نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال نهم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۸

ISSN 2251-7480

اثر ورمی کمپوست دامی بر جذب سطحی فسفر در خاک‌های آهکی در مقایسه با سایر ترکیبات آلی[۱]

فاطمه بگوند[۱]، محبوبه ضرابی[۲*]، شهریار مهدوی[۳]، و مهسا عصاریها[٤]

۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، گروه خاکشناسی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۲*) استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: mzarrabi@malayeru.ac.ir و zarrabi7@gmail.com

۳) استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

٤) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی، گروه خاکشناسی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰٤/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

چکیده:

اصلاح‌کننده‌های آلی غالباً جهت بهبود خصوصیات خاک از جمله شیمیایی و تغذیه‌ای استفاده می‌شوند. هدف از این پژوهش مطالعه اثر ورمی‌کمپوست دامی بر پارامترهای هم‌دماهای جذب، نیاز استاندارد (SPR) و ظرفیت بافری فسفر (PBC) در مقایسه با سه نوع ترکیبات آلی دیگر شامل کود مرغی، کود دامی و تفاله انگور است. بدین منظور ۵ نمونه خاک آهکی از تاکستان‌های شهرستان ملایر استان همدان جمع‌آوری و با ۲ درصد از ترکیبات آلی ذکر شده به مدت یک ماه در رطوبت ظرفیت زراعی و دمای ۲± ۲۵ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور نگهداری شدند و سپس برای ارزیابی اثر ترکیبات آلی بر ویژگی‌های جذب فسفر، مطالعات هم‌دمای جذب در خاک‌های شاهد و تیمار شده، در غلظت‌های فسفر از صفر تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار، انجام شد. نتایج حاصل از هم‌دمای جذب فسفر به خوبی توسط معادلات فروندلیچ و ون‌های توصیف شدند. افزودن ترکیبات آلی به خاک‌ها موجب افزایش غلظت فسفر فراهم، کاهش ضریب K_f معادله فروندلیچ، SPR و PBC در خاک‌های مورد مطالعه شد. میانگین SPR در خاک‌های شاهد ۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های تیمار شده در دامنه ۹/۳ تا ۱۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. میانگین PBC در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی شامل ورمی‌کمپوست دامی، کود دامی، کود مرغی و تفاله انگور به ترتیب ۴۱/۰، ۳۷/۹، ۲۹/۹، ۲۱/۶ درصد نسبت به خاک شاهد کاهش یافت. نتایج این تحقیق نشان داد، اثر ورمی‌کمپوست دامی بر غلظت فسفر فراهم، ضرایب K_f، SPR و PBC مشابه و گاهی بهتر از کود دامی و مرغی مصرفی رایج در منطقه می‌باشد. لذا جایگزین نمودن کودهای پرمصرف دامی و مرغی با ورمی کمپوست دامی، به دلیل اثر مطلوب در فراهمی فسفر و داشتن اسیدیته خنثی و شوری کمتر توصیه می‌شود. مطالعات تکمیلی در ارتباط با آبشویی فسفر از خاک‌های تیمار شده با ورمی‌کمپوست دامی نیز توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: اصلاح کننده آلی؛ جذب سطحی فسفر؛ ظرفیت بافری فسفر؛ نیاز استاندارد فسفر

[۱] برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

مقدمه

فسفر دومین عنصر غذایی مورد نیاز برای رشد و نمو گیاهان می‌باشد. به طور متوسط در حدود ۰/۲ درصد از وزن خشک گیاهان را فسفر تشکیل می‌دهد (Jones *et al.*, 1991). غلظت فسفر در محلول خاک و در نتیجه قابلیت استفاده این عنصر غذایی برای گیاه، ارتباط نزدیکی با فرآیندهای رسوب و جذب سطحی به وسیله اجزای خاک از جمله کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم و مواد آلی دارد (Stevenson and Cole, 1999). جذب سطحی فسفر عمدتاً به واکنش‌های تبادل لیگاندی بین هیدروکسیل‌های روی سطح کانی‌ها و یون فسفات در محلول خاک نسبت داده می‌شود (Sharpley *et al.*, 1989). به علت واکنش‌های جذب سطحی و رسوب فسفر در خاک و در نتیجه کاهش فراهمی آن برای گیاه، هر ساله مقادیر قابل توجهی کودهای شیمیایی فسفاته برای بر طرف نمودن نیاز گیاهان، به خاک‌ها اضافه می‌شود. در خاک‌های آهکی به طور متوسط، کمتر از ۵۰ درصد از کود فسفاته اضافه شده به خاک، پس از گذشت شش ماه قابل استفاده گیاه می‌باشد و میزان آن بستگی به خصوصیات خاک دارد (Hassan and Mishra, 1994). در خاک‌های اسیدی ۹۰–۷۰ درصد از فسفر کودهای فسفاته‌ای که به خاک اضافه می‌شوند در خاک ابقا می‌شود (Lei *et al.*, 2004; Liu and Zhang, 2000). به مرور زمان با مصرف هر ساله کودهای فسفاته در خاک، خاک‌ها به مخزن بزرگی از کانی‌های فسفاته، با مقدار فسفر کل زیاد تبدیل خواهند شد. مقدار فسفر کل خاک به دلیل تثبیت فسفر در خاک‌ها با میزان فسفر قابل استفاده برای گیاه، ارتباط کم و گاهی هیچ ارتباطی ندارد (Havlin *et al.*, 1999). در منابع مختلف اضافه نمودن اصلاح‌کننده‌های آلی به‌عنوان راه‌حلی برای برطرف نمودن مشکل تثبیت فسفر در خاک‌ها و کاهش مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی، از طریق افزایش زیست‌فراهمی فسفر، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش توان تولید خاک پیشنهاد شده است (Iyamuremye *et al.*, 1996; Guppy *et al.*, 2005; Agbenin and Igbokwe, 2006; Gichangi and Mnkeni, 2009 ; Zhu *et al.*, 2010). از جمله اصلاح‌کننده‌های آلی که کشاورزان به استفاده از آن‌ها در اراضی زراعی، جهت افزایش فراهمی عناصر و بهبود حاصلخیزی خاک، ترغیب می‌شوند می‌توان به انواع پسماندهای گیاهی، کودهای دامی و مرغی، انواع کمپوست‌ها، لجن فاضلاب و کودهای سبز اشاره نمود. پسماندهای گیاهی از جمله اصلاح‌کننده-هایی هستند که امروزه به منظور کاهش آلودگی هوا، مخلوط نمودن آن‌ها با خاک به جای سوزاندن توصیه می-شود (Xu *et al.*, 2019). کودهای دامی و مرغی غنی از عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند و باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک می‌شوند (سالاردینی، ۱۳۷۱). از طرفی، امروزه کاربرد پسماندهای آلی مثل لجن فاضلاب به عنوان کود برای بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک متداول شده است (Hassan and Mishra, 1994). وجود یک محصول خاص در منطقه، نزدیکی به دامداری‌ها، وجود مراکز تولید کمپوست و لجن فاضلاب باعث شده است که کشاورزان، از انواع ترکیب‌های آلی در اراضی زراعی خود به عنوان اصلاح-کننده استفاده نمایند.

دلیل افزایش فراهمی فسفر در اثر افزودن اصلاح-کننده‌های آلی به خاک، تجزیه ترکیبات آلی توسط میکروارگانیسم‌های خاک و رها شدن فسفر موجود در ساختمان ترکیبات آلی (Baggie *et al.*, 2004) و همچنین آزاد شده مواد هومیکی، غیر هومیکی و اسیدهای آلی حاصل از تجزیه ترکیبات آلی است که، این محصولات جانبی با فسفر برای جذب شدن در مکان‌های جذبی رقابت می‌کنند (Havlin *et al.*, 1999; Adler and Sikora,

2003; Hua *et al.*,2008). نسبت C/N و C/P از جمله عوامل مهمی هستند که بر روی رهاسازی فسفر از ترکیبات آلی اثر می‌گذارند (Alder and Sikora, 2003). Havlin و همکاران (۱۹۹۹) گزارش نمودند هرگاه نسبت C/P در ترکیبات آلی کمتر از ۲۰۰ باشد معدنی شدن خالص فسفر اتفاق می‌افتد. از طرفی گزارش شده است، افزودن اسیدهای آلی با وزن ملکولی پایین به خاک‌ها باعث افزایش حلالیت فسفر در خاک‌های اسیدی و قلیایی می‌شود (Zhuo *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009).

Bolster و Sistani (۲۰۰۹) گزارش نمودند که اثر افزودن کود مرغی و گاوی بر فراهمی فسفر در انواع خاک‌ها، به نوع کود و خصوصیات خاک‌ها بستگی دارد. Jalali و Ranjbar (۲۰۰۹) گزارش کردند که همبستگی مثبتی بین غلظت فسفر در بقایای آلی و فسفر رها شده در خاک وجود دارد و با افزودن بقایای آلی به خاک، مقدار رهاسازی فسفر بیشتر شده و فسفر فراهم بیشتری برای گیاه تأمین می‌گردد.

ورمی‌کمپوست دامی از جمله ترکیب آلی مرغوبی است که امروزه کشاورزان به استفاده از آن تشویق می‌شوند، و دارای عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم به فرمی که به آسانی برای گیاه قابل جذب و دسترسی است، می‌باشد (Ngo *et al.*, 2013). فرآورده‌ای که ورمی کمپوست خوانده می‌شود از لحاظ کیفی، ماده‌ای آلی با pH تنظیم شده، سرشار از مواد هومیک، عناصر غذایی به فرم قابل جذب برای گیاه، دارای انواع ویتامین‌ها، هورمون‌های محرک رشد گیاه و آنزیم‌های مختلف است (Elvira *et al.*, 1998; Arancon *et al.*, 2003). محمدی آریا و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست دامی در افزایش فراهمی فسفر در حضور سنگ فسفات را گزارش کردند. رسولی صدقیانی و همکاران (۱۳۹٤) گزارش نمودند که ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های رشد و غلظت عناصر در گیاه گوجه فرنگی اثر مثبت دارد. Blouin و همکاران (۲۰۱۹) نیز اثر مثبت ورمی کمپوست دامی را بر روی ویژگی‌های خاک و افزایش رشد گیاهان گزارش نمودند. Liu و همکاران (۲۰۱۹ b) نیز در مطالعه اثر کود هیومیک و ورمی‌کمپوست بر روی خاک‌های شور، گزارش نمودند، که افزایش ورمی‌کمپوست باعث افزایش نیتروژن کل، فسفر فراهم، پتاسیم تبادلی و جمعیت میکروبی خاک می‌شود. Liu و همکاران (۲۰۱۹a) گزارش نمودند، ورمی کمپوست با جذب عناصر سمی در خاک‌های اسیدی مناطق گرمیسری باعث کاهش فراهمی آن‌ها در خاک می‌شود.

هر ساله مقدار قابل توجهی کود دامی و در بعضی موارد کود مرغی به منظور افزایش حاصلخیزی خاک، در فصل پاییز به خاک تاکستان‌های شهرستان ملایر افزوده می‌شود. اگرچه این کودها دارای عناصر غذایی ضروری گیاه می‌باشند، و برای اصلاح خاک مفید هستند (Sainju *et al.*, 2010)، با این حال، در صورت عدم مدیریت مناسب می‌توانند منجر به بروز مسائل بالقوه زیست محیطی شوند (Kibet *et al.*, 2011; Adeli *et al.*, 2011). کود دامی و مرغی اضافه شده به خاک‌ها دارای شوری بالایی می‌باشند و احتمال شور شدن خاک تاکستان‌ها وجود دارد (Sims and Wolf, 1994). لذا جایگزین نمودن کودهای مصرفی با ترکیب آلی دیگری که فراهم کننده فسفر مورد نیاز محصولات باشد و از طرفی شوری بالایی نداشته باشد، لازم به نظر می‌رسد. همچنین از آنجایی که محصول عمده در شهرستان ملایر انگور می‌باشد، تفاله حاصل از مراکز شیره‌پزی نیز می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده ارزان قیمت و قابل دسترس به خاک اضافه شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق:

الف) ارزیابی تأثیر ورمی‌کمپوست و سه نوع ترکیبات آلی که در منطقه مورد مطالعه در دسترس می‌باشند، شامل کود مرغی، کود دامی و تفاله انگور با نسبت C/P، شوری متفاوت بر مقدار فسفر فراهم و هم‌دمای جذب فسفر در خاک برخی از تاکستان‌های شهرستان ملایر

ب) بررسی مقایسه‌ای اثر ورمی‌کمپوست و سه نوع ترکیبات آلی بر شاخص‌های نیاز استاندارد و ظرفیت بافری فسفر، حاصل از معادلات توصیف‌کننده جذب سطحی

ج) معرفی ترکیب آلی اصلاح‌کننده جدید، به جای کود دامی پر استفاده در منطقه

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک‌ها و ترکیبات آلی مورد مطالعه

ابتدا نمونه‌برداری مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، ۲۱ تاکستان از مناطق مختلف شهرستان ملایر در استان همدان به گونه‌ای که تمام تاکستان‌ها را شامل شود، انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها اندازه‌گیری شد. بافت خاک‌ها به روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1962)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (Rowell, 1994)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Rowell, 1994)، فسفر فراهم با روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954) عصاره‌گیری شد و غلظت فسفر عصاره‌گیری شده، با استفاده از روش رنگ سنجی به روش آسکوربیک اسید مورفی و رایلی اندازه‌گیری شد (Murphy and Riley, 1962). از بین خاک‌ها ۵ نمونه خاک که دارای میزان فسفر قابل استخراج با روش اولسن، درصد رس، کربنات کلسیم معادل بالایی بودند، جهت مطالعات انتخاب شدند. دلیل انتخاب خاک‌هایی با فسفر فراهم بالا، شبیه‌سازی شرایط خاک‌های تاکستان‌های شهرستان ملایر می‌باشد. زیرا غلظت فسفر فراهم در اکثر تاکستان‌ها بیشتر از حد بحرانی برای محصولات باغی می‌باشد (ضرابی، ۱۳۹۶). از چهار ترکیب آلی شامل ورمی‌کمپوست دامی، کود مرغی، کود دامی و تفاله انگور برای مطالعات هم‌دمای جذب فسفر استفاده شد. درصد کربن آلی خاک و ترکیبات آلی به روش والکی-بلاک (Rowell, 1994)، پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره ۱:۵ آب به خاک و در ترکیبات آلی در عصاره ۱:۱۰ آب به ترکیبات آلی (Thomas, 1996) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت فسفر کل در ترکیبات آلی مورد مطالعه روش هضم اسیدی به کار رفت (Kuo, 1996)، و غلظت فسفرعصاره‌گیری شده، با استفاده از روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Murphy and Riley, 1962).

انکوباسیون و مطالعات هم‌دمای جذب در خاک-های شاهد و تیمار شده

جهت مطالعه و مقایسه تأثیر ورمی‌کمپوست دامی و سه ترکیب آلی دیگر(کود مرغی، کود دامی، و تفاله انگور) بر ویژگی‌های جذب فسفر مقدار دو درصد (درصد وزنی بر اساس وزن خشک) از ترکیبات آلی که تقریبا معادل مقدار کودی است، که کشاورزان در مزرعه استفاده می‌کنند، پس از آسیاب کردن و عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری به پنج نمونه خاک انتخاب شده اضافه گردید. سپس ترکیبات آلی کاملاً با خاک مخلوط شده، و رطوبت نمونه‌ها با آب مقطر به حد ظرفیت زراعی رسید و به مدت یک ماه در رطوبت ظرفیت زراعی و در دمای ۲۵±۲ درجه سانتیگراد در انکوباتور نگهداری شدند. نمونه خاک‌های شاهد بدون اضافه نمودن ترکیب آلی نیز به مدت یک ماه با شرایط ذکر شده در انکوباتور نگهداری شدند. در طول مدت انکوباسیون هر چند روز یک بار رطوبت نمونه‌ها به صورت وزنی کنترل و میزان آن در حد ظرفیت زراعی نگهداری شد. پس از پایان زمان انکوباسیون، نمونه‌ها هواخشک شده و مجدداً از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (Jalali and Ranjbar, 2009). غلظت فسفر فراهم در خاک‌ها پس از یک ماه انکوباسیون به روش اولسن (Olsen *et al.*,

1954) عصاره‌گیری و به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (Murphy and Riley, 1962)، سپس مطالعات هم‌دمای جذب بر روی خاک‌های تیمار شده و شاهد انجام شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد و تمام آزمایشات در دو تکرار انجام شدند.

جهت بررسی هم‌دماهای جذب فسفر، سری‌های غلظت فسفر شامل غلظت‌های صفر، ٤، ٨، ٢٠، ٥٠، ١٠٠، ١٥٠ و ٢٠٠ میلی‌گرم در لیتر فسفر، تهیه شده از نمک KH_2PO_4، در حضور ١٠ میلی‌مول بر لیتر کلرید کلسیم در دو تکرار با نسبت ١:١٠ خاک به محلول به نمونه خاک-های تیمار شده و شاهد اضافه شدند، و سوسپانسیون به مدت یک ساعت در تکان‌دهنده مکانیکی تکان داده شد و پس از ٢٢ ساعت سکون در دمای ٢± ٢٥ درجه سانتیگراد، به مدت یک ساعت دیگر بهم زده شد. نمونه‌ها پس از پایان مدت تماس به مدت پنج دقیقه با سرعت ٢٠٠٠ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد، و از کاغذ صافی واتمن ٤٢ عبور داده شد (Jalali, 2007). سپس غلظت فسفر در محلول زلال روئی اندازه‌گیری شد (Murphy and Riley, 1962). مقدار فسفر جذب شده در نمونه‌ها از طریق اختلاف بین غلظت فسفر اضافه شده در محلول اولیه و فسفر باقیمانده در محلول تعادلی اندازه‌گیری و داده‌های حاصل به معادلات لانگمویر، فروندلیچ، تمکین، ون‌های و خطی برازش داده شد (جدول ١). جهت رسم نمودارها و آنالیز داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel و Spss استفاده شد.

جدول ١. معادلات استفاده شده جهت توصیف نتایج هم‌دمای جذب سطحی فسفر و پارامترهای آن‌ها

معادلات	شکل خطی	شکل غیر خطی	پارامترهای معادلات
فروندلیچ	$Log\ q = Log\ K_f + 1/n\ LogC$	$q= K_f\ C^{1/n}$	K_f: ضریب توزیع ($L\ Kg^{-1}$) n_f: شدت جذب
ون‌های	$q= a + b\sqrt{C}$	–	ضرایب b و a به ترتیب شیب ($L\ mg^{-1}$) و عرض از مبدا ($mg\ kg^{-1}$) معادلات ون‌های
تمکین	$q= a + b\ LnC$	–	و تمکین
لانگمویر	$C/q = 1/Kb + C/b$	$q= KCb / (1 + KC)$	b: حداکثر جذب فسفر ($mg\ kg^{-1}$) b: حداکثر ظرفیت جذب فسفر ($mg\ kg^{-1}$) K: ثابت جذبی وابسته به انرژی پیوند ($L\ mg^{-1}$)

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

نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ٢ آمده است. درصد رس خاک‌ها در دامنه ٢١/٥ تا ٤٣/٥، درصد کربنات کلسیم معادل بین ٨/٠ تا ٣٦/٢ درصد می‌باشد و مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با روش اولسن بین ١٩/٥ تا ١/ ٣٣ میلی‌گرم برکیلوگرم است. در خاک‌های مورد مطالعه غلظت فسفر اولسن بالاتر از حد بحرانی فسفر برای محصولات باغی (بین ٧ تا ١٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) که توسط ملکوتی و همکاران (١٣٨٤) گزارش شده است، می‌باشد. خاک‌های شماره یک و چهار دارای بیشترین درصد رس و کربنات کلسیم معادل می‌باشند.

جدول ۲. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	pH*	EC*	OM	رس	شن	سیلت	ECC	Olsen-P	CEC
		dS m^{-1}	%					mg kg^{-1}	Cmol$_c$ kg^{-1}
۱	۷/۸	۰/۱۶	۱/۷	۳۱/۰	۳۱/۰	۳۸/۰	۳۶/۲	۱۹/۵	۲۴/۵
۲	۷/۹	۰/۱۲	۲/۳	۲۳/۵	۳۲/۰	۴۴/۵	۱۲/۵	۲۰/۲	۱۶/۰
۳	۸/۰	۰/۱۶	۱/۲	۲۱/۵	۵۴/۰	۲۴/۵	۸/۰	۳۲/۵	۱۲/۸
۴	۷/۸	۰/۱۷	۲/۴	۴۳/۵	۲۴/۰	۳۲/۵	۲۸/۷	۲۴/۲	۲۰/۱
۵	۷/۸	۰/۲۴	۳/۱	۲۷/۵	۴۶/۰	۲۶/۵	۱۳/۵	۳۳/۱	۲۱/۸
میانگین	۷/۸	۰/۱۷	۲/۱	۲۹/۴	۳۷/۴	۳۳/۲	۱۹/۸	۲۵/۹	۱۹/۰

×: در عصاره یک به پنج خاک به آب مقطر EC : قابلیت هدایت الکتریکی OM: ماده آلی CCE: کربنات کلسیم معادل

Olsen-P: فسفر قابل عصاره‌گیری با روش اولسن CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی

نتایج تجزیه شیمیایی ترکیبات آلی در جدول ۳ آمده است. pH ترکیبات آلی مورد مطالعه بین ۳/۷ تا ۹/۶ به‌دست آمد، اسیدیته تفاله انگور اسیدی، کود دامی قلیایی، کود مرغی و ورمی‌کمپوست دامی نزدیک خنثی می‌باشد. کود دامی دارای بیشترین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی بوده و شور است. بنابراین مدیریت مناسب در زمان کاربرد کود دامی در خاک به ویژه در خاک‌هایی که احتمال شور شدن آن‌ها بالا است، لازم است. ورمی کمپوست دامی دارای کمترین شوری است. غلظت فسفر کل، در ترکیبات آلی مورد مطالعه بین ۵/۹ تا ۲۰ گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بیشترین مقدار کربن آلی در تفاله انگور (۵۲۴ گرم بر کیلوگرم) و کمترین در ورمی-کمپوست دامی (۹۹/۵ درصد) مشاهده شد. نسبت C/P در ترکیبات مورد مطالعه کمتر از ۲۰۰ است. (جدول ۳).

جدول ۳ . خصوصیات شیمیایی ترکیبات آلی مورد مطالعه

ترکیبات آلی	pH	EC	فسفر کل*	کربن آلی	C/P
		dS m^{-1}	g kg^{-1}	g kg^{-1}	
تفاله انگور	۳/۷	۳/۰	۶/۰	۵۲۴	۸۷/۳
ورمی‌کمپوست دامی	۷/۰	۱/۷	۶/۶	۹۹/۵	۱۵/۱
کود دامی	۹/۶	۸/۹	۵/۹	۳۸۱	۶۴/۶
کود مرغی	۷/۶	۴/۷	۲۰	۴۵۳	۲۲/۶
میانگین	۷/۰	۴/۶	۹/۶	۳۶۴/۴	۴۷/۴

*: بر اساس وزن خشک

مقدار فسفر فراهم عصاره‌گیری شده با روش اولسن، در تمام خاک‌های تیمار شده در مقایسه با خاک شاهد، پس از یک ماه انکوباسیون افزایش یافت (جدول ٤). بیشترین افزایش فسفر فراهم نسبت به خاک‌های شاهد، در خاک‌های تیمار شده با ورمی‌کمپوست دامی (با میانگین ٦٢٨/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین افزایش در خاک‌های تیمار شده با تفاله انگور (با میانگین ٤٩٥/٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. خاک‌های شماره ١ و ٤ کمترین افزایش را نسبت به بقیه خاک‌ها نشان دادند (جدول ٤). ورمی‌کمپوست دامی با داشتن بیشترین فسفر کل و کمترین نسبت C/P موجب بیشترین افزایش فسفر فراهم در خاک‌های تیمار شده، شده است. نقش ورمی-کمپوست به عنوان کود آلی در بهبود حاصلخیزی خاک و بهره‌وری به خوبی مستند شده است (Baran *et al.*, 1998; Jat and Ahlawat, 2004). Jat و Ahlawat (٢٠٠٤) در مطالعه خود بر روی اثر ورمی‌کمپوست بر روی کشت نخود و ذرت نشان دادند که، استفاده از ورمی‌کمپوست به طور قابل توجهی فسفر قابل دسترس و ازت کل خاک را، افزایش داده است.

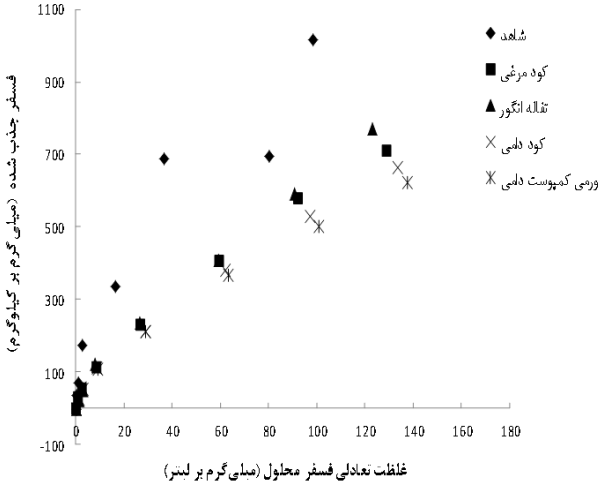
میانگین غلظت فسفر فراهم پس از یک ماه انکوباسیون، در خاک‌های تیمار شده بین ٢١/٦ تا ٢٧/٤ برابر میانگین غلظت فسفر فراهم در خاک‌های شاهد به-دست آمد. جدول ٤ مقایسه میانگین غلظت فسفر فراهم را در خاک‌های تیمار شده نشان می‌دهد. میانگین غلظت فسفر فراهم در خاک‌های شاهد و تیمار شده دارای تفاوت معنادار در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ٤. مقدار فسفر اولسن درخاک‌های شاهد و تیمار شده پس از یک ماه انکوباسیون ($mg\ kg^{-1}$)

شماره خاک	خاک شاهد	ورمی‌کمپوست دامی	کود دامی	کود مرغی	تفاله انگور
١	$١٨/٣^{eC}$	$٦٠١/٣^{aD}$	$٥٥٤/٨^{bC}$	$٥٢٤/٦^{cC}$	$٤٩٠/٠^{dB}$
٢	$١٩/٢^{eC}$	$٦٢٢/٠^{aC}$	$٥٧٨/٢^{bB}$	$٥٤٤/١^{cB}$	$٤٩٦/٨^{dB}$
٣	$٢٥/٥^{eB}$	$٦٤٧/٨^{aB}$	$٦٢٠/٥^{bA}$	$٥٦٤/١^{cA}$	$٤٩٢/١^{dB}$
٤	$٢٠/٢^{eC}$	$٦٠٥/١^{aD}$	$٥٤١/٢^{bD}$	$٥١٠/٨^{cD}$	$٤٩٤/٤^{dB}$
٥	$٣١/١^{eA}$	$٦٦٥/٠^{aA}$	$٦١٨/٠^{bA}$	$٥٢٤/١^{cC}$	$٥٠١/٢^{dA}$
میانگین	$٢٢/٩^{e}$	$٦٢٨/٤^{a}$	$٥٧٧/١^{b}$	$٥٥٣/٣^{c}$	$٤٩٥/٠^{d}$

حروف کوچک مشابه در هر ردیف نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنادار در اعداد هر ردیف، و حروف بزرگ در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنادار در اعداد هر ستون در سطح ٠/٠١ است.

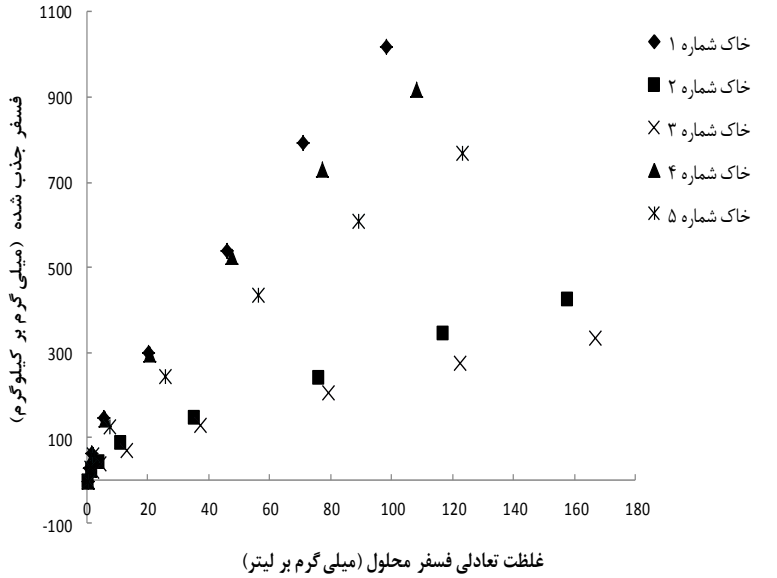
شکل ١ نمودار میانگین هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی را بر اساس میانگین هر تیمار آلی، در تمام خاک‌ها نشان می‌دهد. در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی فسفر بیشتری وارد محلول خاک شده است و یکی از دلایل این امر کمتر شدن قدرت پیوند مکان‌های جذب فسفر می‌باشد. Dail و همکاران (٢٠٠٩) گزارش نمودند که کاربرد کود مرغی در سطح ٢٠٠ مگاگرم بر هکتار سبب افزایش فسفر محلول در یک خاک نسبتاً اسیدی گردید. بیشترین و کمترین کاهش جذب به ترتیب در خاک‌های تیمار شده با ورمی‌کمپوست دامی و تفاله انگور مشاهده شد. همانطور که در شکل ١ مشاهده می‌شود، در بین تیمارهای مورد بررسی اثر ورمی‌کمپوست دامی بر فراهمی فسفر، بیشتر از سایر ترکیبات آلی است.



شکل ۱. نمودار هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی (بر اساس میانگین هر تیمار آلی در تمام خاک‌ها)

اثر ترکیبات آلی در کاهش جذب فسفر در خاک‌های آهکی به دلیل تشکیل یون هومات‌ها به عنوان رقیب در جذب فسفر بر روی مکان‌های جذبی و همچنین حل کردن فسفات‌های کلسیم به دلیل ایجاد اسیدهای آلی می‌باشد (Yu *et al.*, 2013). یون هومات حاصل از تجزیه مواد آلی جایگزین فسفات‌های جذب سطحی شده گردیده، که این امر باعث کاهش انرژی جذب فسفر و ظرفیت تثبیت فسفر خاک گشته و سرعت تحرک و آزاد شدن فسفر تجمع یافته در خاک افزایش می‌یابد (Allen and Mallarino, 2006). آنیون‌های آلی حاصل از مواد آلی برای مکان‌های جذبی مشابه بر روی ذرات کربنات کلسیم، با یون فسفات رقابت می‌کنند (Jones and Darrah, 1994). تأثیر اسیدهای آلی در بازداری از رسوب فسفات کلسیم به حجم گروه‌های عامل و اندازه آن‌ها بستگی دارد. اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی با جذب روی سطوح فسفات کلسیم و اشغال مکان‌های فعال به عنوان هسته‌هایی برای رشد کریستال‌های جدید، از تشکیل این رسوبات جلوگیری می‌کنند. علاوه بر این اسیدهای آلی با ایجاد کمپلس با کاتیون‌های کلسیم فعالیت فسفر را افزایش می‌دهند (Yu *et al.*, 2013). از طرفی در اثر معدنی شدن ترکیبات آلی، فسفر موجود در ساختمان ترکیبات آلی آزاد شده و موجب افزایش فسفر فراهم در خاک می‌شود. از آنجایی که در خاک‌های آهکی کمبود فسفر فراهم، به دلیل تبدیل فسفر محلول به ترکیبات کم محلول مانند فسفات‌های کلسیم یکی از دشواری‌های تغذیه‌ای می‌باشد (Cooperband and Good, 2002)، با افزودن ترکیبات آلی به خاک‌ها می‌توان تا حدودی این مشکل را حل نمود.

شکل ۲ نمودار میانگین هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی را بر اساس میانگین هر خاک در تمام تیمارها نشان می‌دهد. در بین خاک‌های تیمار شده، خاک‌های شماره ۱ و ٤ تیمار شده، بیشترین مقدار جذب فسفر را نسبت به خاک‌های شماره ۲، ۳ و ۵ تیمار شده نشان دادند. بیشترین درصد رس و آهک معادل مربوط به خاک‌های شماره ۱ و ٤ می‌باشد. کمترین درصد رس و آهک معادل نیز در خاک-های شماره ۲ و ۳ مشاهده شد.



شکل ۲. نمودار هم‌دمای جذب سطحی فسفر در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی (بر اساس میانگین هر خاک در تمام تیمارها)

نتایج به دست آمده از برازش داده‌های هم‌دمای جذب بر معادلات نشان داد، معادلات فروندلیچ و ون‌های جذب فسفر در تمام خاک‌های تیمار شده را به خوبی توصیف می‌کنند (جدول‌های ۵ و ٦).خورشید و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر کود مرغی بر ویژگی‌های جذب و نیاز استاندارد فسفر در خاک‌های آهکی همدان گزارش نمودند که داده‌های جذب فسفر به خوبی با معادلات فروندلیچ، لانگمویر و خطی قابل توصیف می‌باشند. آن‌ها گزارش نمودند، معادله لانگمویر در خاک‌هایی که کود مرغی دریافت کرده‌اند به دلیل غلظت بالای فسفر در این کود، قادر به توصیف جذب فسفر نبود. Bhattacharyya و همکاران (۲۰۱۵)، نیز با بررسی تأثیر ٤۲ سال مدیریت کودی بر روی زیست‌فراهمی، جزءبندی و جذب فسفر در خاک شالیزار، گزارش نمودند داده‌های جذب فسفر به خوبی با معادلات فروندلیچ و لانگمویر قابل توصیف می‌باشند. به عقیده Zhou و همکاران (۱۹۹۷) این امر می‌تواند به دلیل انعطاف پذیری معادله فروندلیچ برای توصیف پدیده‌های جذبی در خاک باشد. بسیاری از محققین دیگر نیز در بررسی جذب فسفر در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی گزارش نمودند که معادلات فروندلیچ، لانگمویر و خطی جذب فسفر را به خوبی توصیف می‌کنند (Bhattacharyya *et al.*, 2015; Tani *et al.*, 2010 Abdala *et al.*, 2012).

جدول شماره ۵ پارامترهای حاصل از برازش داده‌های جذب سطحی فسفر بر معادله فروندلیچ، در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی را نشان می‌دهد. اضافه کردن ترکیبات آلی به خاک موجب کاهش پارامتر n_f در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک‌های شاهد شده است. اثر تیمار کود دامی، ورمی‌کمپوست دامی و کود مرغی در کاهش پارامتر n_f بیشتر از تفاله انگور است. در خاک‌های شماره ۱ و ٤ بیشترین مقدار میانگین پارامتر n_f معادله فروندلیچ و خاک‌های شماره ۲، ۳ و ۵ کمترین مقدار مشاهده شد. پارامتر n_f در معادله فروندلیچ نشان دهنده تنوع مکان‌های جذب فسفر در خاک می‌باشد. مطابق معادله فروندلیچ، انرژی پیوند با افزایش جذب به طور نمایی کاهش می‌یابد. با کاهش n_f در یک غلظت تعادلی

مشخص مقدار کمتری از فسفر جذب خواهد شد. کاهش n_f در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی نشان‌دهنده این است که، ترکیبات آلی در افزایش حلالیت و تحرک فسفر نقش داشته و همچنین در جذب بر روی مکان‌های جذبی با فسفر رقابت می‌کنند.

جدول ۵. پارامترهای معادله فروندلیچ در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی

شماره خاک	خاک شاهد			کود مرغی			کود دامی			ورمی‌کمپوست دامی			تفاله انگور		
	R^2	K_f	n_f	R^2	K_f	n_f	R^2	K_f	n_f	R^2	K_f	n_f	R^2	K_f	n_f
		$L\ kg^{-1}$			L kg-1			$L\ kg^{-1}$			$L\ kg^{-1}$			$L\ kg^{-1}$	
۱	۰/۹۸	۵۳/۷	۱/۵	۰/۹۹	٤۳/۵	۱/٤	۰/۹٦	۳٤/۸	۱/۳	۰/۹۹	٤۰/۲	۱/۵	۰/۹۸	٤۳/۱	۱/٤
۲	۰/۹۸	۳٤/٦	۱/۹	۰/۹۷	۲۰/۸	۱/٦	۰/۹۸	۱۱/٦	۱/٤	۰/۹۸	۲۲/۷	۱/۸	۰/۹۹	۲۲/٤	۱/۷
۳	۰/۹۹	۲۱/٤	۱/۸	۰/۹۹	۱۲/٦	۱/۵	۰/۹۹	۱۵/٦	۱/۵	۰/۹۹	۱٤/۸	۱/۷	۰/۹۹	۱۵/۷	۱/۸
٤	۰/۹٤	٤۷/۳	۱/۳	۰/۹۹	٤۰/۹	۱/۵	۰/۹٤	۲٤/۹	۱/۲	۰/۹٦	۲۰/۸	۱/۲	۰/۹۸	٤۱/۰	۱/٦
۵	۰/۹۵	۳۰/۸	۱/۵	۰/۹۸	۲۷/۷	۱/٤	۰/۹۸	۲٦/۹	۱/٤	۰/۹۹	۲٤/۹	۱/٤	۰/۹۸	۳۳/۳	۱/٦
میانگین	۰/۹۷	۳۷/٦	۱/٦	۰/۹۸	۲۹/۱	۱/۵	۰/۹۷	۲۲/۸	۱/٤	۰/۹۸	۲٤/۷	۱/۵	۰/۹۸	۳۱/۱	۱/٦

اضافه کردن ترکیبات آلی به خاک موجب کاهش ضریب توزیع (K_f) معادله فروندلیچ نسبت به خاک شاهد شده است. تیمار ورمی‌کمپوست دامی و کود دامی بیشترین و تفاله انگور دارای کمترین تأثیر در کاهش پارامتر K_f معادله فروندلیچ می‌باشند. بیشترین مقدار ضریب K_f معادله فروندلیچ، در خاک‌های شماره ۱ و ٤ تیمار شده مشاهده شد. ضریب توزیع کوچکتر نشان دهنده، وجود فسفر بیشتر در فاز محلول و فراهمی بیشتر برای فرآیند انتقال، واکنش‌های شیمیایی و جذب توسط گیاه است، و مقادیر زیاد ضریب توزیع نشان دهنده، تحرک کمتر و جذب بیشتر فسفر در خاک است (خورشید و همکاران، ۱۳۸۸). اگرچه وجود فسفر محلول بالا از جهت فراهمی بیشتر فسفر برای جذب توسط گیاه دارای اهمیت می‌باشد، اما در صورت عدم وجود مدیریت صحیح در کاربرد این ترکیبات آلی در خاک، افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌تواند منجر به خطر آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شود. خورشید و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر کود مرغی بر ویژگی‌های جذب فسفر در خاک‌های آهکی همدان به ترتیب میانگین ضریب توزیع را ۸/۳ لیتر بر کیلوگرم و میانگین n_f معادله فروندلیچ را ۰/۸ گزارش نمودند.

جدول ٦ نیاز استاندارد فسفر(SPR) به‌دست آمده از معادله فروندلیچ در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی را نشان می‌دهد. یکی از کاربردهای هم‌دمای جذب فسفر، تعیین نیاز استاندارد فسفر (SPR) خاک‌ها می‌باشد. افزودن ترکیبات آلی به خاک موجب کاهش مقدار نیاز استاندارد فسفر نسبت به خاک شاهد شده است.

جدول ٦. نیاز استاندارد فسفر(SPR) محاسبه شده از معادله فروندلیچ در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی

شماره خاک	خاک شاهد	کود مرغی	کود دامی	ورمی‌کمپوست دامی	تفاله انگور
	SPR ($mg\ kg^{-1}$)				
۱	۲٤/۰	۱۸/۵	۱۳/۸	۱۷/۹	۱۸/۳
۲	۱۸/۳	۹/۸	٤/۹	۱۱/۷	۱۱/۰
۳	۱۱/۰	۵/٦	۷/۰	۷/۳	۸/۱
٤	۱۸/۷	۱۸/۲	۹/۲	۷/٦	۱۹/۳
۵	۱۳/۷	۱۱/۸	۱۱/٤	۱۰/٦	۱۵/۹
میانگین	۱۷/۱	۱۲/۸	۹/۳	۱۱/۰	۱٤/۵

تیمار ورمی‌کمپوست دامی و کود دامی بیشترین و تفاله انگور دارای کمترین تأثیر در کاهش پارامتر SPR می‌باشند. خاک‌های شماره ۱ و ٤ کمترین کاهش را نسبت به بقیه خاک‌ها (خاک‌های شماره ۲، ۳ و ۵) نشان دادند. نیاز استاندارد فسفر در واقع نشان‌دهنده مقدار فسفری است که باید به‌وسیله یک خاک جذب شود تا غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر را در محلول خود ایجاد کند. Mehadi و همکاران (1990)، مقدار ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر را به عنوان غلظت مناسب فسفر به منظور رشد بهینه گیاه تعیین نمودند. در پژوهش حاضر نیز غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر فسفر به عنوان شدت مناسب فسفر در محلول خاک در نظر گرفته شده، و محاسبه شاخص نیاز استاندارد فسفر بر پایه آن و با استفاده از معادله فروندلیچ صورت گرفت. نیاز استاندارد فسفر نشان‌دهنده نیاز کودی است، به طوری که هر چه در خاکی نیاز استاندارد فسفر بیشتر باشد، پتانسیل خاک برای جذب فسفر بیشتر می‌باشد، و کاهش نیاز استاندارد فسفر به معنی افزایش فسفر قابل استفاده گیاه و کاهش نیاز به کوددهی می‌باشد. این ویژگی بیشتر تحت تأثیر میزان رس، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت بافری خاک می‌باشد و خاک‌هایی با درصد رس و آهک بالاتر، به منظور نگهداری غلظت فسفر محلول در یک حد مطلوب برای تغذیه گیاه، نیاز به افزودن فسفر بیشتری به ازای واحد وزن خاک دارند (خورشید و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات زیادی نشان دادند که رس نقش مهمی در تثبیت و حفظ فسفر توسط خاک‌ها دارد، به طوری که خاک‌هایی که دارای مقادیر رس بیشتری هستند توان تثبیت فسفر بیشتری نسبت به خاک‌های دارای رس کمتر دارند (Barbieri *et al.*, 2013 ؛ Oliveira *et al.*, 2014). علاوه بر این، ماده آلی نیز بر روی پارامترهای ظرفیت بافری فسفر، نیاز استاندارد فسفر و غلظت تعادلی فسفر تأثیرگذار است (Holford and Mattingly, 1976). مطالعات متعدد نشان می‌دهد کاربرد ترکیبات آلی مختلف غلظت فسفر تعادلی را افزایش و موجب کاهش تمایل ترکیبات خاک برای جذب سطحی و نیاز استاندارد فسفر می‌شود (Li *et al.*, 2014؛ Wang *et al.*, 2011). Bahl و Toor (۲۰۰۲) در مطالعه خاک‌های تیمار شده با کود مرغی گزارش نمودند که جذب سطحی و نیاز استاندارد فسفر کاهش یافته است. خورشید و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی تأثیر کود مرغی و لجن فاضلاب بر جذب فسفر در خاک‌های آهکی همدان به ترتیب میانگین ۲/۱ و ۱۰/۳

میلی‌گرم بر کیلوگرم را برای نیاز استاندارد فسفر گزارش نمودند. آن‌ها همچنین نشان دادند که افزودن لجن فاضلاب به عنوان اصلاح‌کننده به خاک موجب کاهش نیاز استاندارد فسفر می‌گردد.

جدول شماره ۷ برازش داده‌های هم‌دمای جذب سطحی فسفر بر معادله ون‌های در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی را نشان می‌دهد. ثابت b معادله ون‌های نشان‌دهنده ظرفیت بافری فسفر (PBC) در خاک می‌باشد. اضافه کردن ترکیبات آلی به خاک موجب کاهش مقدار ثابت b معادله ون‌های در خاک‌های تیمار شده، نسبت به خاک‌های شاهد شده است. بیشترین کاهش ظرفیت بافری فسفر در خاک‌های تیمار شده با ورمی-کمپوست دامی و کمترین آن در خاک‌های تیمار شده با تفاله انگور مشاهده شد (جدول ۷). Sui و Thompson (۲۰۰۰) در مطالعه اثر کاربرد جامدات زیستی در فراهمی فسفر در خاک‌ها، گزارش نمود که ظرفیت بافری فسفر خاک‌ها کاهش یافته است. Huang و همکاران (۲۰۱۲) و Tani و همکاران (۲۰۱۰) نیز، افزایش در فسفر قابل جذب و کاهش ظرفیت بافری فسفر خاک‌ها را در اثر تیمار خاک‌ها با کود حیوانی، جامدات زیستی و لجن فاضلاب گزارش کردند. کاهش ظرفیت بافری فسفر نشان‌دهنده، افزایش فراهمی فسفر در خاک است.

جدول ۷. پارامترهای معادله ون‌های در خاک‌های شاهد و تیمار شده با ترکیبات آلی

شماره خاک	خاک شاهد			کود مرغی			کود دامی			ورمی کمپوست دامی			تفاله انگور		
	R^2	a (mg kg^{-1})	b (L kg^{-1})	R^2	a (mg kg^{-1})	b (L kg^{-1})	R^2	a (mg kg^{-1})	b (L kg^{-1})	R^2	a (mg kg^{-1})	b (L kg^{-1})	R^2	a (mg kg^{-1})	b (L kg^{-1})
۱	۰/۹۵	٤٤/۲	۸٤/۳	۰/۹۹	-۹٤/٦	۱۰۹/۱	۰/۹۸	-۸۱/۳	۱۰۲/۹	۰/۹۹	-٦٦/۲	۸٦/۹	۰/۹٦	-۱۰٤/۷	۱۱۳/۷
۲	۰/۹۲	-۳/۹	۷۹/۸	۰/۹۹	-۳۱/٤	۳٦/۳	۰/۹۹	-۲٦/٤	۳٤/۲	۰/۹۷	-۱۷/۹	۲۹/٦	۰/۹۷	-۱۰/٤	٤٥/٦
۳	۰/۹۳	۸/۸	٦۷/٤	۰/۹۹	-۲۳/٤	۲۷/۱	۰/۹۹	-۱٦/٥	۲۳/٤	۰/۹۸	-۱۸/٦	۲۲/٤	۰/۹۹	-۳۰/٦	۳٤/۲
٤	۰/۹۲	-۱٥/۸	۱۲٦/۹	۰/۹۹	-۷۰/۱	۹۰/۸	۰/۹۹	-٥۷/۱	۸۲/۳	۰/۹۹	-۷٤/۹	۸٤/٤	۰/۹۷	-۱۱۸/۱	۱۱۳/٤
٥	۰/۹۷	-۹٦/۸	۱۲۹/٤	۰/۹۹	-۷٦/۳	۷۸/۷	۰/۹۷	-٤٤/۸	٦۰/۰	۰/۹۹	-٥۹/۱	٦٤/۸	۰/۹۹	-٦٤/٦	۷٥/٤
میانگین	۰/۹٥	-۱۲/۷	۹۷/۷	۰/۹۹	-٥۹/۲	٦۸/٤	۰/۹۸	-٤۰/۸	٦۰/٦	۰/۹۸	-٤۷/٤	٥۷/٦	۰/۹۸	-٦٥/۷	۷٦/٥

نتیجه‌گیری

با کاربرد ورمی‌کمپوست دامی، کود دامی، کود مرغی و تفاله انگور در خاک‌های مورد مطالعه، ویژگی‌های جذب فسفر توسط خاک‌ها تغییر یافت. اضافه شدن هر چهار ترکیب آلی به خاک‌ها موجب کاهش جذب فسفر توسط خاک، افزایش غلظت فسفر قابل استفاده، کاهش ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر و ضریب K_f در خاک‌های مورد مطالعه شد. مقدار این تغییرات در خاک-های مختلف به دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک‌ها که بر جذب فسفر تأثیر دارند، از جمله درصد کربنات کلسیم معادل و درصد رس متفاوت بود. بیشترین کاهش ظرفیت جذب فسفر در اثر افزودن کود دامی و ورمی‌کمپوست دامی و کمترین کاهش ظرفیت جذب در اثر افزودن تفاله انگور در خاک‌های مورد بررسی مشاهده شد. از آنجایی که کشاورزان شهرستان ملایر هر ساله علاوه بر مصرف کودهای شیمیایی فسفره، از کود دامی و مرغی در تاکستان‌ها استفاده می‌کنند و با عنایت به این نکته که مصرف مداوم کودهای دامی و مرغی با شوری بالا، به مرور زمان باعث شوری خاک‌ها و بروز مشکلات زیست‌محیطی خواهد شد، به کمک نتایج به‌دست آمده از

این تحقیق ورمی‌کمپوست دامی به دلیل داشتن اسیدیته مناسب، قابلیت هدایت الکتریکی کم، داشتن اثر مشابه کودهای دامی و مرغی در افزایش فراهمی فسفر در خاک، قیمت مناسب، فراوانی، تهیه آسان و عدم آلودگی به عوامل بیماری‌زا می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای دامی و مرغی مصرفی در خاک‌های تاکستان شهرستان ملایر باشد. علاوه بر این، با توجه به تفاوت خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق در توانایی تثبیت فسفر، نیاز استاندارد و ظرفیت بافری فسفر، توصیه کودی یکسان برای تمامی خاک‌های مورد مطالعه امکان‌پذیر نمی‌باشد. درصد رس و کربنات کلسیم معادل در خاک‌ها از جمله عوامل مهم در توصیه کودی در خاک‌ها می‌باشند. اگرچه یافته‌های این تحقیق نشان داد، افزودن ورمی‌کمپوست دامی به خاک‌ها موجب افزایش فسفر فراهم در خاک‌ها می‌شود، با این وجود به دلیل احتمال بروز مشکلات زیست‌محیطی در اثر آبشویی فسفر و بروز پدیده سرشار سازی در آب‌های سطحی (یوتریفیکاسیون) مطالعات تکمیلی و بررسی اثر این ترکیب آلی در آبشویی فسفر از خاک‌ها توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

افخمی، م.، رسولی، م.ح.، و مظفری، و. ۱۳۸٤. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، تعیین معیارهای کیفی و کمّی و حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در میوه‌های تولیدی در خاک‌های آهکی ایران. تهران: مؤسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی

.خورشید، م.، حسین‌پور، ع.، و اوستان، ش. ۱۳۸۸. تأثیرکودمرغی بر ویزگی‌های جذب و نیاز استاندارد فسفر در برخی از خاک‌های آهکی استان همدان. مجله تحقیقات آب وخاک ایران، ٤۰(۲): ۱۳۹-۱٤۷.

رسولی صدقیانی، م. ح.، مرادی، ن.، حمزه‌نژاد، ر. ۱۳۹٤. تأثیر نوع و نسبت ورمی‌کمپوست بر برخی شاخص‌های رشد و غلظت عناصر غذایی در گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه‌ای. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ٦(۲٤): ۱۱۵-۱۲۷.

سالاردینی، ع. ا. ۱۳۷۱. حاصلخیزی خاک. چاپ هشتم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ٤۳٤ صفحه.

ضرابی،م.، بگوند، ف.، مهدوی، ش.، و کلاه‌چی، ز. ۱۳۹٦. مطالعه جذب و واجذب فسفر در لایه‌های سطحی و زیرسطحی برخی از تاکستان‌های شهرستان ملایر. فصلنامه پژوهش‌های خاک، ۳۱(۲):۲٤۷-۲٦۲.

محمدی آریا، م.، لکزیان، ا.، و حق نیا، غ.، بشارتی کلایه، ح.، فتوت، ا. ۱۳۸۹. تاثیر Thiobacillus و Aspergillus برفراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ورمی کمپوست. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٤ (۱): ۱- ۹.

ملکوتی، م.ج.، مجیدی، ع.، سرچشمه پور، م.، دهقانی، ف.، شهابی، ع.ا. ۱۳۸٤. شناخت ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، تعیین معیارهای کیفی و کمی و حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در میوه‌های تولیدی در خاک‌های آهکی ایران. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. ٤۵۰ صفحه.

Abdala, D. B., Ghosh, A. K., Da Silva, I. R., Novais, R. F. and Alvarez, V. 2012. Phosphorus saturation of a tropical soil and related P leaching caused by poultry litter addition. Agriculture, Ecosystems and Environment, 162: 15–23.

Adeli, A., Shankle, M. W., Tewolde, H., Brooks, J. P., Sistani, K. R., McLaughlin, M. R. and Rowe, D. E. 2011. Effect of surface incorporation of broiler litter applied to no-till cotton on runoff quality. Journal of Environmental Quality, 40,566–574.

Adler, P. R., & Sikora, L. J. 2003. Changes in soil phosphorus availability with poultry compost age. Communications in soil science and plant analysis, 34(1-2): 81-95.

Agbenin, J. O. and Igbokwe, S. O. 2006. Effect of soil–dung manure incubation on the solubility and retention of applied phosphate by a weathered tropical semi-arid soil. Geoderma, 133: 191-203.

Allen, B. L. and Mallarino, A. P. 2006. Relationships between extractable soil phosphorus and phosphorus saturation after long-term fertilizer or manure application. Journal of Soil Science, 70: 454-463.

Arancon, N. Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzeger, J.D., Lee, S. and Welch, C. 2003. Effects of vermicompost on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. Pedobiologia, 47, 1-5.

Baggie, I., Rowell, D. L., Robinson, J. S. and Warren, G. P. 2004. Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. Agroforestry Systems, 63: 125–131.

Bahl, G. S. and Toor, G. S. 2002. Influence poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity-intensity relationships in different soils. Bioresource Technology, 85: 317-322.

Baran, S., Bielinska, J. and Wisniewski, J. 1998. Effect of utilization of unconventional multi-component fertilizers on chosen properties of light soil. Folia Universitatis agriculturae Stetinesis, Agricultura, 72: 11-20.

Barbieri, D. M., Marques Júnior, J., Pereira, G. T., Siqueira, D. S., and Panosso, A. R. 2013. Behavior of iron oxides in the clay fraction and adsorbed phosphorus under different sugarcane cultivation systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 37(6): 1557-1568.

Bhattacharyya, P., Nayak, A. K., Shahid, M., Tripathi, R., Mohanty, S., Kumar, A.,.and Swain, C. K. 2015. Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice. The Crop Journal, 3(5), 387-395.

Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S. and Mathieu, J. 2019. Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. Agronomy for Sustainable Development, 39:34.

Bolster, C. H., & Sistani, K. R. 2009. Sorption of phosphorus from swine, dairy, and poultry manures. Communications in soil science and plant analysis, 40(7-8): 1106-1123.

Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Journal of Agronomy, 54: 464-465.

Cooperband, L. R. and Good, L. W. 2002. Biogenic phosphate minerals in manure: Implications for phosphorus loss to surface waters. Environmental, Science, Technologe, 36: 5075-5082.

Dail, H. W., He, Z., Erich, S. M. and Honeycutt, W.C. 2009. Soil phosphorus dynamic in response to poultry manure amendment. Journal of Soil Science, 174: 195-201.

Elvira. C., Sampedro, L., E. enitez, B. and Nogales. R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper-mill and dairy industries with Eisenia andrei: a pilot-scale study. Bioresource Technology, 63, 205–211.

Gichangi, E. M. and Mnkeni, P. N. S. 2009. Effects of goat manure and lime addition on phosphate sorption by two soils from the Transkei Region, South Africa. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40(21-22): 3335-3347.

Guppy, C. N., Menzies, N. W., Moody, P. W. and Blamey, F. P. C. 2005. Competitive sorption reactions between phosphorus organic matter in soil: A review. Australian Journal of Soil Research, 43: 189-202.

Hassan, D. and Mishra, M. M. 1994. Influence of Cd on carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge amended soils. Environmental Pollution, 84: 285-290.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient management. Prentice Hall. 499 pp.

Holford, I. C. R., and Mattingly, G. E. G. 1976. Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. Plant and Soil, 44: 377-89.

Hua, Q., Li, J. and Zhou, J. 2008. Enhancement of phosphorus solubility by humic substances in Ferrosols. Pedosphere, 18(4): 533-538.

Huang, W. J., Zhou, G. Y. and Liu, J. X. 2012. Nitrogen and phosphorus status and their influence on aboveground production under increasing nitrogen deposition in three successional forests. Acta Oecological, 44: 20-27.

Iyamuremye, F., Dick, R. P. and Baham, J. 1996. Organic amendments and phosphorus dynamics: I. Phosphorus chemistry and sorption. Soil Science, 161: 426–435.

Jalali, M. 2007. Phosphorus status and sorption characteristics of some calcareous soils of Hamadan, western Iran. Environmental Geology, 5: 365-374.

Jalali, M. and Ranjbar, F. 2009. Rates of decomposition and phosphorus release from organic residues related to residue composition. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172: 353-359.

Jat, R. S. and Ahlawat, I. P. S. 2004. Effect of vermicompost, biofertilizer and phosphorus on growth, yield and nutrient uptake by gram (Cicer arietinum) and their residual effect on fodder maize (Zea mays). Indian Journal of Agricultural Sciences, 74(7):359-361.

Jones, D. L. and Darrah, P. R. 1994. Amino-acid influx at the soil-root interface of Zea mays L. and its implications in the rhizosphere. Plant and Soil ,163: 1-12.

Jones, J. B., Benjamin, W. and Mills, H. A. 1991. Plant Analysis Handbook. Methods of plant analysis and interpretation. Micro-Macro Publishing, Athens, GA.

Kibet, L. C., Allen, A. L., Kleinman, P. J. A., Feyereisen, G. W., Church, C., Saporito, L. S. and Way, T. R. 2011. Phosphorus runoff losses from subsurfaceapplied poultry litter on Coastal Plain soils. Journal of Environmental Quality, 40: 412–420.

Kuo, S. 1996. Phosphorus. p.869-919. In D. Sparks (ed.) Methods of soil analysis. Part 3. 3nd ed. American Society of Agronomy, Madison, WI. 1390 pp.

Lei, H., Zhu, C. and Liu, X. 2004. Phosphorus adsorption-desorption characteristics in acid soils under amendment. Acta Pedologica Sinica, 41: 636-640.

Li, G., Li, H., Leffelaar, P. A., Shen, J. and Zhang, F. 2014. Characterization of phosphorus in animal manures collected from three (dairy, swine, and broiler) farms in China. PLoS One, 9 (7): 102-698. e102698.

Liu, B., Wu, C., Pan, P., Fu, Y., He, Z., Wu, L. and Li, Q. 2019a. Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China. Ecotoxicology and environmental safety, 182, 109394.

Liu, J. and Zhang, F. 2000. Dynamics of soil P pool in a long-term fertilizing experiment of wheat-maize rotation II. Dynamics of soil Olsen-P and inorganic P. Chinese Journal of Applied Ecology. 11: 360-364.

Liu, M., Wang, C., Wang, F. and Xie, Y. 2019b. Vermicompost and humic fertilizer improve coastal saline soil by regulating soil aggregates and the bacterial community. Archives of Agronomy and Soil Science, 65(3), 281-293.

Mehadi, A. A., Taylor, R. W. and Shuford, J. W. 1990. Prediction of fretilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. Plant and Soil, 122: 267-270.

Murphy, J. and Riley, J. P. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters, Analytica chimica acta, 27:31-36.

Ngo, P. T., Rumpel, C., Ngo, Q. A., Alexis, M., Vargas, G. V., Mora Gil, M. D. L. L., Dang, D. K. and Jouquet, P. 2013. Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. Bioresource and Technolgy, 148: 401–407.

Oliveira, C. M. B., Gatiboni, L. C., Miquelluti, D. J., Smyth, T. J. and Almeida, J. A. 2014. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de Langmuir. Revista Brasileira de Cienciado solo, 38: 1805–1815.

Olsen, S. R., Cloe, V. Watnebe, F. S. and Pean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA, 939 USA.

Rowell, D. L. 1994. Soil science: methods and applications. Longman, London.

Sainju, U. M., Senwo, Z. N., Nyakatawa, E. Z., Tazisong, I. A. and Reddy, K. C. 2010. Poultry litter application increases nitrogen cycling compared with inorganic nitrogen fertilization. Agronomy Journal, 102:917–925.

Sharpley, A. N., Singh, U., Uehara, G. and Kimble, J. 1989. Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils. Journal of Soil Science Society of American Proceeding, 53: 153-158.

Sims, J.T. and Wolf, D.C. 1994. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. Advance in Agronomy, 52: 1-83.

Stevenson, F. J. and Cole, M. A. 1999. Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons.

Sui, Y. and Thompson, M. L. 2000. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended Mollisol. Journal of Soil Science Society of American, 64: 164-169.

Tani, M., Kunimoto, A., Kato, T. and Koike, M. 2010. Effect of organic ligands on phosphate adsorption and availability in Andisols of eastern Hokkaido, Japan. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.

Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part3, Chemical methods. SSSA, Madison, WI. 1390 pp.

Wang, W., Hang, X. S., Zhang, Y. M. and Yi, Y. L. 2011. Phosphorus adsorption of red clay and its mechanism. Journal of Ecology and Rural Environment, 27(2): 109–112.

Xu, Y., Ding, F., Gao, X., Wang, Y., Li, M. and Wang, J. 2019. Mineralization of plant residues and native soil carbon as affected by soil fertility and residue type. Journal of Soils and Sediments, 19(3), 1407-1415.

Yu, W., Ding, X., Xue, S., ،Li, S., Liao, X. and Wang, R. 2013. Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 6 (15): 1048-1054.

Zhang, A., He, L., Zhao, H. and Wu, Z. 2009. Effect of organic acids on inorganic phosphorus transformation in soil with different phosphorus sources. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 15(4): 474-478.

Zhou, M., Rhue, R. D. and Harries, W. G. 1997. Phosphorus sorption characteristics of Bh and Bt horizons from sandy coastal plain soils. Journal of Soil Science Society of American, 61: 1364–1369.

Zhu, H. H., Wu, J. S., Huang, D. Y., Zhu, Q. H., Liu, S. L., Su, Y. R., Wei, W. X., Syers, J. K. and Li, Y. 2010. Improving fertility and productivity of a highly weathered upl and soil in subtropical China by incorporating ricestraw. Plant and Soil, 331:427–437.

Zhuo, A., He, L. and Zhao, H. 2009. Effect of organic acids on inorganic phosphorus transformation in soil with different phosphorus sources. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 15: 474-478.

ISSN 2251-7480

Effect of vermicompost on Phosphorus adsorption in calcareous soils compared to other organic amendments

Fatemeh Bagvand[1], Mahboubeh Zarabi[2*], Shahryar Mahdavi[3], and Mahsa Asariha[4]

1) Former MS student of Soil Science, Depatment of Soil Science, Malayer University, Malayer, Iran.
2) Assistant Professor, Depatment of Soil Science, Malayer University, Malayer, Iran.
* Corresponding author: zarrabi7@gmail.com
3) Assistant Professor, Depatment of Soil Science, Malayer University, Malayer, Iran.
4) Former MS student of Soil Science, Depatment of Soil Science, Malayer University, Malayer, Iran.

Received: 03-07-2018 Accepted: 05-10-2019

Abstract

Organic amendments are used in soils, with a goal of improving soil properties such as fertility and nutrition. This study was conducted to evaluate and compare the effect of vermicompost, on the phosphorus (P) isotherm, phosphorous buffering capacity (PBC) and standard phosphorus requirements (SPR) with more commonly used sheep manure, poultry manure and grape waste in five vineyard calcareous soil of Malayer area in Hamadan province. Organic amendments were added to soils at the rate of 2 % and the samples were incubated for one month at 25±2 $^{\circ}$C and field capacity. Isotherm experiments in treated and control soils were carried out by concentrations of P ranging from 0 to 200 mg kg^{-1} of KH_2PO_4 in the presence of 0.01 M $CaCl_2$. Phosphorus sorption curves were well fitted to the Freundlich and Van-Hay equations. Incorporation of organic amendments increased soils available P, and decreased K_f constant, PBC and SPR in treated soils. The SPR average of control soils were 17.1 mg kg^{-1}, while in treated soils ranged from 9.3 to 14.5 mg kg^{-1}. The PBC average of treated soils, with vermicompost, sheep manure, poultry manure and grape waste decreased 41.0, 37.9, 29.9 and 21.6 % than PBC average of control soils, respectively. The results indicated that conventional soil amendments such as sheep manure and poultry manure in vineyard soil can be replaced with vermicompost, an organic fertilizer with low salinity and natural pH which increases P availability in soil. We suggest further studies on P leaching from vermicompost treated soils.

Keywords: Organic amendment; Phosphorus sorption; Phosphorous buffering capacity; Standard phosphorus requirement