندهای خاصی با ذرات رس داشته باشد. از این رو اکسیدهای آهن نقش اساسی در جذب فسفر بخصوص در خاک‌های با مقدار زیاد کربن آلی بازی می‌کنند. پذیرش چنین ارتباطی میان مواد آلی، اکسیدهای آهن و رس سبب می‌شود که افزودن ماده آلی به همراه فسفر به خاک باعث تشدید نقش اکسیدهای آهن در جذب فسفر و در نتیجه افزایش آن در جزء CBD شود. ارتباط بین مواد آلی، آلومنیوم و سطح کانی‌ها به صورت اسید هیومیک-آلومنیوم-هیدروکسیل منجر به تولید سطوح جدیدی برای جذب فسفر می‌شود (۲۰). بنابراین افزایش ماده آلی به خاک می‌تواند جذب فسفر افزوده شده را روی سطوح جذب کننده افزایش دهد.

تشکیل ترکیبات آلی فلزی به‌ویژه کمپلکس‌های آلی آهن باعث افزایش جذب فسفر شده و از رسوب فسفر با اکسیدهای فلزی جلوگیری می‌کند که نتیجه آن افزایش فراهمی فسفر است. از سوی دیگر تشکیل فسفات‌های کلسیم با تشکیل این کمپلکس‌ها کاهش می‌یابد (۱۴و ۲۸). ترکیب‌های فلزی بی‌شکل و کمپلکس‌های آلی فلزات نقش مهمی در جذب فسفر حتی در خاک‌های آهکی دارند. این کمپلکس‌های آلی و ترکیبات آمورف فلزی از رسوب فسفات کلسیم جلوگیری می‌کنند. البته نقش این کمپلکس‌های آلی فلزی در جذب فسفر و ایجاد مزاحمت برای تشکیل رسوبات فسفات کلسیم کاملا مشخص نیست. احتمالاً کمپلکس‌های آلی فلزی فسفر را از محلول خاک جذب کرده و تشکیل یک پل کاتیونی بین فسفر و کربن آلی می‌دهد و بنابراین آن را از محلول خاک خارج می‌کنند (۲۳).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]



شکل ۵ . میانگین تغییر مقدار فسفر در جزء OAC با زمان در تیمارهای فسفر (P)، فسفر به علاوه ماده آلی (P+OM) و ماده آلی (OM)

تشکیل ترکیب‌های آلی فلزی روی سطوح کربنات‌ها، رس‌ها و حتی اکسیدها و هیدروکسیدهای آمورف فلزی، این مکان‌ها را برای جذب فسفر آماده می‌سازند. ظرفیت جذب تابعی از میزان کمپلکس‌های آلی آهن، منگنز و آلومینیوم در غلظت‌های کم تا متوسط فسفر می‌باشد که می‌تواند نشان دهنده کمپلکس شدن فسفر به‌وسیله مواد آلی با واسطه این فلزات باشد (پدیده پل زدن). هم‌چنین کربن آلی ممکن است با پوشاندن سطوح اکسیدهای فلزی یا کربنات‌های کلسیم از تشکیل رسوبات کم‌محلول با این ترکیبات جلوگیری کند(۲۳). در کاربر مواد آلی افزایش فسفر در جزء CBD همراه با افزایش فسفر قابل دسترس نشان می‌دهد که ممکن است قابلیت استخراج فسفر از این کمپلکس‌های آلی فلزی در مقایسه با تیمار فسفر بیشتر باشد. از این رو احتمالاً فراهمی آن برای گیاه بیشتر خواهد بود.

درصدی از فسفر که در جزء OAC قرار گرفته در تیمار ماده آلی بسیار کمتر از تیمارهای فسفر و فسفر به‌علاوه ماده آلی بود (شکل ۵). این نتیجه نشان می‌دهد که کربن آلی فرایند تشکیل رسوبات فسفات کلسیم را از محلول کند کرده و باعث شده است که فسفر آزاد شده از مواد آلی به مدت بیشتری به صورت فراهم باقی بماند.

افزودن ماده آلی به همراه فسفر موجب کاهش معنی‌دار فسفر در جزء OAC در زمان ۳۰ روز نسبت به تیمار فسفر گردید. اختلاف میان تیمارها در زمان‌های ۵ و ۱۵۰ روز معنی‌دار نبود (شکل ۵). این موضوع می‌تواند ناشی از تشکیل کمپلکس‌های آلی فلزی و تأثیر آنها بر روند تشکیل فسفات‌های کلسیم باشد. کمپلکس‌های آلی فلزی با ایجاد کمپلکس با فسفر روند تشکیل فسفات‌های کلسیم را کند می‌کنند.

اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی با جذب روی سطوح فسفات‌های کلسیم و اشغال مکان‌های فعال به عنوان هسته‌هایی برای رشد کریستال‌های جدید از تشکیل این رسوبات جلوگیری می‌کنند. تأثیر اسیدهای آلی دربازداری از رسوب فسفات‌های کلسیم به حجم گروه‌های عامل و اندازه آنها بستگی دارد. افزون بر این اسیدهای آلی با ایجاد کمپلکس با کاتیون‌های کلسیم فعالیت این یون را کاهش می‌دهند (۷، ۱۳ و ۱۶).

افزایش فسفر در جزء HCl در هیچ یک از تیمارها نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که زمان ۱۵۰ روز برای تشکیل فسفات‌های کلسیم نامحلول کافی نبوده است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

نتیجه‌گیری

با توجه به این که در اثر افزایش ماده آلی در این پژوهش درصد بازیافت فسفر افزایش پیدا کرد بنابراین کاربرد مواد آلی به همراه کودهای فسفره می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف این کودها شود. مواد آلی باعث می‌شود که فسفر به مدت بیشتری به صورت فراهم باقی بماند. به نظر می‌رسد در این میان تشکیل کمپلکس‌های آلی فلزی با فسفر به‌ویژه کمپلکس‌های آلی بر روی سطوح کربنات‌های کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم یکی از دلایل اصلی افزایش فراهمی فسفر در نتیجه کاربرد مواد آلی است. افزون بر این مواد آلی فرایند تشکیل رسوب فسفات‌های کلسیم نامحلول یا کم محلول را کند می‌کند.

یکی از منابع تأمین فسفر مورد نیاز گیاه استفاده از کودهای دامی است. کاربرد کود گاوی به مقدار یک درصد موجب افزایش قابل ملاحظه فسفر قابل دسترس در همه خاک‌ها شد. تغییرات درصد بازیافت فسفر با زمان در استفاده از منبع آلی بسیار کمتر از منبع معدنی بود. به عبارت دیگر فراهمی فسفر در استفاده از منبع آلی کمتر تابع زمان بود. فسفر از منبع آلی به تدریج در خاک آزاد شده و می‌تواند مورد استفاده گیاه قرار گیرد. این رها شدن تدریجی باعث افزایش راندمان استفاده از فسفر آلی شده و باعث می‌شود که فسفر کمتر در مجاورت ترکیبات خاک به صورت ترکیبات نامحلول درآید. در بررسی توزیع فسفر در اجزای مختلف در استفاده از منبع آلی در مقایسه با منبع معدنی نشان داده شد که فسفر بیشتر در اجزایی قرار می‌گیرد که قابلیت استخراج بیشتری دارند (جزء NaCl-NaOH).

منابع مورد استفاده

۱. افیونی، م. و ی. رضایی‌نژاد. ۱۳۷۸. اثر مواد آلی بر خواص شیمیایی خاک، عملکرد و جذب عناصر بوسیله ذرت. ششمین کنگره علوم خاک ایران، ۹-۶ شهریور، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

2. Acharya, C. l. and D. D. Reddy. 2000. In: Crop residue addition effects on myriad forms and sorption of phosphorus in vertisol. Bioresour. Technol. 80:93-99.
3. Afif, E., A. Matar and J. Torrent. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. Soil Sci. Soc. Amer. J. 57:756-760.
4. Borggard, O. K., S. S. Jorgensen, J. P. Meberg and B. Raben-Lange. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. J. Soil Sci. 41:443-449.
5. Cassel, D. K. and D. R. Nielsen. 1982. Field capacity and available water capacity. In Methods of Soil Analysis: Physical properties, Part 1, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. pp.403-430. *In*: A. L. Page (Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI,
6. Chapman, H. D. 1965. cation exchange capacity. PP.891-901. *In*: C. A. Black (Eds.), Methods of Soil Analysis. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison WI,
7. Cooperband, L. R. and L. W. Good. 2002. Biogenic phosphate minerals in manure: Implications for phosphorus loss to surface waters. Environ. Sci. Technol. 36:5075-5082.
8. Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. Plant and Soil 245:277-286.
9. Delgado, A. and J. Torrent. 2000. Phosphorus forms and desorption in heavily fertilized calcareous and limed acid soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 64:2031-2037.
10. Gale, P. M., M. D. Mullen, C. Cieslik, D. D. Tyler, B. N. Duck, M. Krishner and J. McClure. 2000. Phosphorus distribution and availability in response to dairy manure applications. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 31:553-565.
11. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1982. Hydrometer method. PP.383-411. Agron. *In*: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis: Physical Properties. Part 1, 2nd ed., Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI,
12. Griffin, T. S., C. W. Honeycutt and Z. He. 2003. Changes in soil phosphorus from manure application. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67:645-653.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

13. Grossl, P. R. and W. P. Inskeep. 1991. Precipitation of dicalcium phosphate dehidrate in the presence of organic acids. Soil Sci. Soc. Amer. J. 55:670-675.
14. Hamad, M. E., D. L. Rimmer and J. K. Syers. 1992. Effect of iron oxide on phosphorus sorption by calcite and calcareous soils. J. Soil Sci. 43: 273-281.
15. Hansen, J. C. and D. G. Strawn. 2003. Kinetics of phosphorus release from manure-amended alkaline soil. J. Soil Sci. 168: 869-879.
16. Harris, W. G., H. D. Wang and K. R. Reddy. 1994. Dairy manure influences on soil and sediment composition: Implications for phosphorus retention. Soil Sci. Soc. Amer. J. 23:1071-1081.
17. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizer an introduction to nutrient management. 6th eds., Macmillan Pub. Co., New York, USA.
18. Holford, I. C. R., C. Hird and R. Lawrie. 1997. Effects of animal effluents on the phosphorus sorption characteristics of soil. Aust. J. Soil Res. 35:365-374.
19. Inskeep, W. P. and J. C. Silvertooth. 1998. Inhibition of hydroxy apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. Soil Sci. Soc. Amer. J. 52:941-946.
20. Khasawneh, F. E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. 1980. The role of phosphorus in agriculture, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
21. Laboski, C. A. M. and J. A. Lamb. 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. Soil Sci. Soc. Amer. J. 67:544-554.
22. Lean, E. O. 1982. Methods of Soil Analysis: Chemical and microbiological properties. PP.199-224. *In*: A. L. Page (Eds.), Part 2, 2nd ed. Agron. Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison, WI.
23. Leytem, A. B. and D. T. Westermann. 2003. Phosphate sorption by pacific northwest calcareous soils. J. Soil Sci. 168:368-375.
24. Meek, B. D., L. E. Graham and T. J. Donovan. 1982. Longterm effects of manure of soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. Soil Sci. Soc. Amer. J. 46:1014-1019.
25. Meek, B. D., L. E. Graham, T. J. Donovan and K. S. Mayberry. 1979. Phosphorus availability in a calcareous soil after high loading rates of animal manure. Soil Sci. Soc. Amer. J. 43:741-744.
26. Murphy, J. and J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. 27:31-36.
27. Oehl, F., A. Oberson, S. Sinaj and E. Frossard. 2001. Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. Soi Sci. Soc. Amer. J. 65:780-787.
28. Ohno, T. and B. S. Crannell. 1996. Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption. J. Environ. Qual. 25:1137-1143.
29. Olsen, S. R. and L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.403-430. Part 2, 2nd ed., Agron. Monogr. No.9. *In*: A. L. Page (Eds.), ASA and SSSA, Madison, WI,
30. Reddy, D. D., A. Subba Rao, K. Sammi Reddy and P. N. Takkar. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean–wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. Field Crops Res. 62:181-190.
31. Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson. 2001. Sustainable management of soil organic matter. British Society of Soil Science. CAB pub.
32. Rhoades, J. D. 1982. Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties. PP.167-179. *In*: A. L. Page (Eds.), Part 2, 2nd ed. Agron. Monogr. No.9. ASA and SSSA, Madison. WI,
33. Richards, L. A. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook No:60.
34. Robinson, J. S. and A. N. Sharpley. 1996. Reaction in soil of phosphorus released from poultry litter. Soil Sci. Soc. Amer. J. 60:1583-1588.
35. Ruiz, J. M., A. Delgado and J. Torrent. 1997. Iron–related phosphorus in over fertilized European soils. J. Environ. Qual. 26: 1548-1554.
36. Sharpley, A. N. and I. Sisak. 1997. Differential availability of manure and inorganic sources of phosphorus in soil . Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:1503-1508.
37. Siddique, M. T. and J. S. Robinson. 2003. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. J. Environ. Quality 32:1114-1121.
38. Singh, B. B. and P. Jones. 1976. Phosphorus sorption and dessorption characteristics of soil as affected by organic residues. Soil Sci. Soc. Amer. J. 40:389-394.
39. Subramaniam, V. and B. R. Singh. 1997. Phosphorus supplying capacity of heavily fertilized soils I. Phosphorus adsorption characteristics and phosphorus fractionation. Nutr. Cycl. Agroec. 47:115-122.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]

40. Toor, G. S. and G. S. Bahl. 1997. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. Bioresour.Technol. 62:25-28.
41. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 34:29-38.
42. Whalen, J. K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33:1011-1026.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1385.10.4.9.5]