

اثر ورمی کمپوست دامی و زیاله شهری بر تغییرات فسفر از منابع مختلف در یک خاک آهکی

محبوبه ضرابی¹ و مهسا عصاریه‌ها و زهرا کلاه‌چی

استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه ملایر؛ zarrabi7@gmail.com

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه ملایر؛ mahsa.asariha@gmail.com

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

دریافت: 95/4/9 و پذیرش: 96/3/3

چکیده

بررسی فراهمی فسفر در طول زمان و نقش مواد آلی در فراهمی آن در خاک، برای مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و آلی حاوی فسفر مهم می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر دو نوع ورمی کمپوست (ورمی کمپوست دامی (SMV) و ورمی کمپوست زیاله شهری (MWV)) بر فراهمی فسفر، جزءبندی و گونه‌های معدنی آن در یک خاک لوم شنی آهکی تیمار شده با مقادیر 0 و 20 کیلوگرم فسفر بر هکتار، از سه منبع کودشیمیایی (خاک فسفات (RP)، دی‌آمونیم فسفات (DAP) و سوپرفسفات تریپل (TSP)) در طول 90 روز انکوباسیون انجام شد. به منظور مطالعه سرعت کاهش فراهمی فسفر در طی زمان، داده‌های فسفر آزاد شده از خاک‌ها بر معادله توانی برازش داده شدند. شاخص اشباع و گونه‌های فسفر معدنی محلول در روز اول و نودم از انکوباسیون، به کمک برنامه گونه‌بندی ژئوشیمیایی MINTEQA3 به دست آمد. در روز نودم بین مقدار فسفر فراهم آزاد شده از خاک حاوی سوپرفسفات تریپل تیمار شده با ورمی کمپوست زیاله شهری و در خاک حاوی دی‌آمونیم فسفات تیمار شده با هر دو نوع ورمی کمپوست، تفاوت معناداری ($p \leq 0/05$) با مقدار فسفر فراهم آزاد شده در خاک شاهد مشاهده شد. در بقیه تیمارها تفاوت معناداری مشاهده نشد، که نشان دهنده پتانسیل بالای تثبیت فسفر در خاک مورد مطالعه می‌باشد. سرعت تغییر شکل فسفر (ضریب b در معادله توانی)، در دامنه 0/059 - میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز (خاک تیمار شده با ورمی کمپوست دامی) تا 0/140 - میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز (خاک دارای کود سوپرفسفات تریپل) به دست آمد. بالاترین مقدار پارامتر a معادله توانی، در خاک‌های حاوی دی‌آمونیم فسفات و سوپرفسفات تریپل تیمار شده با ورمی کمپوست زیاله شهری مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد، کاربرد هر دو نوع ورمی کمپوست همراه با هر سه نوع کود شیمیایی فسفره، در مقایسه با کاربرد کود‌های شیمیایی به تنهایی، باعث کندتر شدن سرعت کاهش فراهمی فسفر در خاک می‌شود. فراهمی فسفر در خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست زیاله شهری نسبت به خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست دامی بیشتر بود. نتایج جزءبندی نشان داد که جزء پیوندی با کربنات کلسیم و جزء باقیمانده به ترتیب در روز اول و نودم انکوباسیون، جزء‌های غالب فسفر می‌باشند و انحلال کانی آپاتیت رهاسازی فسفر را کنترل می‌کند. یون HPO_4^{2-} گونه معدنی غالب فسفر در خاک‌های مورد مطالعه در طول دوره انکوباسیون به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: فسفر فراهم، کود آلی، کود فسفاته، جزءبندی، گونه‌بندی

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

باشد، جذب و تثبیت فسفر بیشتر است. کاربرد صحیح کودهای فسفاته در خاک و ارائه روش‌های مناسب با توجه به هزینه‌ها و پایداری زیست‌بوم‌ها، برای بالا بردن بازده آن‌ها و کاهش مخاطرات محیط‌زیستی کاملاً ضروری است (پرامانیک و همکاران، 2009). استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی به‌عنوان یک راهکار در جهت افزایش بازده کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد محصول توصیه شده است (نور و باهل، 1997). در خاک‌های آهکی، ترکیبات آلی با کمپلکس کردن کلسیم محلول و در خاک‌های اسیدی با کمپلکس کردن آهن و آلومینیوم محلول و کاهش غلظت آن‌ها، از تشکیل ترکیبات نامحلول فسفر جلوگیری می‌نمایند و منجر به افزایش قابلیت جذب فسفر می‌گردند (خادم و همکاران، 1390). از جمله تحقیقات انجام شده در ارتباط با اثر استفاده از ترکیبات آلی در افزایش بازده کودهای فسفاته، می‌توان به مطالعات انجام شده در مورد اثر اضافه نمودن اسیدهای آلی در فراهمی فسفر از سنگ فسفات و تأثیر اندازه سنگ فسفات بر فراهمی فسفر اشاره نمود (ساگو و همکاران، 1998). ردی و همکاران (1999)، مخابلا و وارمن (2005)، گزارش نمودند که کاربرد کودهای دامی همراه کودهای فسفره در خاک، موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شود.

مطالعات نشان داده‌اند اسید فولویک و هومیک موجود در بقایای آلی موجب افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شوند (دلگادو و همکاران، 2002). حلاج‌نیا و همکاران (2009) در بررسی اثر افزودن کود گاوی همراه با کود فسفاته در خاک‌های آهکی گزارش نمودند که افزایش کود گاوی موجب افزایش جزء فراهمی فسفر در خاک‌ها می‌شود. فتحی گردلیدانی و همکاران (1394) گزارش نمودند، کاربرد کمپوست قارچ مصرفی در خاک آهکی سبب افزایش فراهمی فسفر و بهبود سایر خصوصیات از جمله pH شده است. شیرمردی و توفیقی (1394) در مطالعه اثر ماده آلی بر سینتیک تثبیت فسفر در چند خاک مختلف به این نتیجه رسیدند که، افزودن ماده آلی به خاک موجب افزایش بازیابی فسفر اضافه شده به خاک می‌شود و این اثر در زمان‌های طولانی‌تر پس از افزودن فسفر آشکارتر بود. ورمی‌کمپوست از جمله کودهای آلی مفیدی می‌باشد که امروزه استفاده از آن در اراضی کشاورزی توصیه می‌شود. استفاده از کودهای آلی چون ورمی‌کمپوست در بخش کشاورزی، نه تنها از لحاظ بهداشتی سالم و بدون عوارض است، بلکه از جنبه اقتصادی نیز مقرون به صرفه است (پاراتاساراتی، 2007).

فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز گیاهان می‌باشد. منبع عمده تأمین فسفر در اراضی زراعی، کودهای شیمیایی فسفاته می‌باشند (ملکوئی و همکاران، 1373). مسئله مهم در ارتباط با مصرف کودهای فسفاته در زراعت‌های معمول، بازده نسبتاً پایین این کودها می‌باشد. جذب محکم یون فسفات بر روی سطوح ذرات خاک و حلالیت بسیار کم کانی‌های فسفاته، از ویژگی‌های بارز فسفر در خاک می‌باشد. به دلیل تثبیت سریع یون فسفات در خاک، کشاورزان مقادیر زیادی کودهای فسفاته که گاهی 5 تا 10 برابر میزان توصیه شده است، به خاک اضافه می‌کنند. این مسئله باعث ایجاد آلودگی در طبیعت، افزایش هزینه و اتلاف ارز خواهد شد. قابلیت دسترسی فسفر در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی مثل: pH خاک، مقدار کربنات کلسیم خاک، مقدار و فعالیت اکسیدهای آهن و آلومینیوم، بافت خاک، نوع رس‌های سیلیکاته و زمان می‌باشد (عقیف و همکاران، 1993). واکنش یون فسفات با هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی و واکنش با کلسیم در خاک‌های قلیایی، باعث رسوب و کاهش فراهمی فسفر می‌شود (هاولین و همکاران، 1999). رایان و همکاران (1985) گزارش کردند، مقدار جذب فسفر در خاک به اکسیدهای آهن وابسته است و به مقدار کربنات کلسیم فعال در خاک یا کربنات کلسیم کل وابسته نیست.

توفیقی و شیرمردی (1394) نیز در بررسی اثر کربنات کلسیم و pH بر سینتیک تثبیت فسفر در خاک‌های مختلف گزارش نمودند، حضور کربنات کلسیم در خاک (تا 10 درصد) احتمالاً اثر شیمیایی چندان متفاوتی، از سایر اجزای خاک بر واکنش‌های سریع فسفر در زمان کوتاه‌تر (کمتر از پنج روز) ندارد و اثر آن عمدتاً بر واکنش‌های کند است. از طرفی مطالعات بر روی قابلیت دسترسی فسفر و شکل‌های متفاوت آن در خاک توسط عقیف و همکاران (1993)، نشان داد که بین قابلیت دسترسی فسفر با محتوای کربنات کلسیم در خاک‌ها همبستگی منفی وجود دارد. با افزایش درصد رس در خاک‌ها، پتانسیل تثبیت فسفر نیز افزایش می‌یابد. از طرفی در خاک‌های شنی (گرتال و همکاران، 1991) و سایر خاک‌هایی که در آن‌ها به مقدار زیاد کودهای فسفاته استفاده می‌شود، احتمال افزایش غلظت فسفر محلول و آبشویی یا خروج آن از طریق رواناب وجود دارد (هکراس و همکاران، 1995). هاولین و همکاران (1999) گزارش نمودند، در خاک‌هایی با بافت یکسان، هر چه مقدار اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کانی کائولینایت زیاد

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق از یک خاک لوم شنی آهکی، نمونه‌برداری شده از باغ‌های انگور سری ازندریان در شهرستان ملایر استان همدان (عمق 30-0 سانتیمتری)، استفاده شد. در این تحقیق از دو نوع ورمی‌کمپوست شامل ورمی‌کمپوست دامی (SMV) و ورمی‌کمپوست زباله شهری (MWV) و سه نوع کود فسفات شامل سنگ فسفات (RP) دارای 22% پنتا اکسید فسفر (P_2O_5) (9/68 درصد فسفر) و سوپرفسفات تریپل (TSP) و دی آمونیوم فسفات (DAP) که هر دو دارای 46% P_2O_5 (20/24 درصد فسفر) می‌باشند، استفاده شد. ترکیبات آلی از الک 0/5 میلیمتری و خاک مورد مطالعه از الک 2 میلیمتری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت به روش هیدرومتر (بایوکاس، 1962)، درصد کربن آلی به روش والکی - بلاک (راول، 1994)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (روهادس، 1968)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (الیسن و مودی، 1962)، pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره 1:5 آب به خاک به ترتیب با دستگاه pH متر و هدایت سنج الکتریکی (راول، 1994) اندازه‌گیری شدند. آهن و آلومینیوم اگزالات در خاک، به روش مهرا و جکسون (1960) عصاره‌گیری و به ترتیب با استفاده از دستگاه جذب اتمی و اسپکتروفتومتر در طول موج 535 نانومتر اندازه‌گیری شد. فسفر فراهم در خاک به کمک روش اولسن و سامر (1982) با استفاده از عصاره‌گیر بیکربنات سدیم عصاره‌گیری شد.

غلظت فسفر محلول در نمونه‌ها با استفاده از روش مورفی و ریلی (1962) و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 820 نانومتر تعیین شد. pH و قابلیت هدایت الکتریکی کودهای آلی و شیمیایی در عصاره 1:10 آب به نمونه به ترتیب با دستگاه pH متر و هدایت سنج (راول، 1994) اندازه‌گیری شد. فسفر کل در خاک و کودها به روش هضم در اسید نیتریک چهار نرمال اندازه‌گیری شد (اولسن و سامر، 1982). جهت مطالعات انکوباسیون، خاک فسفات با دو سطح 0 و 205 کیلوگرم در هکتار (به ترتیب معادل 0 و 4/8 میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم) و سوپرفسفات تریپل و دی‌آمونیم فسفات با دو سطح 0 و 100 کیلوگرم در هکتار (به ترتیب معادل 0 و 4/8 میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم) در سه تکرار به نمونه خاک‌های حاوی نیم درصد از ورمی‌کمپوست‌های دامی و زباله شهری و بدون ورمی‌کمپوست‌ها اضافه شدند. بر این اساس تیمارهای مورد مطالعه شامل: خاک شاهد (بدون افزودن هیچ‌گونه کودی)، خاک‌های تیمار شده با

پرامانیک و همکاران (2009) در مطالعات خود گزارش نمودند، کاربرد ورمی‌کمپوست همراه با سنگ فسفات باعث افزایش فراهمی فسفر در خاک می‌شود. مطالعات انجام شده در ارتباط با اثر انواع ورمی‌کمپوست‌ها در فراهمی و رهاسازی فسفر از منابع فسفات کم می‌باشند (پرامانیک و همکاران، 2009).

استفاده از ترکیبات آلی همراه کودهای فسفات، بر توزیع شکل‌های ژئوشیمیایی فسفر و گونه‌بندی آن نیز مؤثر می‌باشد. توزیع فسفر در خاک‌ها به صورت شکل-های ژئوشیمیایی، محلول و تبادل، پیوند با ماده آلی، پیوند با کلسیم و پیوند با آهن و آلومینیوم می‌باشد (هدلی و همکاران، 1982 a و b). میزان حضور فسفر در هر یک از شکل‌های ژئوشیمیایی، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، آب و هوا و روش‌های مدیریت، وابسته است (متولی و مایلز، 2002). کریرا و همکاران (2006) و هارلووانگ (2006) گزارش نمودند که جزء شیمیایی غالب فسفر در خاک‌های مناطق خشک با کربنات کلسیم فراوان، جزء پیوند با کربنات کلسیم است. وجود گونه‌های متفاوت فسفر در محلول خاک، به شرایط محیطی خاک و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌ها و تمایل آن‌ها برای واکنش، وابسته است. اطلاع از شکل‌های شیمیایی فسفر و گونه-های آن در خاک، جهت درک واکنش‌های فسفر در خاک، قابلیت دسترسی، دینامیک و جابه‌جایی آن به وسیله فرسایش، رواناب و آبشویی برای مدیریت فسفر ضروری است (حلاج نیا و همکاران، 1385). با توجه به اهمیت فراهمی و تثبیت فسفر در خاک‌ها، هدف از این تحقیق، بررسی اثر دو نوع ترکیب آلی شامل ورمی‌کمپوست دامی (Sheep Manure Vermicompost=SMV) و ورمی-کمپوست زباله شهری (Municipal Waste =MWV) در فراهمی فسفر از سه نوع منبع فسفات شیمیایی شامل سوپرفسفات تریپل (Triple Super Phosphate =TSP)، سنگ‌فسفات (Rock Phosphate =RP) و دی‌آمونیم فسفات (Di Ammonium Phosphate =DAP)، در یک خاک لوم شنی آهکی در طی 90 روز انکوباسیون و به‌دست آوردن سرعت کاهش فراهمی فسفر، و همچنین مقایسه غلظت فسفر قابل استفاده در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده در روز نودم می‌باشد. اجزا و گونه‌های معدنی فسفر محلول و کانی‌های کنترل‌کننده حلالیت فسفر نیز در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده در روز اول و نودم بررسی خواهد شد.

اگرالات در خاک مورد مطالعه به ترتیب، 1203 و 24 میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. نتایج جدول 2 نشان می‌دهد ترکیبات آلی مورد استفاده دارای خاصیت قلیایی ضعیف می‌باشند. فسفر کل در ورمی کمپوست زباله شهری بیشتر از ورمی کمپوست دامی می‌باشد. نسبت کربن به فسفر در ورمی کمپوست دامی 5/8 برابر نسبت کربن به فسفر در ورمی کمپوست زباله شهری می‌باشد. در بین کودهای شیمیایی استفاده شده دی‌آمونیم فسفات دارای کمترین پی‌اچ و قابلیت هدایت الکتریکی می‌باشد.

روند تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی در طول دوره انکوباسیون

در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده، pH در پایان دوره انکوباسیون (90 روز)، نسبت به روز اول افزایش یافت. با این وجود بین میانگین pH در خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست‌ها و منابع فسفات با میانگین pH در خاک شاهد، در روز اول و همچنین روز نودم، تفاوت معناداری مشاهده نشد. شکل 1 تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی را به صورت نمونه در خاک شاهد و خاک‌های حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که اضافه نمودن ترکیبات آلی و منابع فسفات به خاک، تأثیر چندانی در pH خاک نداشته است. در تحقیق انجام شده توسط پرامانیک و همکاران (2009) بر روی فراهمی فسفر از سنگ فسفات در حضور چند نوع ورمی کمپوست مختلف نیز، میانگین pH خاک‌های تیمار شده با انواع مختلف ورمی-کمپوست‌ها در روز اول و نودم با میانگین pH خاک شاهد، تفاوت معناداری نداشت. تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در مدت زمان انکوباسیون در همه خاک‌ها، جزئی بود (شکل 1)، و قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های تیمار شده، در روز اول و نودم دوره انکوباسیون تفاوت معناداری با قابلیت هدایت الکتریکی در خاک شاهد نداشت. تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در مدت زمان انکوباسیون در همه خاک‌ها در دامنه 0/15 تا 0/30 دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد.

منابع فسفات به تنهایی، خاک‌های حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری، خاک‌های حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی کمپوست دامی، خاک‌های تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری و ورمی کمپوست دامی به تنهایی، می‌باشند. برای محاسبه وزن یک هکتار خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک 1/4 گرم بر سانتی‌متر مکعب و عمق خاک 30 سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نمونه‌های خاک در داخل انکوباتور در دمای 25 ± 3 درجه سانتی‌گراد به مدت 90 روز نگهداری شدند (جلالی، 2009). در طول دوره انکوباسیون رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب مقطر، در حدود 60 درصد رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شد. در روزهای اول، 7، 15، 30، 45، 60، 75 و 90 از نمونه‌های خاک، نمونه‌برداری شد و مقادیر فسفر فراهم نمونه‌ها به روش ذکر شده اندازه‌گیری شد. جزء بندی فسفر در خاک‌ها به روش آن و همکاران (2000) در زمان‌های قبل از شروع آزمایش و بعد از 90 روز انکوباسیون انجام شد. غلظت کاتیون‌های محلول (کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) و آنیون‌های محلول (فسفات، سولفات، نیترات، بی‌کربنات و کربنات) و pH (راول 1994) در زمان‌های قبل از شروع آزمایش و بعد از 90 روز انکوباسیون، در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و سپس گونه‌های معدنی فسفر و کانی کنترل کننده حلالیت، به کمک نرم افزار MInteq به‌دست آمد. سرعت کاهش فراهمی فسفر در مدت زمان 90 روز، به صورت تابعی از زمان با استفاده از معادله توانی زیر محاسبه گردید (جلالی، 2009):

(1)

$$q_t = at^b$$

در این معادله q_t غلظت فسفر عصاره‌گیری شده بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در زمان t ، پارامتر تعیین کننده مقدار فسفر آزاد شده در زمان صفر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم، t زمان بر حسب روز و b ضریبی است که سرعت تغییر شکل فسفر در طی زمان را بر حسب میلی-گرم بر کیلوگرم در روز نشان می‌دهد و مقدار آن منفی می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش با نرم افزار SPSS تجزیه نمودارها به کمک نرم افزار اکسل ترسیم شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول 1، و خصوصیات شیمیایی ترکیبات آلی و کودهای فسفات استفاده شده در جدول 2 آورده شده است. با توجه به جدول 1 خاک مورد مطالعه مشکل قلیائیت و شوری وجود ندارد، آهکی بوده و دارای بافت سبک و ماده آلی کم، می‌باشد. غلظت آهن و آلومینیوم

جدول 1- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه

منطقه نمونه برداری	طبقه بندی+ USDA (2014)	شن	سیلت	رس	کلاس بافت	pH *	EC*	فسفر کل & فسفر اولسن	کربن آلی	کربنات کلسیم معادل	CEC	آهن اکزالات	آلومینیوم اکزالات
		%					dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	%	cmolc kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		
ازندریان	Sandy, Mixed Subactives Mesic, Typic Calcixerepts	70/7	21/7	7/6	لومی شنی	6/8	0/21	0/05 0/12	9/2	4/7	12/6	1203	24

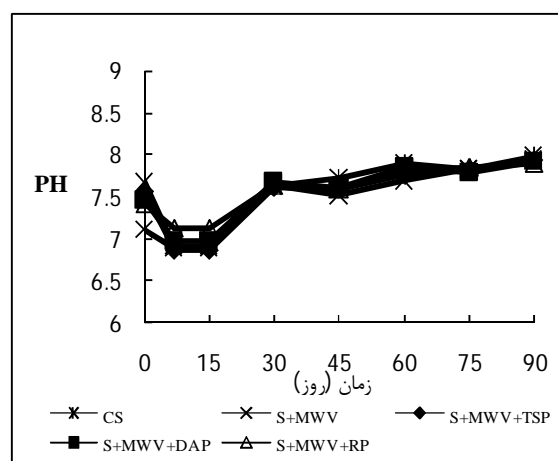
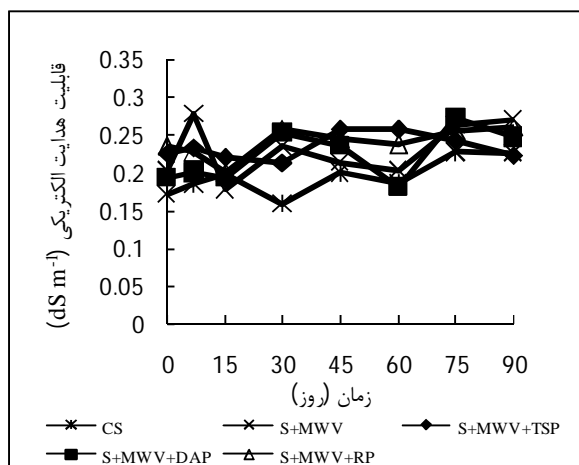
+ : خسروی (1394)، * : در عصاره 1:5 آب مقطر به خاک، & : در عصاره 1:20 اسید نیتریک 4 نرمال به خاک

جدول 2- خصوصیات شیمیایی کودهای آلی و شیمیایی مورد مطالعه

کود	pH*	EC*	فسفر کل & نیتروژن کل	کربن آلی	C:N	C:P
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹			
آلی	7/8	0/78	42/4 6/9	111/1	16/1	2/6
ورمی کمپوست زباله شهری (MWV)						
ورمی کمپوست دامی (SMV)	7/7	1/2	6/6 10/1	99/5	9/9	15/1
شیمیایی	6/9	0/33	208	-	-	-
سوپر فسفات تریپل (TSP)						
دی آمونیوم فسفات (DAP)	4/7	0/13	205/2	-	-	-
سنگ فسفات (RP)	7/3	0/28	98/6	-	-	-

* : در عصاره 1:10 آب مقطر به نمونه، & : در عصاره 1:20 اسید نیتریک 4 نرمال به نمونه، + : اندازه گیری نشد

MWV: Municipal Waste Vermicompost, SMV: Sheep Manure Vermicompost, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphate,



CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, S: Soil

شکل 1- تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی در خاک شاهد و خاکهای حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری

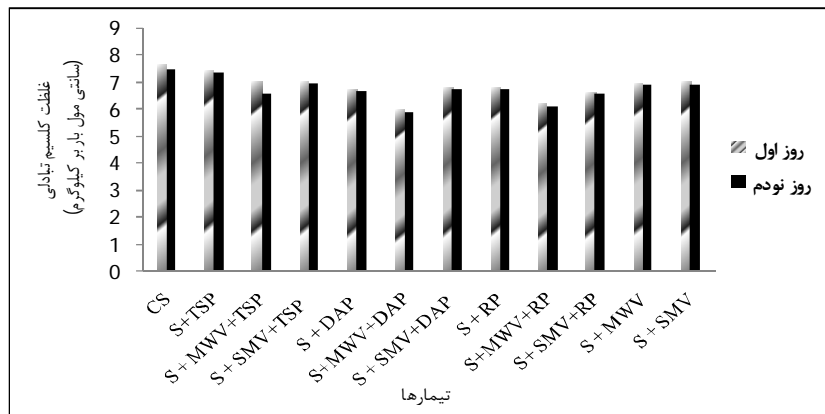
تغییرات غلظت فسفر فراهم با زمان در خاکهای تیمار شده

شکل 3 نشان دهنده مقدار فسفر آزاد شده در طی زمان انکوباسیون در خاک شاهد و خاکهای تیمار شده می باشد. با توجه به شکلها، کاهش غلظت فسفر فراهم در خاک شاهد و تمام تیمارها در زمانهای اولیه (تا روز هفتم) سریع و سپس، سرعت کاهش به تدریج کم شده است. مشابه این نتایج را پژوهشگران مختلف گزارش کرده اند (رایان و همکاران، 1985؛ اوستان و توفیقی، 2003؛ توفیقی و شیرمردی، 1394). دلیل کاهش سریع غلظت فسفر فراهم در زمانهای اولیه، جذب سطحی فسفر در سطح کانیها می باشد (اسپارکس، 1995)

اگر انتقال فسفر به سطح ذرات خاک به سرعت صورت گیرد، از آنجایی که سرعت جذب سطحی یا تبادل لیگاندی فسفر زیاد است، جذب در سطح احتمالاً عامل کاهش سریع فسفر پس از تماس با خاک است. از طرفی، امکان رسوب سریع بخشی از فسفر محلول به دلیل ترکیب با کاتیونهای Ca یا Fe موجود در محلول در زمانهای اولیه نیز وجود دارد (توفیقی و شیرمردی، 1394). در مرحله بعد دلیل کاهش کند غلظت فسفر قابل استفاده با زمان، کریستالی شدن ترکیبات بی شکل و یا تشکیل ترکیبات بلوری مجزا با حلالیت کم می تواند باشد (ابراهیم و پارت، 1982).

تغییرات غلظت کلسیم تبدلی در ابتدا و انتهای زمان انکوباسیون در خاکهای تیمار شده

شکل 2 غلظت کلسیم تبدلی در روز اول و نودم از انکوباسیون را در خاکها نشان می دهد. مقدار کلسیم تبدلی در روز اول و نودم از انکوباسیون در خاک شاهد، به ترتیب 7/5 و 7/7 سانتی مول بر کیلوگرم به دست آمد. افزودن هر سه نوع کود شیمیایی و همچنین ترکیبات آلی به خاکها موجب کاهش کلسیم تبدلی در روز اول و نودم نسبت به خاک شاهد شد. در بین کودهای شیمیایی، در خاک تیمار شده با دی آمونیوم فسفات در روز اول و نودم کمترین مقدار کلسیم تبدلی مشاهده شد. شاید دلیل این امر حلالیت بیشتر کود دی- آمونیوم فسفات و افزایش غلظت فسفر در محلول، و رسوب آن با یون کلسیم محلول باشد. از آنجایی که بین کلسیم تبدلی و محلول تعادل وجود دارد، حلالیت بیشتر ترکیبات فسفره در خاک، می تواند دلیل کاهش کلسیم تبدلی، بدلیل واکنش کلسیم محلول با فسفر محلول باشد. غلظت کلسیم در محلول خاک تا حد زیادی تحت تأثیر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و درجه اشباع سایت های تبدلی از کلسیم قرار دارد (باربر، 1984). درصد اشباع کمپلکس های تبادل کاتیونی از کلسیم، به عنوان یک پارامتر مهم مؤثر بر غلظت یون فسفات در محلول شناخته شده است (مک کی و سیرز، 1986).



CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, SMV: Sheep Manure Vermicompost, S: Soil

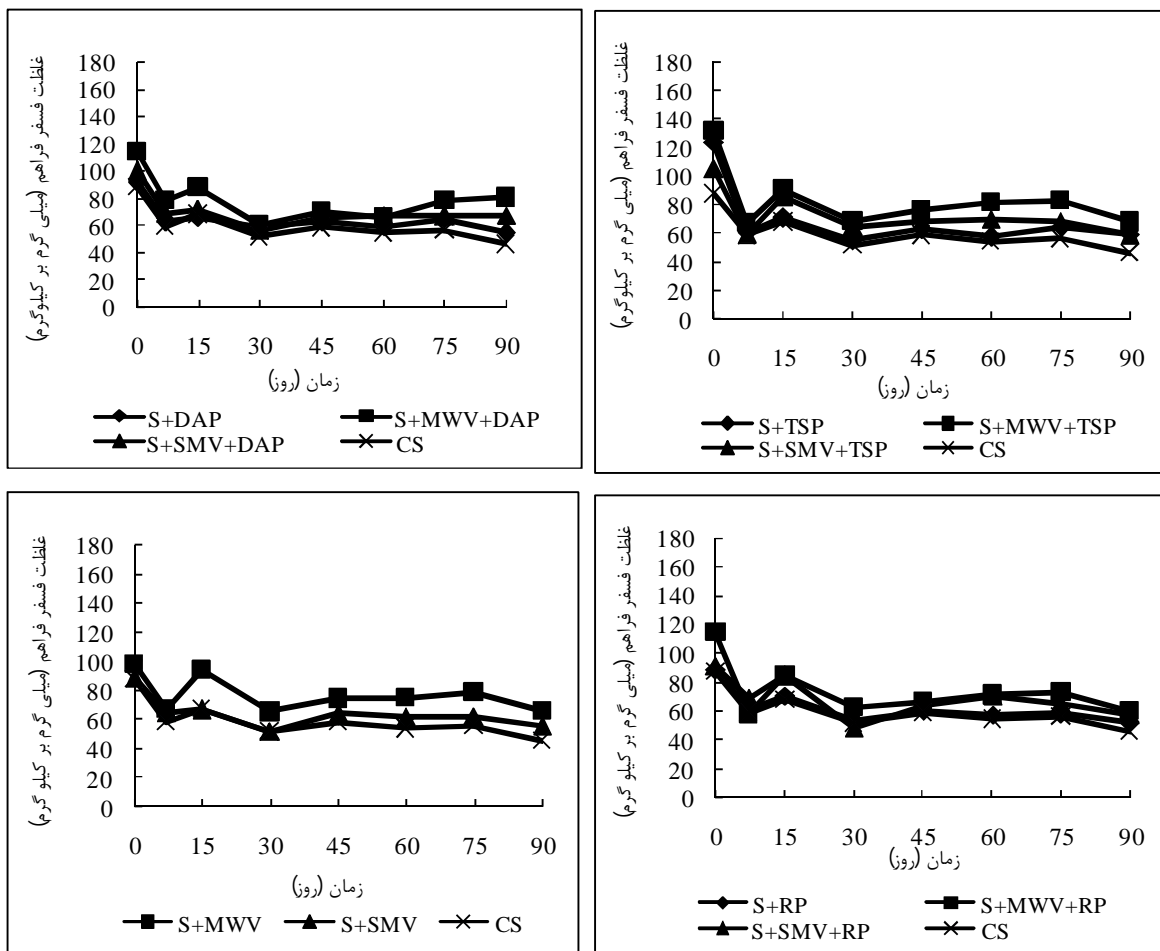
شکل 2- تغییرات غلظت کلسیم تبادل در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده در روز اول و نودم از انکوباسیون

فراهمی فسفر دارد و فسفر اولسن را بیش از زمانی که کود شیمیایی به تنهایی به کار می‌رود، افزایش می‌دهد. شیر-مردی و توفیقی (1394) در مطالعه اثر ماده آلی بر سینتیک تثبیت فسفر در چند خاک مختلف به این نتیجه رسیدند که، افزودن ماده آلی به خاک موجب افزایش بازایی فسفر اضافه شده به خاک می‌شود. این اثر در زمان‌های طولانی‌تر پس از افزودن فسفر آشکارتر بود. کودهای آلی انحلال فسفر را به وسیله تولید اسیدهای آلی یا مواد هومیکی که با فسفر برای مکان‌های جذب رقابت می‌کنند، افزایش می‌دهند و نهایتاً محتوای فسفر در محلول خاک را افزایش می‌دهند (آلدر و سیکورا، 2003). اسیدهای آلی به یون هیدروژن و آنیون آلی تبدیل می‌شوند. آنیون آلی با آنیون فسفات جهت جذب شدن در مکان‌های جذبی رقابت می‌کند. یون هیدروژن تولید شده نیز، باعث کاهش pH و حلالیت نمک‌های فسفات می‌شود.

در جدول 3 نتایج مقایسه میانگین غلظت فسفر فراهم در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده در روز نودم از انکوباسیون، توسط آزمون دانکن در سطح 5 درصد آورده شده است. بین مقدار فسفر فراهم آزاد شده در روز نودم در خاک شاهد، با خاک‌های حاوی دی-آمونیم فسفات و سوپر فسفات تریپل تیمار شده با ورمی‌کمپوست زباله شهری و نیز بین خاک شاهد با خاک دارای دی‌آمونیم فسفات تیمار شده با ورمی-کمپوست دامی، از لحاظ آماری تفاوت معنادار ($p \leq 0/05$) مشاهده شد.

از طرفی نفوذ تدریجی فسفر جذب سطحی شده به درون سطوح جامد متخلخل، باعث ایجاد مکان-های سطحی خالی جدید برای جذب فسفر می‌شود (چن و همکاران، 1973). در تمامی خاک‌های تیمار شده غلظت فسفر فراهم در طول دوره انکوباسیون بیشتر از خاک شاهد می‌باشد.

در بین همه خاک‌های تیمار شده، بیشترین غلظت فسفر محلول در روز نودم در خاک حاوی دی-آمونیم فسفات تیمار شده با ورمی‌کمپوست زباله شهری مشاهده شد. همچنین در بین ترکیبات آلی به کار برده شده ورمی‌کمپوست زباله شهری، باعث افزایش بیشتر غلظت فسفر محلول نسبت به ورمی‌کمپوست دامی شد. گانگون و سیمارد (1999) گزارش کردند، در نمونه خاک-های دارای فسفر و مواد هومیکی بالا و مقدار C:P پایین، رهاسازی فسفر بیشتر خواهد بود. در بین دو منبع آلی به کار برده شده، ورمی‌کمپوست زباله شهری به دلیل داشتن محتوای فسفر بالاتر و نسبت C:P کمتر، رهاسازی فسفر را بیشتر افزایش داده است. در طول ورمی‌کمپوست شدن، تجزیه میکروبی مواد آلی، اسید آلی یا لیگاندهایی مثل مالونیک، فوماریک، سوکسینیک اسید (اپستین، 1997) و مولکول‌های هومیک قابل حل، تولید می‌گردد (آتیه و همکاران، 2002). الروحیلی و همکاران (2013) نیز گزارش کردند که کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی منجر به افزایش قابلیت دسترسی فسفر می‌گردد. تحقیقات تور و باهل (1997) نشان داد که افزودن کود مرغی و کود شیمیایی فسفره همراه با هم، تأثیر قابل توجهی در افزایش



CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphat, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, SMV: Sheep Manure Vermicopmost, S: Soil

شکل 3- تغییرات غلظت فسفر فراهم با زمان در خاک شاهد و خاکهای تیمار شده

و فسفر فراهم خاکها در روز نودم، همبستگی منفی و معنا دار ($r = -0/60^*$)، در سطح 5 درصد به دست آمد.

سرعت کاهش فراهمی فسفر در خاکها

پارامترهای حاصل از برازش مقدار فسفر فراهم آزاد شده از خاکها در طول زمان، بر معادله توانی در جدول 4 آورده شده است. بیشترین مقدار میانگین پارامتر a ، که نشان دهنده مقدار فسفر آزاد شده در شروع آزمایش می باشد، در خاکهای حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی کمپوست زباله شهری (104/7 میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار در خاکهای حاوی ترکیبات آلی به تنهایی (87/9 میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد.

بین مقدار فسفر فراهم آزاد شده در روز نودم در خاک شاهد با سایر تیمارها، تفاوت معناداری مشاهده نشد. نتایج این پژوهش نشان می دهد اگرچه مقدار فسفر فراهم اولیه در خاک مورد بررسی بالا می باشد، با این وجود ظرفیت تثبیت فسفر در خاک بالا بوده و مصرف کودهای شیمیایی (سوپرفسفات تریپل، دی امونیوم فسفات و سنگ فسفات) به تنهایی و یا همراه با کودهای آلی (ورمی کمپوست زباله شهری و دامی) پس از 90 روز موجب تجمع فسفر به شکل ترکیبات کم محلول یا نامحلول در این خاک شده است. بین مقدار کلسیم تبدلی

جدول 3- مقایسه میانگین غلظت فسفر فراهم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده در روز نودم از انکوباسیون (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، تفاوت معناداری در سطح 5 درصد به روش دانکن ندارند. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف استاندارد (SD) می‌باشند).

تیمارها	میانگین غلظت فسفر فراهم	تیمارها	میانگین غلظت فسفر فراهم
CS	46/09(0/87) ^d	S+SMV+DAP	62/17(5/59) ^{ab}
S+ TSP	52/78(7/82) ^{bcd}	S+RP	47/03(4/42) ^{cd}
S+MWV+TSP	58/07(8/95) ^{abc}	S+MWV+RP	52/44(6/51) ^{bcd}
S+SMV+TSP	50/39(7/38) ^{bcd}	S+SMV+RP	56/14(1/47) ^{abcd}
S+DAP	48/60(5/24) ^{bcd}	S+MWV	55/33(9/66) ^{ab}
S+MWV+DAP	69/02(9/74) ^a	S+SMV	54/02(2/36) ^{abcd}

CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, SMV: Sheep Manure Vermicopmost, S: Soil

خاک‌ها، شود. البته این کاهش بسیار کم بوده و در حدی نیست که pH خاک را اسیدی نماید. ضریب b در خاک-های حاوی ترکیبات آلی کمتر از خاک‌های حاوی منابع فسفات به تنهایی، بود. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات آلی از سرعت واکنش فسفر معدنی با اجزاء خاک (رسوب، تثبیت و جذب) در طول زمان می‌کاهند. جلالی (2009)، در مطالعه بر روی فراهمی فسفر تحت تأثیر مواد آلی در 5 خاک آهکی، ضریب a را برای خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی مختلف به طور متوسط بین 49/73 - 102/84 میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و کود دامی به ترتیب، 137/40 و 146/39 میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد. همچنین وی، ضریب b را در خاک‌های تیمار شده با انواع ترکیبات آلی، بین 0/0149 تا 0/1828 میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز گزارش نمود.

جزءبندی شیمیایی فسفر در روز اول و نودم از انکوباسیون

جدول 5 جزء بندی شیمیایی فسفر در روز اول و نودم از انکوباسیون را در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده نشان می‌دهد. در خاک شاهد در روز نودم از انکوباسیون نسبت به روز اول، درصد فسفر محلول و تبدالی کاهش و جزء باقیمانده افزایش یافت. در خاک شاهد، جزء غالب فسفر در روز اول و نودم، جزء باقیمانده به‌دست آمد. در تمام خاک‌های تیمار شده با کودهای شیمیایی و آلی در روز نودم از انکوباسیون، درصد فسفر محلول و تبدالی و همچنین فسفر پیوندی با کلسیم کاهش یافت، اما درصد اجزاء باقیمانده و پیوندی با آهن و آلومینیوم افزایش یافت.

تلفیق ترکیبات آلی با منابع فسفات باعث افزایش فراهمی فسفر در روز اول گردید، و در این میان ورمی-کمپوست زباله شهری بیشتر از ورمی‌کمپوست دامی باعث افزایش فسفر فراهم در خاک‌ها شده است. ثابت b معادله توانی شاخص تعیین کننده سرعت تغییر شکل فسفر و کاهش فراهمی آن در خاک می‌باشد (جلالی، 2009). هر چه ضریب b (بدون در نظر گرفتن علامت منفی) بزرگتر باشد بدین معنا است که، فسفر در خاک تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی مختلف از جمله جذب، رسوب قرار گرفته و فراهمی آن کمتر می‌شود. ضریب b در خاک شاهد از همه خاک‌های تیمار شده به جز خاک حاوی ورمی‌کمپوست دامی به تنهایی، کمتر شده و برابر 0/082 میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز به‌دست آمد. میانگین ضریب b در خاک‌های حاوی منابع فسفات 0/106 میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و در خاک‌های حاوی منابع فسفات تیمار شده با ورمی‌کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست دامی به ترتیب 0/098 و 0/087 میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز و در خاک تیمار شده با ترکیبات آلی 0/085 میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهند، افزودن ترکیبات آلی موجب کاهش سرعت تغییر شکل فسفر و خارج شدن آن از دسترس گیاه در طول 90 روز انکوباسیون شده است. در بین کودهای شیمیایی فسفات، در خاک حاوی دی‌آمونیم فسفات کمترین ثابت b، و در بین خاک‌های دارای کود شیمیایی تیمار شده با ترکیبات آلی، در خاک دارای دی‌آمونیم فسفات تیمار شده با ورمی‌کمپوست زباله شهری و ورمی‌کمپوست دامی، کمترین ثابت b مشاهده شد. تبدیل یون آمونیوم موجود در ساختار کود دی‌آمونیم فسفات به یون نیترات، با کاهش pH می‌تواند موجب کاهش تثبیت فسفر در

جدول 4- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های فسفر فراهم آزاد شده از خاک‌ها در مدت زمان 90 روز، بر مدل توانی ($q_t = at^b$)

همراه با ورمی کمپوست دامی (SMV)			همراه با ورمی کمپوست زباله شهری (MWV)			بدون اضافه نمودن ورمی کمپوست			تیمار
r	b	a	r	b	a	r	b	a	
mg kg ⁻¹ day ⁻¹			mg kg ⁻¹ day ⁻¹			mg kg ⁻¹ day ⁻¹			
-	-	-	-	-	-	0/80**	-0/082	82/8	CS
0/71*	-0/092	94/8	0/70*	-0/102	111/95	0/82**	-0/140	103/5	S+TSP
0/78*	-0/082	89/7	0/72*	-0/092	104/20	0/86**	-0/089	84/5	S+DAP
0/66*	-0/088	88/7	0/67*	-0/100	98/20	0/88**	-0/100	84/1	S+RP
-	-	-	0/87*	-0/112	83/7	-	-	-	S
0/57*	-0/059	92	-	-	-	-	-	-	S

*، ** : به ترتیب معنادار در سطح 5 درصد و یک درصد

CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, SMV: Sheep Manure Vermicopost, S: Soil

ترتیب جزء پیوندی با کربنات کلسیم و باقیمانده به دست آمد. جلالی و رنجبر (2010)، یوو و همکاران (2006) و دلگادو و همکاران (2002) در مطالعات خود، جزء پیوندی با کربنات کلسیم را در روز آخر انکوباسیون، جزء غالب گزارش نموده‌اند.

تفاوت معناداری بین درصد گونه‌ها در روز اول و نودم مشاهده نشد. حلاج نیا و همکاران (2009) در مطالعه بر روی جزء بندی فسفر در خاک‌های تیمار شده با منابع فسفات و کود دامی، کاهش جزء محلول و تبادل و افزایش جزء پیوندی با اکسیدهای آهن و آلومینیوم را در روز نودم، نسبت به روز اول گزارش نمودند. جزء غالب فسفر در خاک‌های تیمار شده در روز اول و نودم، به-

جدول 5- جزء بندی شیمیایی فسفر در روز اول و نودم از انکوباسیون در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده

تیمار	محلول و تبدالی		پیوندی با آهن و آلومینیوم %		پیوندی با کلسیم		باقیمانده
	روز اول	روز نودم	روز اول	روز نودم	روز اول	روز نودم	
CS	1/1	0/7	5/6	5/6	43/7	43/5	49/6
S+ TSP	1/0	0/9	10/4	13/7	50/7	42/0	37/8
S+MWV+TSP	1/6	1/1	10/1	14/1	46/4	42/4	41/9
S+SMV+TSP	1/3	0/6	12/2	12/3	49/8	42/3	36/7
S+DAP	1/5	1/0	6/1	11/8	51/2	38/8	41/2
S+MWV+DAP	1/3	1/0	9/3	9/5	48/0	44/2	41/4
S+SMV+DAP	1/4	0/8	10/7	12/7	46/6	41/7	41/3
S+RP	1/2	0/6	8/5	11/8	47/1	40/3	43/2
S+MWV+RP	1/5	0/9	8/0	18/2	50/3	33/7	40/2
S+SMV+RP	1/3	0/9	8/9	9/6	47/1	41/1	42/7
S+MWV	1/3	1/3	8/8	10/1	52/1	37/3	37/8
S+SMV	1/1	0/7	14/2	15/8	47/2	40/8	37/5
میانگین	1/3	0/9	9/4	12/1	48/4	40/7	40/9

CS: Control Soil, TSP: Triple Super Phosphate, DAP: Di Ammonium Phosphate, RP: Rock Phosphat, MWV: Municipal Waste Vermicopmost, SMV: Sheep Manure Vermicopost, S: Soil

ترکیبات آلی، می‌تواند به علت افزایش جزء آلی در روز آخر باشد. همچنین افزایش جزء پیوندی با اکسیدهای

دلیل افزایش جزء باقیمانده در روز نودم نسبت به روز اول انکوباسیون در خاک‌های تیمار شده با

مشاهده شد (جدول 6). نوع و درصد فراوانی گونه‌های فسفر در یک خاک، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، منابع فسفات و کودهای آلی، pH خاک، نوع و مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در خاک بستگی دارد. از آنجایی که pH خاک‌های مورد مطالعه در دامنه‌ی 8-7/1 نوسان دارد، گونه HPO_4^{2-} گونه معدنی غالب فسفر در محلول می‌باشد. کلاه‌چی (1390) نیز در بررسی اثر اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر حرکت فسفر در خاک-های آهکی، گونه‌های غالب فسفر در خاک‌های آهکی را، HPO_4^{2-} و H_2PO_4^- گزارش کرد. با استفاده از نتایج حاصل از گونه‌بندی با نرم افزار Minteq، کانی کنترل‌کننده حلالیت در روز اول و آخر انکوباسیون در خاک شاهد و خاک‌های تیمار شده، کانی هیدروکسی آپاتیت (HAP) به-دست آمد کلاه‌چی (1390). نیز در کنار کانی‌های متعدد کنترل‌کننده حلالیت فسفر، هیدروکسی آپاتیت را کانی غالب کنترل‌کننده حلالیت فسفر در خاک‌های آهکی معرفی کرد. هیدروکسی آپاتیت، $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ در غالب خاک‌ها به ویژه در خاک‌های آهکی وجود دارد و در آب هیدرولیز نمی‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد، افزودن ورمی-کمپوست زباله شهری و ورمی-کمپوست دامی باعث کاهش سرعت تغییر شکل فسفر و خارج شدن آن از دسترس گیاه، در خاک لوم شنی آهکی حاوی کودهای شیمیایی در طول 90 روز انکوباسیون شد. ورمی-کمپوست زباله شهری بیش از ورمی-کمپوست دامی، توانایی افزایش فراهمی فسفر را دارد، و کاربرد توأم آن با دی‌آمونیم فسفات نسبت به دو کود شیمیایی دیگر (سوپر فسفات تریپل و سنگ فسفات) در فراهمی فسفر مؤثرتر است. در روز نودم از انکوباسیون، تفاوت معناداری بین غلظت فسفر فراهم در خاک‌های تیمار شده با خاک شاهد (بجز خاک‌های حاوی دی‌آمونیم فسفات و سوپر فسفات تریپل تیمار شده با ورمی-کمپوست زباله شهری و خاک دارای دی‌آمونیم فسفات تیمار شده با ورمی-کمپوست دامی) مشاهده نشد.

آهن و آلومینیوم در خاک‌های تیمار شده با ترکیبات آلی، در روز نودم از انکوباسیون نسبت به روز اول، می‌تواند به دلیل تشکیل کمپلکس‌های فلز- ماده آلی (آهن و آلومینیوم) باشد. جذب فسفر به وسیله کمپلکس فلز- ماده آلی، رسوب فسفر به صورت فسفات‌های کلسیم را کاهش می‌دهد (حلاج نیا و همکاران، 1385؛ لیتمووسترمن، 2003). بالا بودن غلظت آهن و آلومینیوم ازگرات در خاک (جدول 1) و افزایش جزء پیوندی با اکسیدهای آهن و آلومینیوم در روز نودم می‌تواند، دلیل کاهش فراهمی فسفر در روز نودم از انکوباسیون و توانایی بالای این خاک در تثبیت فسفر، حتی در حضور ترکیبات آلی باشد. افزایش جزء باقیمانده در روز نودم نسبت به روز اول انکوباسیون در خاک‌های حاوی کودهای شیمیایی به‌تنهایی، می‌تواند به دلیل توانایی بالای خاک مورد بررسی در تثبیت فسفر باشد. برخلاف نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، فتحی‌گردیدانی و همکاران (1395) در مطالعه اثر کمپوست قارچ مصرفی و حسین-پور و همکاران (2012) با بررسی اثر کمپوست زباله شهری، بر فراهمی و شکل‌های معدنی فسفر در چند خاک آهکی بیان داشتند که با افزایش کاربرد ترکیبات آلی مقدار دی کلسیم فسفات که حلال‌ترین کانی فسفر بعد از مونو کلسیم فسفات است، افزایش معناداری نشان داد. شریعتمداری و همکاران (2006) گزارش دادند که مقدار رهاسازی فسفر از فاز جامد به محلول ارتباط مثبتی با مقدار رس، کربنات کلسیم فعال، محتوای آهن و آلومینیوم در خاک دارد.

گونه‌های معدنی و کانی کنترل‌کننده حلالیت فسفر در طول دوره انکوباسیون

گونه‌های معدنی غالب فسفر در خاک شاهد و همه‌ی خاک‌های تیمار شده با منابع فسفات و کودهای آلی در روز اول و نودم از انکوباسیون، H_2PO_4^- ، HPO_4^{2-} ، $\text{MgHPO}_4(\text{aq})$ و $\text{CaHPO}_4(\text{aq})$ به‌دست آمد. ترتیب میانگین درصد فراوانی گونه‌های فسفر در روز اول در همه‌ی خاک‌های تیمار شده و شاهد به صورت $\text{HPO}_4^{2-} < \text{MgHPO}_4(\text{aq}) < \text{H}_2\text{PO}_4^- < \text{CaHPO}_4(\text{aq})$ و در روز آخر در همه‌ی خاک‌های تیمار شده و شاهد به صورت $\text{H}_2\text{PO}_4^- < \text{CaHPO}_4(\text{aq}) < \text{MgHPO}_4(\text{aq}) < \text{HPO}_4^{2-}$

6. فتحی گردلیدانی، الف، میرسید حسینی، ح.، فرحبخش، م. 1394. برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلبایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. دوره 46. شماره 4.
7. فتحی گردلیدانی، الف، میرسید حسینی، ح.، فرحبخش، م. 1395. تأثیر کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده و جزءبندی فسفر معدنی در یک خاک آهکی. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی). جلد 39. شماره یک.
8. کلاهچی، ز. 1390. اندازه‌گیری و پیشگویی اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی بر حرکت فسفر در خاک‌های آهکی. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.
9. ملکوتی، م.ج.، کشاورز، پ.، و کریمیان، ن. 1373. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
10. Afif, E., Matar, A., and Torrent, J. 1993. Availability of phosphate applied to calcareous soils of West Asia and North Africa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 756–760.
11. Alder P.R., and Sikora L.J. 2003. Changes in soil phosphorus availability with poultry compostage. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 34 :81-95.
12. Allison, L.E., and C.D. Moodi. 1962. Carbonates. PP 1379-1396. In: C. A. Black et al. (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 2*, American, Society of Agronomy, Madison, WI.
13. Al-Rohily, K.M., Ghoneim, A.M., Modaihsh, A.S., and Mahjoub, M.O. 2013. Phosphorus availability in calcareous soil amended with chemical phosphorous fertilizer, cattle manure, compost and sludge manure. *Soil Science Department, King Saud University, ISSN. 1818-4978, PP:17-24.*
14. Ann, Y., Reddy, K.R., and Delfino, J.J. 2000. Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. *Ecological Engineering.* 157–167.
15. Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Metzger, J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresour. Technol.* 84, 7–14.
16. Barber, S. A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability. I. A Mechanistic Approach.* Wiley, New York.
17. Bowyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making partial size analysis of soils. *Agron. J.* 56, 464-465.
18. Carreira, J.A., Vinegla, B., and Lajtha, K. 2006. Secondary CaCO₃ and precipitation of P-Ca compounds control the retention of soil P in arid ecosystem. *J. Arid Environ.* 64, 460–473.
19. Chen, Y. R., Butler, J. N., and Stumm, W. 1973. Kinetic study of phosphate reaction with aluminum oxide and kaolinite. *Environmental Science Technology*, 7, 327-332.
20. Delgado, A., Madrid, A., Kassem, S., Andreu, L., and Campillo, M.C. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil.* 245:277–286.
21. Epstein, E. 1997. *The science of composting.* Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster, Pennsylvania. 17604, USA.
22. Gagnon, B., and Simard, R.R. 1999. Nitrogen and phosphorus release from on farm and industrial composts. *Can. J. Soil Sci.* 79, 481–489.
23. Guertal, E. A., Eckret, D. J., Traina, S. J., and Logan, T. J. 1991. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 410–413.
24. Halajnia, A., Haghnia, G.H., Fotovat, A., and Khorasani, R. 2009. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P Harrell, D.L., and Wang, J.J. 2006. Fractionation and sorption of inorganic phosphorus in Louisiana calcareous soils. *J. Soil Sci.* 171, 39–51.

25. 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. PP. 499.
26. Heckrath, G., Brooks, P. C., Poulton, P. R., Goulding, K. W. T. (1995): Phosphorous leaching from soils containing different P concentrations in the Broadbalk experiment. *J. Environ. Qual.* 24, 904–910.
27. Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., and Chauhan, B.C. 1982a. Changes in inorganic and organic soilphosphorus fractions induce by cultivation practices and by laboratory incubation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*46, 970–976.
28. Hedley, M.J., White, R.E., and Nye P.H. 1982b. Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. Emerald) seedlings. III. Changes in L value, soil phosphate fractions and phosphatase activity. *New Phytol.* 91, 45–56.
29. Hosseinpur, A. R., Kiani, S., and Halvaei, M. 2012. Impact of municipal compost on soil phosphorus availability and mineral phosphorus fractions in some calcareous soils. *Environ Earth Sci.* 67(1), 91-96.
30. Ibrahim, H. S. and Pratt, P. F. 1982. Effects of Rate of Application and Time on Phosphorus Sorption by Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 926-928.
31. Jalali, M., and Ranjbar, F. 2010. Aging effects on phosphorus transformation rate and fractionation in some calcareous soils. *Geoderma.* 155, 101-106.
32. Jalali. M. 2009. Phosphorus availability as influenced by organic residues in five calcareous soils. *Compost Sci Util.* 4 (17), 241-246.
33. Leytem, A.B., and Westermann, D.T.2003. Phosphate sorption by Pacific Northwest calcareous soils. *J. Soil Sci.* 168, 368–375.
34. Mackay, A. D., and Syers, J. K. 1986. Effect of phosphate, calcium and pH on the dissolution of a phosphate rock in soil. *Fert. Res.* 10, 175- 184.
35. McDowell, R.W., and Sharpley, A.N. 2003. Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. *Geoderma.* 112, 143-154 .
36. Mehra, O. P., and Jackson, M. L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate systems buffered with sodium bicarbonate. *Clay Clay Miner.* 7, 317–327.
37. Mkhabela, M.S., and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 106:57-67.
38. Motavalli, P.P., and Miles, R.J. 2002. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. *Biol Fertil Soils.* 36, 35–42.
39. Murphy, J., and Riley, H.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27, 31-36.
40. Olsen S.R. and Sommer L.E. 1982. Phosphorus. In: Klute, A. (Ed), *Methods of Soil Analysis: Physical Properties, Part 1*, second ed. Agron Monogr, No 9. Madison WI: ASA and SSSA. pp: 403–430.
41. Olsen, S.R. and Watanabe, F.S. 1966. Effective volume of soil around plant roots determined from phosphorus diffusion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30 ,598- 602
42. Oustan, Sh. and Towfighi, H. 2003. Prediction of Residual Available Phosphorus in Some Soils of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 35, 531-540.
43. Parthasarathi, K. 2007. Influence of moisture on the activity of perionix excavates (perrier) and microbial - nutrient dynamics of pressmud vermicompost. Division of vermi biotechnology, Department of Zoology, Annamalainagar University, Annamalainagar 608002, India.
44. Pramanika, P., Bhattacharya, S., and Banik, P. 2009. Phosphorous solubilization from rock phosphate in presence of vermicomposts in Aqualfs. *Geoderma.* 152: 16–22.

45. Reddy, D.D., Subba Rao, A., Sammi Reddy, K., and Takkar, P.N. 1999. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. *Field Crops Residue*. 62: 181-190.
46. Rhoades, J.D. 1968. Cation exchange capacity. pp. 149-158. In: A.C. page (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2, Monograph No 9*. American, Society of Agronomy.
47. Rowell, D.L. 1994. *Soil Science: methods and application*. Longman. London.
48. Ryan, J., Hasan, H.M., Baasiri, M., and Tabbara, H.S. 1985. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous Lebanese soils. *Soil Sci Soc. Am. J.* 49, 1215-1220.
49. Sagoe, C.I., Ando, T., Kouno, K., and Nagaoka, T. 1998. Effects of organic acid treatment of phosphate rocks on the phosphorus availability to Italian ryegrass. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43: 1067-1072.
50. Shariatmadari, H., Shirvani, M. and Jafari, A. 2006. Phosphorus release kinetics and availability in calcareous soils of selected arid and semiarid toposequence. *Geoderma*. 132, 261-272.
51. Sparks, D.L. 1995. *Environmental Soil Chemistry*. Harcourt Brace and Company, San Diego, CA. Broadbalk experiment. *J. Environ. Qual.* 24, 904-910.
52. Toor, G.S., and Bahl, G.S. 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.
53. Yu, S., He, Z.L., Stoffella, P.J., Clavert, D.V., Yang, X.E., Banks, D.J. and Baligan, V.C. 2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphates activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. *Soil Biol. Biochem.* 38, 619-628.

Effect of Sheep Manure and Municipal Waste Vermicomposts on Changes in Phosphorus from Different Sources in a Calcareous Soil

M. Zarrabi¹, M. Asariha, and Z. Kolahchi

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

Former MS student, Malayer University; E-mail: mahsa.asariha@gmail.com

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

Received: June, 2016 & Accepted: May, 2017

Abstract

The effect of organic amendments on phosphorus (P) availability over time is important for developing P fertilizer and organic amendment management practices in soils. This study was conducted to determine the effect of two types of vermicompost, namely, sheep manure (SMV) and municipal waste (MWV), on P availability, its mineral species and fractions in a calcareous sandy loam soil treated with three kinds of phosphorus fertilizer (rock phosphate (RP), diammonium phosphate (DAP), and triple super phosphate (TSP) during 90 days. Available P data during the incubation period were fitted using the power function equation to describe P transformation rate. The geochemical visual MINTEQ was used to calculate saturation indices and mineral P species in solution at the first and last days (nineteenth day) of incubation. By the end of the incubation period, there was no significant difference ($P \leq 0.05$) between the amounts of available P released in the treated and the control soils, except in soils containing TSP treated with MWV and soils containing DAP treated with SMV and MWV. These results suggest high P fixation capacity in studied soil. Phosphorus transformation rate (the b constant of power function equation) ranged from $-0.059 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ (soil treated with SMV) to $-0.140 \text{ mg kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ (soil treated with TSP). The highest "a" constant of power function was observed in soils treated with TSP and DAP and MWV. As compared to application of phosphorus fertilizer alone, vermicomposts applications with P fertilizer decreased P transformation rate in soils. Available P in soils treated with MWV was higher than with SMV. Phosphorus fractionation at the first and nineteenth day of incubation showed that carbonate and residual fractions were the dominant fractions, respectively. The results showed that P release was controlled by the dissolution rate of hydroxylapatite, and HPO_4^{-2} was the dominant P specie during the incubation.

Keywords: Available P, Organic fertilizer, Fractionation, Speciation

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