

برخی آثار کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار باگاس بر فعالیت فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند خاک آهکی

ارژنگ فتحی گردلیدانی^۱، حسین میرسید حسینی^{۲*}، محسن فرحبخش^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۴)

چکیده

کمبود فسفر یکی از مشکلات اصلی کشاورزی در خاک‌های آهکی است. به منظور بررسی اثر کمپوست قارچ مصرفی (SMC) و بیوجار باگاس نیشکر (B) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در سه خاک لوم، لوم رسی و لوم شنی مطالعه آنکوبه کردن انجام گرفت. تیمارها شامل سطوح بیوجار B1 و B2 (۱۵ و ۳۰ تن در هکتار)، سطوح کمپوست SMC1، SMC2 (۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و شاهد (C) بود. بعد از اعمال تیمارها در زمان‌های ۱۴ (T₁)، ۶۰ (T₂) و ۱۲۰ (T₃) روز فسفر قابل جذب و pH و در زمان T₃ فعالیت فسفاتاز قلیایی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد SMC در هر سه خاک سبب افزایش فعالیت فسفاتاز در خاک می‌شود، ولی بیوجار در خاک لوم شنی بی‌تأثیر بود. میانگین فعالیت فسفاتاز تیمار شاهد در سه بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۲۰۹۰، ۲۹۳۱ و ۲۸۸۸ $\mu\text{g PNP.g}^{-1}\text{Soil.h}^{-1}$ بود که برای تیمار SMC2 به ترتیب ۳۰۳۴، ۳۷۰۹ و ۳۵۳۳ $\mu\text{g PNP.g}^{-1}\text{Soil.h}^{-1}$ افزایش پیدا کرد. همچنین، هر دو سطح SMC سبب افزایش فراهمی فسفر شد، در حالی که مصرف بیوجار اثر کمتری داشت. SMC2 بهترین اثر را در افزایش فراهمی فسفر داشت، به طوری که میانگین فسفر قابل جذب در سه بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب از ۱۹/۴، ۸/۸ و ۳/۹ mg.Kg^{-1} در تیمار شاهد به ۳۷، ۲۸ و ۲۲ mg.Kg^{-1} در تیمار SMC2 افزایش یافت. کمپوست قارچ pH خاک‌ها را کاهش و بیوجار را افزایش داد. نتایج نشان داد که کاربرد SMC در خاک‌های آهکی مورد آزمایش، سبب افزایش فراهمی فسفر و بهبود سایر خصوصیات از جمله pH شده است.

کلیدواژگان: بیوجار، فراهمی فسفر، فسفاتاز قلیایی، کمپوست قارچ.

مقدمه

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، به علت نبود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک، حاوی ماده آلی کمی است. این خاک‌ها اغلب آهکی و دارای واکنش قلیایی است. در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیه عناصر پرمصرف (به‌ویژه فسفر) و کم‌مصرف روبه‌رویند. از جمله روش‌های افزایش مقدار قابل جذب این عناصر استفاده از مواد آلی است (Karami et al., 2009). تحقیقات نشان داده که افزودن مواد آلی به خاک، بسته به خصوصیات انواع این مواد که آن‌ها را از هم بسیار متفاوت می‌کند، بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، فعالیت آنزیمی، وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت نگهداری آب آثار متفاوتی می‌گذارد

که در بیشتر موارد با بهینه‌کردن این شرایط، امکان لازم برای تولید محصولات با عملکرد بالا از نظر کیفی و کمی را فراهم می‌آورد (Barahimi et al., 2009). اجزای ماده آلی اضافه‌شده به خاک با فسفر برای مکان‌های جذب رقابت می‌کند. در نتیجه فراهمی فسفر در خاک را افزایش می‌دهد (Iyamuremye and Dick, 1996). اعتقاد بر این است که رقابت اسیدهای آلی از جمله مالیک و استیک با فسفر برای مکان‌های جذب در آزادسازی فسفر به محلول خاک نقش مهمی دارد (Hue, 1991). باگاس نیشکر مواد پسمانده نیشکر بعد از استخراج عصاره آن است. مانند بسیاری از بقایای کشاورزی، باگاس زیست‌توده‌ای غنی از کربن، بسیار فراوان و مناسب برای تولید بیوجار^۱ است (Inyang et al., 2010). بر اساس گزارش شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در سال ۱۳۹۰ بیش از ۱ میلیون

است (Kızılkaya *et al.*, 2004). فسفاتازها از آنزیم‌های برون‌سلولی کلیدی در چرخه فسفر خاک‌ها و شاخصی خوب برای توان معدنی‌شدن فسفر آلی و فعالیت بیولوژیکی خاک است (Dick and Tabatabai, 1992). در بین این آنزیم‌ها فسفومونواسترازها به دلیل نقش مؤثر در معدنی‌کردن فسفر آلی خاک، مورد توجه و مطالعه بیشتری قرار گرفته است (Tabatabai, 1982). فسفومونواسترازها شامل فسفاتازهای اسیدی و فسفاتازهای قلیایی است. علت نامگذاری، pH ایتیم و فعالیت این آنزیم‌هاست که به ترتیب در محدوده pH اسیدی و قلیایی قرار دارد. میکروارگانیسم‌های خاک و ریشه گیاهان منشأ اصلی تولید فسفاتازهاست. چون گیاهان عالی فسفاتاز قلیایی ندارند، به نظر می‌رسد این آنزیم را بیشتر میکروارگانیسم‌ها و جانوران خاکی در خاک تولید می‌کنند (Tarafdar, 1995). ماده آلی محیط بهتری را برای پایداری آنزیم‌های برون‌سلولی فراهم می‌آورد و از آن‌ها در مقابل تنش‌های محیطی حمایت می‌کند (Balota, 2004).

به نظر می‌رسد که بیوجار (Akça and Namli, 2015) و مواد زاید آلی مانند لجن فاضلاب، کمپوست، لجن زغال‌سنگ و کمپوست لجن فاضلاب قادر به تحریک و افزایش زیست‌توده و فعالیت میکروبی، همچنین فعالیت‌های آنزیمی در خاک است (Emmerling *et al.*, 1996). افزایش دسترسی میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی به‌دنبال افزودن مواد آلی و افزایش ترشحات ریشه‌ای دلیلی بر افزایش فعالیت فسفاتازهاست (Tejada *et al.*, 2006).

Namli and Akça (2015) با بررسی اثر بیوجار کود مرغی بر فعالیت‌های آنزیمی خاک گزارش کردند که با کاربرد بیوجار، فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی به طور معناداری افزایش یافت. Giusquiani و همکاران (1988) اظهار داشتند که افزودن کمپوست زباله شهری حلالیت فسفر خاک را افزایش می‌دهد. آن‌ها احتمال دادند که افزایش حلالیت فسفر خاک به سبب تشکیل کمپلکس‌های فسفوهیومیکی است که فرایند تثبیت را به حداقل می‌رساند و جانشینی آنیون فسفر توسط یون هومات، و پوشش ذرات سزکوی اکسید توسط هوموس در آن به شکل پوشش محافظ است. Ma و همکاران (2010) گزارش کردند که افزودن کلش در طول کشت جذب فسفر را در خاک‌های قرمز و شالیزاری کاهش داد، اما اثر کمتری بر لاتوسول داشت. Liang و همکاران (2006) بیان داشتند که بیوجار علاوه بر آزادکردن مستقیم فسفر محلول، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را افزایش می‌دهد و ممکن است قابلیت دسترسی فسفر را با مهیا کردن ظرفیت تبادل آنیونی یا با تأثیر بر فعالیت کاتیون‌های در تعامل

و ۲۰۰ هزار تن باگاس نیشکر در کشور تولید می‌شود که بخش زیادی از آن سوزانده یا انبار می‌شود. باگاس انبارشده ارزش اقتصادی کمی دارد و به سبب خطر خوداشتعالی، مشکلی محیط‌زیستی برای کارخانه‌های تولید شکر و مناطق اطراف آن است، به خصوص اگر برای مدت طولانی به صورت کپه انبار شود (Dawson *et al.*, 1990). یکی از راه‌های کاهش خطرات احتراق و مشکلات محیط‌زیستی ناشی از آن، سوزاندن باگاس در شرایط بی‌هوازی و کم‌هوازی و تبدیل آن به ماده‌ای بسیار پایدار و غنی از کربن به نام بیوجار است. بیوجار را می‌توان از هر زیست‌توده‌ای از جمله پسماندهای صنعتی (باگاس)، زراعی، جنگلی و خانگی و کودهای حیوانی تهیه کرد. مواد اولیه تحت فرایندی به نام گرماکافت (Pyrolysis) یا تجزیه حرارتی-شیمیایی که نتیجه آن بازآرایی در مولکول زیست‌توده است، تبدیل به بیوجار سیاه‌رنگ می‌شود. دما، مدت زمان نگهداری ماده در درجه حرارت معین و میزان حرارت مستقیم بر خصوصیات شیمیایی بیوجار تأثیر دارد. افزودن بیوجار به خاک خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، از جمله ساختمان خاک، فراهمی عناصر غذایی و آب، همچنین نگهداشت عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد (Glaser *et al.*, 2002).

تولیدکنندگان قارچ کمپوست را به‌عنوان بستر کشت برای تولید قارچ استفاده می‌کنند. حدود ۵ کیلوگرم از این بسترهای پسماند برای هر کیلوگرم قارچ تولید می‌شود (Williams *et al.*, 2001)، با توجه به اینکه در سال ۱۳۹۱ تولید قارچ در ایران حدود ۹۰ هزار تن بوده (FAO, 2012) به ازای آن تقریباً ۴۵۰ هزار تن کمپوست قارچ نیز تولید شده است. حاصلخیزی این کمپوست بعد از برداشت قارچ کاهش می‌یابد که در اصطلاح به آن کمپوست قارچ مصرف‌شده^۱ (SMC) می‌گویند. به‌طور معمول، این بستر مصرف‌شده ضایعات دورریز است، ولی می‌توان از آن در موارد مختلف از جمله، کشاورزی، باغبانی و فضای سبز استفاده کرد (Vahabi Mashak *et al.*, 2008). کمپوست قارچ مصرفی (SMC) حاوی مواد مغذی گیاهی باارزش و ماده آلی است که حاصلخیزی خاک را بهبود می‌بخشد. SMC مواد مغذی گیاهی را برای محصولات فراهم می‌کند و در نتیجه جایگزین کود معدنی می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که SMC منبع عالی از فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف است (Cabilovski *et al.*, 2014).

آنزیم‌ها تجزیه ماده آلی را کاتالیز می‌کند. فعالیت‌های آنزیمی خاک مرتبط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک

نشان‌دهنده صحت روش استفاده‌شده برای تولید بیوجار و موفقیت در حذف اکسیژن است. سپس بیوجار تولیدشده را از الک ۲ میلی‌متری عبور دادیم. pH و قابلیت هدایت الکتریکی SMC و بیوجار در عصاره ۱:۱۰، فسفر محلول در آب و فسفر قابل جذب به روش‌های فوق و فسفر کل به روش هضم خشک در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

این پژوهش با پنج تیمار (بیوجار ۱۵ تن در هکتار (B1) و ۳۰ تن در هکتار (B2)، کمپوست قارچ ۲۰ تن در هکتار (SMC1) و ۴۰ تن در هکتار (SMC2) و تیمار شاهد ((C در سه بافت لوم (L)، لوم شنی (SL) و لوم رسی (CL) و در سه زمان ۱۴(T₁)، ۶۰(T₂) و ۱۲۰(T₃) روز در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. به منظور اجرای آزمایش، ۳۰۰ گرم خاک هواخشک توزین و پس از اعمال تیمارهای مختلف درون گلدان ریخته شد. گلدان‌ها در دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد و تهویه مناسب در داخل انکوباتور نگهداری شد. در طول آزمایش رطوبت گلدان‌ها در دامنه ۷۰-۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به روش وزنی کنترل شد. در فاصله زمانی، ۱۴، ۶۰ و ۱۲۰ روز از خاک گلدان‌ها نمونه‌برداری شد (حذف گلدان‌ها). نمونه‌خاک‌ها پس از هواخشک‌شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس، فسفر قابل جذب و pH در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. بعد از پایان دوره انکوبه‌شدن، به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی ۱ گرم خاک توزین و به ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر تولوئن و ۴ میلی‌لیتر بافر فسفات با (pH=۱۱) و ۱ میلی‌لیتر از محلول سوبسترای پارانیتروفنیل به آن افزوده شد. نمونه‌ها برای یک ساعت در دمای ۳۷±۱ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور قرار گرفت. بعد از آن محلول به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد، ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار و ۱ میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار برای اتمام فعالیت آنزیمی بدان افزوده و کاملاً تکان داده شد. تغییر رنگ در نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری و به صورت میکروگرم پارانیتروفنل بر گرم خاک خشک در یک ساعت انکوبه‌کردن (µg PNP.g⁻¹Soil. h⁻¹) محاسبه شد (Tabatabai et al., 1969). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح ۱ درصد انجام و برای رسم نمودارها از برنامه اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده، خاک منطقه اشتهارد، مزرعه دانشکده و منطقه

با فسفر تغییر دهد. Hunt و همکاران (2007) گزارش دادند این امکان وجود دارد که مکان‌های تبدالی مثبت بیوجار با اکسیدهای آهن و آلومینیم (برای مثال، گیبسایت و گنوتایت) شبیه آنچه برای هومیک و فولویک اسید مشاهده شد برای جذب فسفر محلول رقابت کند. هدف ما از این مطالعه بررسی اثر کمپوست قارچ مصرفی و بیوجار باگاس نیشکر بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی و فراهمی فسفر در چند نمونه خاک آهکی تهیه‌شده از استان البرز است.

مواد و روش‌ها

سه نمونه خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (ارتفاع از سطح دریا ۱۲۹۶ متر، طول جغرافیایی ۵۷° ۵۰' و عرض جغرافیایی ۴۷° ۴۷'N)، منطقه اشتهارد (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۸۱ متر، طول جغرافیایی ۱۹° ۵۰' و عرض جغرافیایی ۴۴° ۳۵'N) و منطقه پلنگ‌آباد (ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۵ متر، طول جغرافیایی ۳۶° ۵۰' و عرض جغرافیایی ۴۴° ۳۵'N)، واقع در استان البرز برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، فسفر محلول در آب (Kuo, 1996)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson and Sommers, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیم (Chapman, 1965)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره ۱:۱ خاک به آب، کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Nelson, 1982) و درصد رطوبت ظرفیت مزرعه با دستگاه صفحات فشاری تعیین شد (جدول ۱).

کمپوست قارچ مصرفی تازه از واحد تولید قارچ ملارد تهیه و سپس هواخشک و جهت یکنواخت‌کردن ذرات خرد شد. باگاس نیشکر نیز از شرکت کشت و صنعت نیشکر دعبل خزایی خوزستان تهیه شد. با توجه به عدم دسترسی به کوره مناسب تولید بیوجار در گروه، برای تولید بیوجار ابتدا مواد اولیه باگاس نیشکر در داخل قوطی‌های فلزی قرار داده شد. بعد برای اینکه اکسیژن موجود در ظرف تا حد امکان حذف شد، شمعی روشن را روی مواد اولیه درون قوطی قرار دادیم. سپس درب ظرف را بستیم و برای اطمینان از عدم ورود هوا با گل دور تا دور درب ظرف را پوشیدیم. سپس، درون کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت حرارت دید. جالب اینکه روی بیوجار تولیدشده خاکستری مشهود نبود که این

پلنگ‌آباد به ترتیب دارای بافت لوم رسی، لوم و لوم شنی بود. میانگین درصد کربنات کلسیم معادل در هر سه نمونه خاک بالای ۵ درصد و pH آن‌ها نیز در دامنه ۷ تا ۸/۵ بود. خاک لوم رسی با میانگین مقدار pH ۷/۷۲ دارای بالاترین pH بود. بنابراین، بر اساس طبقه‌بندی خاک فائو، خاک‌های مورد استفاده جزو خاک‌های آهکی طبقه‌بندی می‌شود (IUSS, W., 2014). میانگین فسفر قابل جذب نیز در خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۱۷/۲، ۸/۱ و ۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در دو خاک لوم و لوم رسی از نظر تأمین فسفر مورد نیاز گیاهان به احتمال زیاد محدودیت وجود دارد.

اثر تیمارها بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار و بافت و اثر متقابل آن‌ها بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی معنادار ($P < 0.01$) است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD نشان داد که همه تیمارها فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی را در مقایسه با شاهد به طور معناداری ($P < 0.01$) افزایش داد (شکل ۱A). در بین تیمارها، در SMC2 ($3425 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}\text{Soil} \cdot \text{h}^{-1}$) بیشترین میزان فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در مقایسه با شاهد ($2636 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}\text{Soil} \cdot \text{h}^{-1}$) اندازه‌گیری شد. فعالیت فسفاتاز قلیایی در تیمار SMC1 به طور معناداری کمتر از SMC2 بود ولی تفاوت معناداری با دو سطح بیوچار اعمال شده نداشت. افزایش

فعالیت فسفاتاز خاک بعد از چهار ماه انکوبه‌کردن به علت تحریک فعالیت میکروبی ناشی از کمپوست قارچ و بیوچار اضافه‌شده یا رشد زیست‌توده میکروبی در پاسخ به افزایش ماده آلی و محتوای عناصر غذایی خاک‌ها و بهبود خصوصیات فیزیکی همانند ظرفیت نگهداشت آب و عناصر غذایی است در این رابطه، Martens و همکاران (1992) گزارش کردند که کاربرد هر نوع ماده آلی به افزایش قابل توجه در فعالیت فسفاتاز منجر می‌شود. Dinesh و همکاران (2003) نیز افزایش فعالیت فسفاتاز قلیایی با کاربرد کود مرغی و کود دامی را گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر با افزودن کلش برنج، فضولات خوک و کلش برنج به همراه فضولات خوک، فعالیت فسفاتاز قلیایی به طور معناداری افزایش پیدا کرد (Liang et al., 2003). شدت فعالیت آنزیمی در خاک به طور شایان توجهی به نوع و سطح ماده آلی اضافه‌شده بستگی دارد (Kalembasa and Symanowicz, 2012). بر اساس نتایج این مطالعه، سطح بالاتر کمپوست قارچ نسبت به سطح کمتر آن در افزایش فعالیت فسفاتاز مؤثرتر بود که احتمالاً به سبب کربن در دسترس بیشتر در سطح بالاتر کمپوست قارچ است. به علاوه، عملکرد کمپوست قارچ نسبت به بیوچار بهتر است که ناشی از تجزیه‌پذیری بالای آن و در نتیجه نقش بهتر در تحریک فعالیت میکروبی است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

مقدار			ویژگی (واحد)
خاک منطقه پلنگ‌آباد	خاک مزرعه دانشکده	خاک منطقه اشتهارد	
۰/۵۴	۰/۵۱۴	۱/۸۹	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)
۷/۰۷	۷/۰۸	۷/۷۲	pH
۱۷/۲۱	۸/۱۳	۴/۴۲	فسفر قابل جذب ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$)
۸/۰۶	۲/۵	۲/۵	فسفر محلول در آب ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$)
۱۰/۹۰	۱۳/۴۲	۱۴/۵۸	ظرفیت تبادل کاتیونی ($\text{Cmolc} \cdot \text{Kg}^{-1}\text{Soil}$)
۱۴/۲۲	۲۱/۵۵	۲۵/۸۵	رطوبت ظرفیت مزرعه (% w)
۰/۹	۰/۸	۰/۷۵	کربن آلی (%)
۵/۶	۷/۸۵	۱۴/۹	کربنات کلسیم معادل (%)
۶۱	۳۸	۳۵	شن (%)
۲۱	۳۵	۳۱	سیلت (%)
۱۸	۲۷	۳۴	رس (%)
لوم شنی	لوم	لوم رسی	کلاس بافت خاک

۳۳۶۴ و $3310 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}\text{Soil} \cdot \text{h}^{-1}$ در مقایسه با خاک لوم شنی ($2346 \mu\text{g PNP} \cdot \text{g}^{-1}\text{Soil} \cdot \text{h}^{-1}$) فعالیت فسفاتاز قلیایی به

نتایج نشان داد که بافت خاک فعالیت فسفاتاز قلیایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در دو خاک لوم و لوم رسی (به ترتیب

Karami (1957) گزارش کرد بیشترین فعالیت فسفاتاز زمانی است که کمترین مقدار فسفر در دسترس وجود داشته باشد.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های SMC و بیوجار

مقدار		ویژگی SMC (واحد)
SMC	بیوجار	
۰/۰۰۸	۱۲/۶۲	EC (dS.m ⁻¹)
۸/۷۹	۶/۶۶	pH
۲۸/۶	۸۳/۳	فسفر قابل جذب (mg.Kg ⁻¹)
۳/۶	۲۱/۴	فسفر محلول در آب (mg.Kg ⁻¹)
۶۶۷/۸	۵۴۶۶	فسفر کل (mg.Kg ⁻¹)

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار و بافت بر آنزیم فسفاتاز قلیایی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
تیمار	۴	۲۹۲۲۵۰۶***
بافت	۲	۹۸۳۸۷۴۵***
بافت در تیمار	۸	۱۳۱۴۹۳۴***
اشتباه	۳۰	۷۱۹۴۴۱
ضریب تغییرات (/)	-	۵/۱۵

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمار، بافت و زمان بر فسفر قابل جذب، فسفر محلول در آب و pH

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
pH	فسفر قابل جذب		
۱/۲۱**	۲۲۹۱/۵***	۲	بافت
۰/۳۷**	۱۷۷۶/۷***	۴	تیمار
۷/۵۳**	ns۴/۵	۲	زمان
۰/۰۱۲*	۱۴/۹*	۸	بافت در تیمار
۰/۲۴**	ns۱۴/۲	۴	بافت در زمان
۰/۰۴**	ns۱۲/۹	۸	تیمار در زمان
۰/۰۱۴**	۱۸/۱***	۱۶	بافت در تیمار در زمان
۰/۰۰	۶/۵	۹۰	اشتباه
۱/۰۲	۱۵/۰۱	-	ضریب تغییرات (/)

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

منبع بیوجار، روش تولید و خاک ممکن است رفتار جذبی یا فعالیت بیولوژیکی متفاوتی به علت گستردگی pH، مساحت سطح، توزیع اندازه منافذ و ویژگی‌های بار داشته باشد.

اثر تیمارها بر فراهمی فسفر

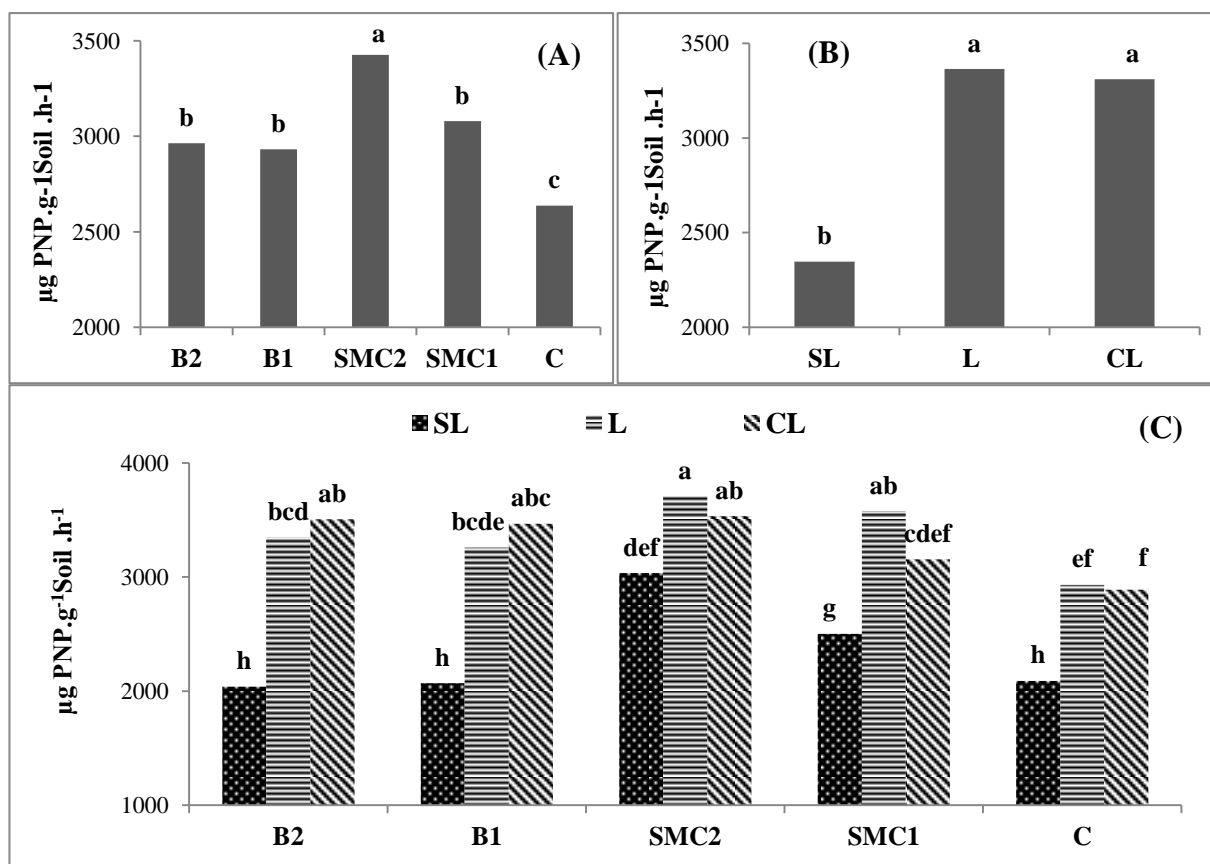
نتایج تجزیه واریانس فسفر قابل جذب نشان داد که اثر تیمار و بافت و اثر متقابل بافت در تیمار در زمان در سطح احتمال کمتر از ۱ درصد و اثر متقابل بافت در تیمار در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد معنادار و اثر زمان، اثر متقابل بافت در زمان و اثر متقابل تیمار در زمان غیرمعنادار است (جدول ۴). نتایج مقایسه

طور قابل توجهی بیشتر بود (شکل ۱B). گزارش شده که سرعت میکروارگانیسم‌ها در سنتز و آزادسازی فسفاتازها یا پایداری فسفاتازها با pH خاک مرتبط است. پایداری و فعالیت فسفاتاز قلیایی با افزایش pH افزایش می‌یابد، به طوری که در pH=۱۱ حداکثر فعالیت را نشان می‌دهد (Tabatabai, 1994). در پایان دوره انکوبه کردن، pH دو خاک لوم و لوم رسی در همه تیمارها به طور شایان توجهی بالاتر از pH خاک لوم شنی بود (جدول ۶) که یکی از دلایل بالاتر بودن فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در این دو خاک است. سطح فسفر در دسترس در محلول خاک یکی دیگر از عوامل کنترل کننده میکروارگانیسم‌ها در تولید فسفاتازهاست. فسفر در دسترس در خاک لوم شنی چند برابر مقدار فسفر دو بافت دیگر بود (جدول ۱) که احتمالاً از دیگر دلایل کمتر بودن فعالیت فسفاتاز در این خاک نسبت به دو خاک دیگر است. Nannipieri و همکاران (2012) بیان داشتند فعالیت فسفاتازها در خاک را فسفر معدنی متوقف می‌کند. Kiss و همکاران (1974) نیز با بررسی تأثیر کود بر فعالیت آنزیم فسفاتاز نشان دادند که رابطه خطی معکوسی بین غلظت فسفات در محلول خاک و فعالیت فسفاتاز وجود دارد. همچنین،

همچنان که در شکل C۱ مشاهده می‌شود، در خاک لوم شنی هیچ کدام از دو سطح بیوجار تأثیر معناداری بر فعالیت فسفاتاز نداشت، حال آنکه در خاک لوم رسی هر دو سطح بیوجار و در خاک لوم تنها سطح بالاتر بیوجار به طور قابل توجهی فعالیت فسفاتاز قلیایی را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در مقابل، سطح بالاتر کمپوست قارچ در هر سه خاک سبب افزایش معنادار فسفاتاز قلیایی شد. ولی سطح پایین تر آن در لوم رسی تأثیری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی نداشت. این نشان می‌دهد که یک نوع بیوجار در همه خاک‌ها یکسان رفتار نمی‌کند و بسته به

تثبیت فسفر در خاک‌های آهکی مانند کلسیم اتفاق افتاده باشد. Badanur و همکاران (1990) گزارش کردند که افزایش شایان توجه در فراهمی فسفر با کاربرد بقایای گیاهی و کود سبز به سبب آزادسازی اسیدهای آلی در طول تجزیه است، که از طریق حل کردن فسفر بومی به چرخه فسفر کمک می‌کند. Cabilovski و همکاران (2014) با کاربرد کمپوست قارچ، ورمی کمپوست و کود دامی افزایش شایان توجه در فراهمی فسفر نسبت به شاهد، برای سه سال متوالی را گزارش کردند. همچنین، Van Zwieten و همکاران (2010) با مطالعه اثر بیوچار در خاک شنی نشان دادند که فراهمی فسفر تغییری نکرد. در مقابل، Sujana و همکاران (2014) با کاربرد بیوچار کود مرغی، بیوچار پوسته برنج، کود مرغی و پوسته برنج در سطوح مختلف گزارش کردند که فسفر قابل جذب افزایش معناداری پیدا کرد. از جمله دلایل متناقض بودن نتایج محققان در زمینه تأثیر بیوچار بر فراهمی فسفر می‌توان به متفاوت بودن نوع ماده اولیه برای تولید بیوچار، دمای تولید، زمان حرارت‌دادن، نرخ حرارت‌دادن و نوع خاک اشاره کرد که در تجزیه‌پذیری بیوچار نقش مهمی دارند.

میانگین‌های اثر اصلی تیمارها نشان‌دهنده اثر متفاوت نوع ماده آلی افزوده شده به خاک است (شکل A۲). با توجه به شکل A۲، هر دو سطح کمپوست قارچ میانگین فسفر قابل جذب خاک را در طول دوره انکوبه کردن در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی ($P < 0.01$) افزایش داد. میانگین فسفر قابل جذب خاک از ۱۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۲۹/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار SMC2 افزایش یافت. این افزایش با اختلاف فسفر اولسن و فسفر محلول در آب موجود در SMC در مقایسه با بیوچار (جدول ۲) مرتبط است. به طور طبیعی، SMC نسبت به بیوچار تجزیه‌پذیرتر است و نتایج سنجش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی (شکل A۱) به نوعی مؤید این ادعا است. بنابراین، علاوه بر آزادسازی مستقیم فسفر از SMC، بخش فسفر نامحلول که قسمت اعظم فسفر کل (جدول ۲) آن را تشکیل می‌دهد و قابل مقایسه با بخش اندک قابل جذب آن نیز نیست، احتمالاً از طریق تجزیه میکروبی به شکل محلول آزاد و سبب افزایش فراهمی فسفر شده است. همچنین، افزایش در فراهمی فسفر ممکن است به واسطه آزادسازی مقادیر محسوس CO_2 طی تجزیه ماده آلی و کمپلکس شدن کاتیون‌های اصلی مسئول

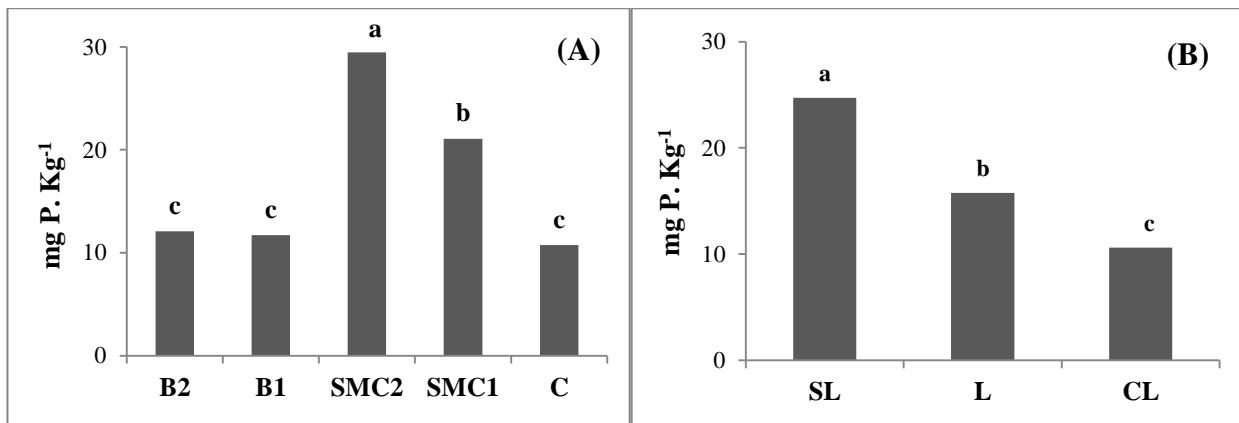


شکل ۱. اثر اصلی تیمار (A)، اثر اصلی بافت (B) و اثر متقابل بافت در تیمار (C) بر فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی در پایان دوره انکوبه کردن. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنادار آماری ($P < 0.01$) است. B2 و B1 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار، SMC2 و SMC1 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم رسی CL لوم رسی

قابل جذب در مقایسه با سایر تیمارها مشاهده شد (جدول ۵) به طوری که در زمان دوم اندازه گیری مقدار فسفر قابل جذب در سه خاک لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۳۸/۹، ۳۱/۷ و ۲۳/۵ میلی گرم بر کیلوگرم افزایش یافت، که در مقایسه با مقدار شاهد در این خاکها در همین زمان (به ترتیب ۲۰/۷، ۱۰/۴ و ۳/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) تفاوت قابل توجه نشان داد ($P < 0.01$).

با توجه به اینکه در مطالعه حاضر اثر اصلی زمان (جدول ۴) بر فسفر قابل جذب معنادار نبود، اعمال تیمارها به خصوص کمپوست قارچ علاوه بر اینکه سبب افزایش فسفر قابل جذب شد، طی چهار ماه انکوبه کردن این افزایش فراهمی را به حالت پایدار نگه داشت. Zhai و همکاران (2015) با بررسی اثر کاربرد سطوح مختلف بیوجار بقایای ذرت بر فراهمی فسفر در دو خاک اسیدی و قلیایی و اندازه گیری فسفر اولسن در چند زمان مشاهده کردند که با افزایش سطح کاربرد بیوجار، فسفر اولسن نیز افزایش یافت، ولی اثر زمان بی تأثیر بود.

فراهمی فسفر در بافت های مختلف متفاوت بود (شکل B2). هر سه بافت از نظر فسفر قابل جذب تفاوت معناداری ($P < 0.01$) نشان داد (شکل B2). بعد از اعمال تیمارها خاک لوم شنی با میانگین ۲۴/۷ میلی گرم بر کیلوگرم و خاک لوم رسی با میانگین ۱۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار فسفر قابل جذب در طول دوره انکوبه کردن را داشت. فراهمی فسفر در خاک شدیداً به ظرفیت جذب فسفر خاک وابسته است (Gburek *et al.*, 2005) و با عواملی از قبیل pH، کربنات کلسیم، ماده آلی، درصد رس، و اکسیدهای آهن و آلومینیم کنترل می شود. همان گونه که نتایج تجزیه اولیه خاک (جدول ۱) نشان داد، در خاک لوم رسی به علت بالاتر بودن pH، کربنات کلسیم، درصد رس و کمتر بودن کربن آلی در مقایسه با خاک لوم و لوم شنی شرایط برای تثبیت فسفر مساعدتر است. در نتیجه سبب شده که در این خاک کمترین مقدار فسفر قابل جذب در مقایسه با سایر خاکها مشاهده شود. در تیمار SMC2 در هر زمان و همه بافتها بیشترین مقدار فسفر



شکل ۲. اثر اصلی تیمار (A) و بافت (B) بر فسفر قابل جذب خاک در طول دوره انکوبه کردن. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنادار آماری ($P < 0.01$) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوجار، SMC2 و SMC1 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

همکاران (2014) با بررسی اثر بیوجار، کمپوست و ترکیب آنها بر بهبود فراهمی فسفر و اندازه گیری فسفر در سه زمان مختلف اظهار داشتند که اصلاح کننده های آلی در همه زمانها فسفر قابل جذب خاک را در مقایسه با شاهد به طور معناداری افزایش داد و علت افزایش فسفر قابل جذب را با معدنی شدن میکروبی فسفر آلی مرتبط دانستند.

در این مطالعه، نتایج اندازه گیری فعالیت فسفاتاز قلیایی در پایان دوره انکوبه کردن (زمان سوم) (شکل C1) در اکثر تیمارها با فسفر قابل جذب (جدول ۵) دارای ارتباط مستقیم و در برخی نیز بدون ارتباط بود.

اثر متقابل بافت در تیمار در زمان نشان داد که هر دو سطح بیوجار در خاک لوم در زمان سوم (جدول ۵) سبب افزایش معنادار فسفر قابل جذب در مقایسه با شاهد شد. همان طور که قبلاً ذکر شد یک نوع بیوجار در همه خاکها رفتار یکسان نشان نمی دهد. شاید بتوان این افزایش در فراهمی فسفر پس از چهار ماه را به ماهیت کند تجزیه پذیر بیوجار مرتبط دانست. این نتیجه نشان می دهد که بیوجار بعد از استفاده در این نوع خاکها منبع فسفر عمل می کند (Parvage *et al.*, 2013). هر چند، آزادسازی فسفر از بیوجار سابقاً به واسطه واجذب مقدار قابل توجه فسفر از بیوجار در آزمایش های جذب فسفر در سطح صفر فسفر اثبات شده است (Morales *et al.*, 2013) و Ch'ng

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل بافت در تیمار در زمان بر فسفر قابل جذب خاک در طول دوره انکوبه کردن. حروف متفاوت نشان دهنده تفاوت معنادار آماری ($P < 0.01$) است. B1 و B2 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوجار، SMC1 و SMC2 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، و SL شاهد، لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

تیمار					زمان	بافت
C	SMC1	SMC2	B1	B2		
gh ^{۲۰/۳}	cdef ^{۲۷/۴}	ab ^{۳۶/۰}	gh ^{۲۰/۳}	gh ^{۲۱/۲}	T ₁	SL
gh ^{۲۰/۷}	cd ^{۲۸/۸}	a ^{۳۸/۹}	hij ^{۱۷/۹}	hij ^{۱۷/۹}	T ₂	
hijk ^{۱۷/۴}	bc ^{۳۱/۴}	ab ^{۳۶/۱}	ghi ^{۱۹/۳}	hijk ^{۱۶/۶}	T ₃	
mno ^{۸/۱}	ghij ^{۱۸/۱}	cde ^{۲۷/۵}	lmn ^{۱۰/۵}	mno ^{۷/۹}	T ₁	L
lmn ^{۱۰/۴}	hij ^{۱۷/۹}	bc ^{۳۱/۷}	mno ^{۸/۱}	klm ^{۱۲/۴}	T ₂	
mno ^{۷/۸}	hijk ^{۱۷/۵}	cdef ^{۲۷/۴}	jkl ^{۱۳/۸}	hijk ^{۱۶/۹}	T ₃	
^۰ ۳/۸	gh ^{۲۰/۷}	fgh ^{۲۱/۹}	^۰ ۴/۶	^۰ ۳/۶	T ₁	CL
^۰ ۳/۸	ijkl ^{۱۴/۱}	defg ^{۲۳/۵}	no ^{۶/۳}	mno ^{۷/۸}	T ₂	
^۰ ۴/۱	jkl ^{۱۳/۸}	efgh ^{۲۲/۱}	^۰ ۴/۳	^۰ ۴/۴	T ₃	

اثر تیمارها بر pH

خاک در مقایسه با شاهد به طور معناداری افزایش یافت. آن‌ها علت افزایش pH خاک را تبادل سریع پروتون (H^+) بین خاک و اصلاح‌کننده‌های آلی بیان کردند.

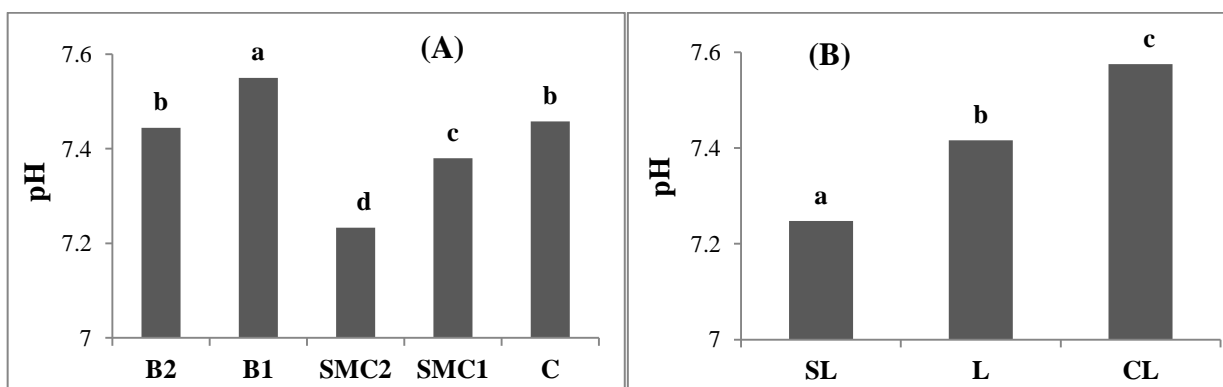
میانگین مقدار pH در خاک‌ها (شکل B۳) نیز تفاوت قابل توجهی داشت. بعد از اعمال تیمارها، میانگین pH در طول دوره انکوبه کردن در بافت لوم شنی، لوم و لوم رسی به ترتیب ۷/۲۵، ۷/۴۲ و ۷/۵۸ بود که از نظر آماری تفاوت معنادار ($P < 0.01$) داشت. خاک لوم رسی نسبت به دو خاک دیگر دارای ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد رس و آهک بالاتری (جدول ۱) است که سبب افزایش ظرفیت بافری خاک و در نتیجه واکنش آن در برابر تغییر pH می‌شود. بنابراین، طبیعی به نظر می‌رسد که در شرایط مطالعه حاضر مقدار pH در آن بیش از سایر خاک‌هاست. در خاک لوم شنی از آنجا که مقدار پارامترهای مذکور دارای کمترین مقدار نسبت به دو خاک دیگر بود (جدول ۱)، احتمالاً ظرفیت بافری کمتر بوده است و در نتیجه سبب شده که در آن کمترین مقدار pH مشاهده شود.

با توجه به جدول ۶ در هر سه بافت pH همه تیمارها در زمان اول (چهارده روز بعد از اعمال تیمارها) کمترین مقدار بود، و بعد از دو ماه انکوبه کردن به بالاترین مقدار افزایش یافت. در نهایت، بعد از چهار ماه روند کاهشی نشان داد. این تغییرات ممکن است به علت تغییر در فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک اتفاق افتاده باشد. در هر سه بافت در تیمارهای مختلف pH زمان اول با زمان دوم، همچنین pH زمان دوم نسبت به زمان سوم تفاوت معنادار نشان داد، ولی بین مقدار pH

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که همه آثار اصلی و متقابل بر pH خاک معنادار است ($P < 0.01$ و $P < 0.05$; جدول ۴). همان‌گونه که شکل A۳ نشان می‌دهد، اثر اصلی نوع و میزان کاربرد ماده آلی اضافه شده به خاک‌ها تأثیر متفاوتی بر pH خاک در طول دوره انکوبه کردن داشت. هر دو سطح کمپوست قارچ به‌طور شایان توجهی سبب کاهش pH خاک شد، در صورتی که pH در تیمار B2 افزایش معنادار نشان داد ($P < 0.01$) و تیمار B1 تغییری در pH ایجاد نکرد (شکل A۳). با توجه به (جدول ۲) pH در مواد اولیه کمپوست قارچ و بیوجار کاملاً متفاوت است. Mkhabela (1998) بیان داشت که تغییر pH خاک بستگی به pH اولیه خاک، pH کمپوست و مقدار کاربرد کمپوست دارد. کاربرد کمپوست در خاک‌های کمی قلیایی اغلب سبب کاهش یا عدم تغییر در pH شد (McComell, 1993). Dey and Banik (1982) نیز گزارش کردند که کمپوست حاصل از ضایعات بستر قارچ باعث افزایش اسیدیته خاک‌های آهکی شده است. با این حال برخی مطالعات (Vahabi Mashak et al., 2008) با کاربرد کمپوست قارچ در خاک آهکی افزایش در pH را گزارش کردند. افزایش قابل توجه در pH بعد از کاربرد بیوجار ممکن است با معدنی شدن کربن و تولید آنیون OH^- از طریق تبادل لیگاندی و تولید میزان زیادی کاتیون‌های بازی همانند کلسیم و منیزیم مرتبط باشد (Iyamuremye et al., 1996). Ch'ng و همکاران (2014) نیز با بررسی اثر بیوجار، کمپوست و ترکیب آن‌ها بر بهبود فراهمی فسفر در خاک اسیدی اظهار داشتند که pH

معناداری بود (جدول ۶). در هر زمان اندازه‌گیری در هر سه خاک، در هر دو سطح کمپوست قارچ کمترین pH در مقایسه با شاهد مشاهده شد که دلیل آن یکی pH اسیدی کمپوست قارچ مورد استفاده و دیگری احتمالاً تحریک فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن افزایش تولید CO₂ و کاهش pH است. این نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت کمپوست قارچ در کاهش pH خاک‌های آهکی و به دنبال آن بهبود فراهمی عناصر کم‌حرکی از قبیل فسفر در این خاک‌هاست.

اندازه‌گیری شده در زمان اول و سوم در خاک لوم شنی در همه تیمارها (به جز تیمار B1) تفاوت معنادار وجود نداشت. این مسئله احتمالاً با ظرفیت بافری بالاتر دو خاک لوم و لوم رسی نسبت به خاک لوم شنی مرتبط است، به طوری که در زمان سوم در خاک لوم شنی pH به قدری کاهش نشان داد که در همه تیمارها (به جز تیمار B1) با زمان اول تفاوت معناداری نداشت، ولی در دو خاک لوم و لوم رسی pH زمان سوم در همه تیمارها نسبت به زمان اول بیشتر است و از نظر آماری نیز تفاوت



شکل ۳. اثر اصلی تیمار (A) و بافت (B) بر pH خاک در طول دوره انکوبه کردن. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنادار آماری (P < 0.05) است. B2 و B1 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوجار، SMC2 و SMC1 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر متقابل بافت در تیمار در زمان بر pH خاک در طول دوره انکوبه کردن. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنادار آماری (P < 0.05) است. B2 و B1 به ترتیب ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوجار، SMC2 و SMC1 به ترتیب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست قارچ، C شاهد، SL لوم شنی، L لوم و CL لوم رسی

تیمار					زمان	بافت
C	SMC1	SMC2	B1	B2		
mno $\sqrt{0.9}$	nop $\sqrt{0.6}$	q $\sqrt{0.89}$	nopq $\sqrt{0.1}$	nop $\sqrt{0.6}$	T ₁	
gh $\sqrt{0.62}$	gh $\sqrt{0.63}$	jkl $\sqrt{0.31}$	def $\sqrt{0.85}$	gh $\sqrt{0.67}$	T ₂	SL
nop $\sqrt{0.8}$	nopq $\sqrt{0.4}$	opq $\sqrt{0.93}$	jk $\sqrt{0.35}$	mno $\sqrt{0.8}$	T ₃	
nopq $\sqrt{0.4}$	opq $\sqrt{0.94}$	pq $\sqrt{0.92}$	nop $\sqrt{0.8}$	nopq $\sqrt{0.1}$	T ₁	
cde $\sqrt{0.91}$	fgh $\sqrt{0.7}$	gh $\sqrt{0.66}$	ab $\sqrt{0.15}$	cd $\sqrt{0.98}$	T ₂	L
jk $\sqrt{0.37}$	jk $\sqrt{0.35}$	klm $\sqrt{0.24}$	ij $\sqrt{0.46}$	jk $\sqrt{0.37}$	T ₃	
lmn $\sqrt{0.15}$	mn $\sqrt{0.12}$	opq $\sqrt{0.96}$	nopq $\sqrt{0.3}$	nop $\sqrt{0.7}$	T ₁	
bc $\sqrt{0.6}$	bcd $\sqrt{0.8}$	def $\sqrt{0.84}$	a $\sqrt{0.24}$	bc $\sqrt{0.2}$	T ₂	CL
efg $\sqrt{0.76}$	hi $\sqrt{0.56}$	jkl $\sqrt{0.31}$	efg $\sqrt{0.76}$	fgh $\sqrt{0.71}$	T ₃	

خاک با مواد مادری مختلف و اندازه‌گیری pH در فواصل زمانی سی و شصت روز پس از انکوبه کردن مشاهده کردند که pH همه تیمارها در هر سه خاک در شصت روز نسبت به زمان سی روز به طور معناداری افزایش یافته بود.

برعکس، در اکثر زمان‌ها بیشترین مقدار pH در دو سطح بیوجار اندازه‌گیری شد (جدول ۶). در تأیید نتایج مطالعه حاضر تا زمان دوم (شصت روز بعد از انکوبه کردن)، Yu و همکاران (2013) با کاربرد کمپوست کود مرغی و کود آلی تجاری در سه

نتیجه‌گیری

حلالیت کم در این خاک‌ها (مثل آهن، روی، مس و منگنز) نیز منجر شود. کاربرد سطح بالای SMC بیشترین تأثیر را بر فراهمی فسفر و کاهش pH خاک‌ها داشت و در طول چهار ماه انکوبه‌کردن این تغییر در فراهمی فسفر پایدار بود. این نشان می‌دهد که SMC در طول دوره رشد فسفر را در خاک برای گیاه در دسترس نگه می‌دارد. بیوپچار تنها در خاک لوم در زمان سوم سبب افزایش معنادار فسفر قابل جذب در مقایسه با شاهد شد. احتمالاً به علت ماهیت کند تجزیه‌پذیر بیوپچار است که این تأثیر در سایر خاک‌ها یا زمان‌ها مشاهده نشد.

در مطالعه حاضر بسته به بافت خاک نتایج متفاوت بود. استفاده از کمپوست قارچ مصرفی در خاک لوم بهترین اثر را در افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی داشت، درحالی‌که بیوپچار در خاک لوم رسی مؤثرتر از سایر بافت‌ها عمل کرد. کاربرد بیوپچار در خاک لوم شنی احتمالاً به دلیل غلظت بالای فسفر در دسترس موجود در خاک، تأثیر معناداری بر فعالیت فسفاتاز قلیایی در مقایسه با شاهد نداشت. داده‌های مطالعه انجام‌شده نشان داد که استفاده از SMC در خاک‌های آهکی علاوه بر فراهمی فسفر، با کاهش pH احتمالاً به افزایش فراهمی سایر عناصر ضروری با

REFERENCES

- Akça, M. O., and Namli, A. (2015). Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 203-210.
- Barahimi, N., Afyuni, M., Karami, M., and Rezaee Nejad, Y. (2009). Cumulative and residual effects of organic amendments on nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in soil and wheat. *journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 12(46), 803-812. (In Farsi)
- Badanur, V. P., Poleshi, C. M., and Naik, B. K. (1990). Effect of organic matter on crop yield and physical and chemical properties of a vertisol. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 38(3), 426-429.
- Balota, E. L., Kanashiro, M., Colozzi Filho, A., Andrade, D. S., and Dick, R. P. (2004). Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35(4), 300-306.
- Banik, S., and Dey, B.K. (1982). Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil*, 69(3), 353-364.
- Cabilovski, R., Manojlovic, M., Bogdanovic, D., Magazin, N., Keserovic, Z., and Sitaula, B. K. (2014). Mulch type and application of manure and composts in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) production: impact on soil fertility and yield. *Zemdirbystė (Agriculture)*, 101(1), 67-74.
- Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. In Black, C.A., Evans, D.D., White, L.J., Ensminger, L.E., and Clark, F.E. (eds.), *Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI*, pp. 891-901.
- Ch'ng, H. Y., Ahmed, O. H., and Majid, N. M. A. (2014). Improving phosphorus availability in an acid soil using organic amendments produced from agroindustrial wastes. *The Scientific World Journal*. Published 16 June 2014. from <http://dx.doi.org/10.1155/2014/506356>
- Dawson, M., Dixon, T., Inkerman, P. (1990). Moisture loss from baled bagasse during storage. *Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists*, pp. 199-206.
- Dick, W. A., Tabatabai, M. A., and Metting Jr, F. B. (1992). Significance and potential uses of soil enzymes. *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*, pp. 95-127.
- Dinesh, R., Ganeshamurthy, A.N., Chaudhuri, S.G., Prasad, G.S. (2003). Dissolution of rock phosphate as influenced by farmyard manure, fresh poultry manure and earthworms in soils of an oilpalm plantation. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 51: 308-312.
- Emmerling C, Embacher A, Haubold-Rosar Mand Schröder D. (1996). Initiierung und forderung der mikrobiellen Biomasse und mikrobieller Aktivitäten in jungen Kippsubstraten durch organische Reststoffe. *VDLUFA-Schriftenr.* 44, 579-582.
- Gagnon, B., Simard, R.R. (1999). Nitrogen and phosphorus release from on farm and industrial composts. *Canadian Journal of Soil Science*. 79, 481-489.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W. (1986). Particle- size analysis. In Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 383-411.
- Gburek, WJ., Barberis, E., Haygarth, PM., Kronvang, B., and Stamm, C. (2005). Phosphorus mobility in the landscape. In: Sims JT, Sharpley AN (eds) *Phosphorus: agriculture and the environment. Soil Science Society of America, Madison, WI*, PP. 947-953.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review', *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.
- Giusquiani, P. L., Marucchini, C., and Businelli, M. (1988). Chemical properties of soils amended

- with compost of urban waste. *Plant and Soil*, 109(1): 73-78.
- Hunt, J. F., Ohno, T., He, Z., Honeycutt, C. W., and Dail, D. B. (2007). Inhibition of phosphorus sorption to goethite, gibbsite, and kaolin by fresh and decomposed organic matter. *Biology and fertility of soils*, 44(2), 277-288.
- Hue, N. V. (1991). Effects of organic acids/anions on P sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies. *Soil Science*, 152(6), 463-471.
- Food and Agriculture Organisation, (2012). FAOSTAT database. <http://www.fao>. 2012 Available from.
- Iyamuremye, F., and Dick, R.P. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption. *Advance Agronomy*, 56: 139-185.
- Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., and Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 101(22), 8868-8872.
- IUSS, W. (2014). World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*, (106).
- Kalembasa, S., and Symanowicz, B. (2012). Enzymatic activity of soil after applying various waste organic materials, ash, and mineral fertilizers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(6), 1635-1641.
- Karami, M., Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khosh Gofarmanesh, A. (2009). Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Zinc and Copper Concentration in Soil and Wheat. *journal of science and technology of agriculture and natural resources*, 12(46), 639-654. (In Farsi)
- Kiss, S., Stefanic, G., Dragan-Bularda, M. (1974). Soil enzymology in Romania. II. *journal of Contributii Botanice (Botanical Contributions)*, pp. 197-207.
- Kızılkaya, R., Aşkın, T., Bayraklı, B., and Sağlam, M. (2004). Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*. 40: 95-102.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In D. L. Sparks (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 869-919.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., and Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Liang, Y., Yang, Y., Yang, C., Shen, Q., Zhou, J., and Yang, L. (2003). Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. *Geoderma*, 115(1), 149-160.
- Martens, D.A., Johanson, J.B., Frankenbenger, W.T. (1992). Production and persistence of soil enzymes with repeated additions of organic residues. *Soil Science*, 153: 53-61.
- Ma, L., and Xu, R. K. (2010). Effects of regulation of pH and application of organic material adsorption and desorption of phosphorus in three types of acid soils. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 26, 596-599.
- McConneU, D.B., Shiraiipour, A and Smith, W.H. (1993). Compost application improves soil properties. *Biocycle*. 34: 61-63.
- Mkhabela, M. S. (1998). Effects of municipal solid waste compost on soil phosphorus availability and uptake by potatoes and sweet Corn. *Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, Canada*.
- MoralesMM, Comerford N, Guerrini IA, Falcao NPS, Reeves JB. (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar-soil mixtures. *Soil Use Management*, 29: 306-314.
- Nannipieri, P., Giagnoni, L., Renella, G., Puglisi, E., Ceccanti, B., Masciandaro, G., Fornasier, F., Moscatelli, MC., and Marinari, S. (2012). Soil enzymology: classical and molecular approaches. *Biology and fertility of soils*. 48:743-762.
- Nelson, D.W., and Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd Edition Agronomy. Monographs. 9. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 539-579.
- Olsen, S.R., and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and microbiological Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 403-430.
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In : Page A.L., Miller R.H. , Keeney D.R. (eds), *Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*. pp. 181-197.
- Parvage MM, Ulén B, Eriksson J, Stroock J, Kirchmann H (2013) Phosphorus availability in soils amended with wheat residue char. *Biology and fertility of soils*. 49: 245-250.
- Sujana, I. P., Lanya, I., Subadiyasa, I. N. N., and Suarna, I. W. (2014). The effect of dose biochar and organic matters on soil characteristic and corn plants growth on the land degraded by garment liquid waste. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(5), 77-88.
- Tabatabai, M. A., and Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil biology and biochemistry*, 1(4), 301-307.
- Tabatabai, M. A. (1994). Soil enzymes. In: Weaver RW, Angle JS, Bottomley PS (eds) *Methods of soil analysis. Part 2 – Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, US*, pp. 775-833.
- Tabatabai , M. A. (1982). Soil enzymes, in: *Methods of Soil Analysis, part 2, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA*, pp. 903-947.

- Tarafdar, J. C. (1995). Visual demonstration of in vivo acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi. *Current Science*, 69(6), 541-543.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L., and Hernandez, M.T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 1413-1421.
- 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, (AHEAD)*. pp. 23-31.
- Vahabi Mashak, F., Mirseyed Hosseini, H., Shorafa, M., and Hatami, S. (2008). Investigation of the effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of soil and leachate. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 395-406. (In Farsi)
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., and Chan, K. Y. (2010). A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. *Soil Research*, 48(7), 569-576.
- Williams, B. C., McMullan, J. T., and McCahey, S. (2001). An initial assessment of spent mushroom compost as a potential energy feedstock. *Bioresource Technology*, 79(3), 227-230.
- Zhai, L., Cai Ji, Z., Liu, J., Wang, H., Ren, T., Gai, X., ... and Liu, H. (2015). Short-term effects of maize residue biochar on phosphorus availability in two soils with different phosphorus sorption capacities. *Biology and Fertility of Soils*, 51(1), 113-122.