

## اثر بیوجار تهیه شده از کود مرغی بر فراهمی زیستی و بازیابی فسفر در یک خاک آهکی

مختار زلفی باوریانی<sup>۱\*</sup>، عبدالمجید رونقی<sup>۲</sup>، نجفعلی کریمیان<sup>۲</sup>، رضا قاسمی<sup>۲</sup> و جعفر یثربی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۶/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۲)

### چکیده

این آزمایش به منظور بررسی اثر کود مرغی و بیوجارهای تهیه شده از آن بر روند فراهمی زیستی و بازیابی فسفر در یک خاک آهکی اجرا شد. تیمارها ترکیبی از چهار سطح فسفر (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکروگرم در گرم خاک) و پنج سطح ماده آلی (شاهد، کود مرغی و بیوجارهای تهیه شده از آن در دمای ۲۰۰، ۳۰۰ یا ۴۰۰ درجه سلسیوس) بود. مواد آلی به میزان ۲٪ وزنی با ۴۰۰ گرم خاک مخلوط و به مدت ۱۵۰ روز خوابانده شد. فراهمی زیستی فسفر در خاک در ۸ مرحله مختلف از دوره خواباندن اندازه‌گیری شد. فراهمی فسفر در خاک‌های تیمار نشده با ماده آلی کمتر بود و با گذشت زمان نیز کاهش یافت. بازیابی فسفر از کود فسفوری در ابتدای دوره خواباندن بیشتر از منابع ماده آلی بود اما با گذشت زمان به شدت کاهش یافت. در خاک‌های تیمار شده با منابع مختلف مواد آلی با گذشت زمان فراهمی زیستی فسفر و بازیابی آن افزایش یافت. کاربرد فسفر به همراه مواد آلی میزان بازیابی فسفر را کاهش داد. به‌طور کلی سطوح بالای فسفر و منابع ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک اثر منفی نشان داد. بیوجار ۳۰۰ بیشترین تأثیر را بر تعدیل فراهمی فسفر در خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: فسفر، کود مرغی، بیوجار، خاک آهکی

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

بوشهر، ایران

۲. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.zolfi@areeo.ac.ir

## مقدمه

در اتمسفر که خطرات گرم شدن کره زمین را در پی دارد کاهش می‌دهد. علاوه بر این بیوپچار به‌عنوان یک ماده افزودنی مؤثر در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گزارش شده است (۳۱). دامنه وسیع ویژگی‌های بیوپچار حاصل از یک نوع ماده آلی بر اثر اعمال شرایط متفاوت تولید، امکان بهره‌گیری از فوائد این مواد را در شرایط مختلف اقلیم و خاک فراهم نموده است (۱۰). بنابراین با توجه به هدف تولید، نوع ماده آلی اولیه و نیز ویژگی‌های خاک محل مصرف بیوپچار، دماهای متفاوتی جهت تولید آن به‌کار می‌رود (۱۱). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوپچار نه تنها در کنترل برهمکنش بیوشیمیایی آنها در محیط خاک بلکه در تعیین اثرات زراعی و محیطی آنها بسیار مؤثر است. این ویژگی‌ها همچنین در توانایی خارق‌العاده بیوپچار در جذب سطحی مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی بسیار مؤثر است (۱۶). گزارش‌های زیادی در خصوص تأثیر بیوپچار تهیه شده از منابع مختلف زیست توده تحت شرایط متفاوت تولید بر ویژگی‌های شیمیایی و جنبه‌های حاصلخیزی خاک وجود دارد (۱۸ و ۳۱). تأثیر بیوپچار بر فراهمی زیستی فسفر در خاک با توجه به منبع اولیه زیست توده، شرایط تهیه بیوپچار و نیز ویژگی‌های خاک محل مصرف بیوپچار متفاوت گزارش شده است (۷، ۱۷ و ۳۴). تحقیقات انجام شده بر روی بیوپچار عمدتاً در خاک‌های اسیدی بوده و در خاک‌های آهکی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. میزان مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک نظیر مناطق جنوبی ایران پایین بوده و برای بهره‌گیری از فوائد آن مقادیر هنگفتی از منابع مختلف مواد آلی در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود. اثر بیشتر کود مرغی بر فراهمی زیستی فسفر نسبت به سایر کودهای دامی (۱۲) از یک سوی و تفاوت در ویژگی‌های بیوپچار تهیه شده از آن در شرایط متفاوت از سوی دیگر لزوم بررسی اثر بیوپچار حاصل از کود مرغی در دمای متفاوت بر فراهمی زیستی فسفر در خاک و بازیابی آن و به‌خصوص ماندگاری این ویژگی‌ها را ضروری می‌نماید. این آزمایش نیز به همین منظور بر روی یک نمونه خاک آهکی اجرا شد.

از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک‌های آهکی پایین بودن فراهمی زیستی برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر است که عمدتاً ناشی از pH نسبتاً بالای این خاک‌ها می‌باشد (۱۲). به همین دلیل سالیانه مقادیر زیادی کودهای شیمیایی حاوی فسفر در این خاک‌ها مصرف می‌شود که علاوه بر افزایش هزینه تولید، عدم تعادل بین عناصر غذایی و مشکلات زیست محیطی را ممکن است ایجاد کند. بخش اعظم فسفر مصرفی جذب ذرات جامد خاک شده و به‌عنوان فسفر باقی‌مانده در این فاز نگهداری می‌شود (۴). عواملی نظیر pH، کربنات کلسیم، بافت و مقدار ماده آلی خاک (۱۲) بر حفظ فراهمی فسفر باقیمانده از قبل و میزان بازیابی آن مؤثر است. مواد آلی وضعیت عناصر غذایی در خاک را به دلیل جذب سطحی و واکنش‌های کمپلکسی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵). افزایش فراهمی فسفر در اثر کاربرد مواد آلی به‌همراه کودهای شیمیایی در خاک‌های مختلف گزارش شده است (۹ و ۳۰). استفاده دراز مدت از مواد آلی باعث نگهداری فسفر با پیوندهای کم انرژی‌تر شده و فراهمی آن را در پروفیل خاک افزایش می‌دهد (۳۳). همچنین مواد آلی می‌تواند به‌صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به‌عنوان پیوند دهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نماید که در تمامی این حالات قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش یافته و آزاد سازی تدریجی فسفر در محلول خاک وجود خواهد داشت (۲۳). جلوگیری از تشکیل رسوب هیدروکسی آپاتیت در اثر اشغال سطوح کربنات کلسیم توسط مواد آلی و اسیدهای حاصل از تجزیه آن نیز گزارش شده است (۱۳).

بیوپچار به‌عنوان یکی از منابع ماده آلی در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده و حاصل حرارت دادن زیست توده در شرایط عدم وجود اکسیژن می‌باشد (۱۹). ماندگاری بیوپچار در خاک بسته به شرایط تولید، صدها سال برآورد شده است (۸). این امر خروج دی‌اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای از خاک را کاهش داده و افزایش روند تجمعی غلظت این گازها

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	pH	EC <sub>e</sub> dS m <sup>-1</sup>	CEC cmolkg <sup>-1</sup>	CCE %	O.C	P <sub>ava</sub> μg g <sup>-1</sup>	بافت
۰-۳۰	۷/۹	۳/۹	۸	۵۸	۰/۴۳	۶/۶	لومی شنی

## مواد و روش‌ها

برای اجرای این آزمایش، مقدار ۲۰ کیلوگرم خاک از افق سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری شد. خاک هوا خشک پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری برخی از ویژگی‌های آن تعیین شد (جدول ۱). از کوره الکتریکی ( Heraeus مدل K-۱۲۵۲) به منظور تهیه بیوجار استفاده شد. بیوجار به‌طور جداگانه در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس و با زمان ماندگاری ۴ ساعت در شرایط عدم وجود اکسیژن آزاد از کود مرغی (PM) تهیه شد. در ادامه این نگارش از بیوجار تولیدی در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب تحت عنوان بیوجار ۲۰۰ (B۲۰۰)، بیوجار ۳۰۰ (B۳۰۰) و بیوجار ۴۰۰ (B۴۰۰) ذکر می‌شود. برخی ویژگی‌های بیوجارها از جمله قابلیت هدایت الکتریکی و pH در نسبت ۱:۵ نمونه به آب (۲۵) و مقدار کل عناصر نیز به روش هضم در اسید (۳۵) تعیین شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول فسفر (P) در چهار سطح (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) و فاکتور دوم منابع ماده آلی (M) نیز در پنج سطح (بدون ماده آلی، کود مرغی و بیوجارهای تهیه شده از آن در دماهای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) به‌عنوان فاکتورهای آزمایش بودند. کود مرغی و سه نوع بیوجار تهیه شده از آن به‌طور جداگانه به میزان دو درصد وزنی با نمونه‌های ۴۰۰ گرمی خاک مورد نظر به‌طور کامل مخلوط شد. تیمارهای مذکور به‌مدت ۵ ماه در شرایط حدود رطوبت مزرعه و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس خوابانده شد. از تمامی تیمارها در زمان‌های یک، ۵، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ روز از شروع خوابانیدن نمونه‌برداری و فراهمی زیستی فسفر در آن اندازه‌گیری شد.

پاسخ‌های مورد بررسی شامل فسفر قابل استخراج از خاک (۲۱)، درصد بازیابی فسفر قابل استفاده از منابع معدنی و یا آلی آن و نیز برهمکنش فسفر کاربردی و منابع مختلف مواد آلی بر فراهمی فسفر در خاک بود. در هرکدام از مراحل نمونه‌برداری، درصد بازیابی فسفر مصرفی در هرکدام از تیمارها با استفاده از معادله یک محاسبه شد:

$$P_f = [(p_a - P_o) / P_f]^* 100 \quad (1)$$

در این معادله: P<sub>f</sub> نشان دهنده درصد بازیابی فسفر مصرفی از منابع آلی (در تیمارهای مصرف ماده آلی به تنهایی) یا معدنی (در تیمارهای مصرف فسفر به تنهایی) و یا مجموع آنها (در تیمارهای مصرف توأم فسفر معدنی و ماده آلی) است. P<sub>a</sub> نشان دهنده فراهمی فسفر در خاک در تیمارهای مصرف فسفر از منابع آلی یا معدنی و یا هر دو و P<sub>o</sub> نشان دهنده فراهمی فسفر در خاک در تیمار شاهد است (هر دو برحسب میکروگرم در گرم خاک). P<sub>i</sub> نیز نشان دهنده مقدار فسفر مصرفی از منبع معدنی یا آلی و یا مجموع آنها (برحسب میکروگرم در گرم خاک) بوده و با توجه به مقدار کود فسفر و یا منابع مواد آلی مصرفی و درصد فسفر موجود در آنها محاسبه شد.

تغییر در قابلیت استفاده فسفر در خاک در تیمارهای مصرف کود فسفوری یا ماده آلی به تنهایی صرفاً ناشی از مواد مذکور می‌باشد. اما در تیمارهای مصرف توأم کود فسفوری و ماده آلی این تغییر ناشی از اثرات متقابل آنها نیز خواهد بود. مثبت و یا منفی بودن اثرات متقابل این دو فاکتور به‌ترتیب نشان دهنده تأثیر ماده آلی در افزایش یا کاهش فراهمی فسفر مصرفی است. سهم نسبی فسفر مصرفی و منابع مختلف مواد آلی و نیز اثرات متقابل آنها در فراهمی فسفر در خاک با استفاده از معادلات ۲، ۳ و ۴ به‌صورت درصد محاسبه شد (۳).

جدول ۲. برخی ویژگی‌های کود مرغی و بیوچارهای تهیه شده از آن در دمای متفاوت

ویژگی	منابع ماده آلی		
	بیوچار ۴۰۰	بیوچار ۳۰۰	بیوچار ۲۰۰
pH	۹/۹۸	۷/۳۰	۷/۲۰
قابلیت هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	۱۵/۲۷	۸/۹۶	۸/۵۹
فسفر کل (%)	۱/۷۱۶	۱/۲۵۹	۱/۰۴۴

فسفر به تنهایی هر چند با افزایش فراهمی زیستی فسفر در خاک همراه بود اما با گذشت زمان مقدار آن به صورت لگاریتمی کاهش یافت (شکل ۱). شدت کاهش در سطوح بالای فسفر و در اوایل دوره خواباندن بیشتر بود. تأثیر مستقیم فسفر مصرفی بر افزایش فراهمی فسفر در خاک در اوایل دوره خواباندن را می‌توان به حلالیت زیاد فسفر معدنی نسبت داد (۱). کاهش در فراهمی فسفر در خاک با گذشت زمان را می‌توان به آهکی بودن خاک محل اجرای آزمایش و تبدیل فسفر قابل استفاده به ترکیبات کم محلول آن مانند دی کلسیم فسفات، اکتا کلسیم فسفات، تری کلسیم فسفات و نهایتاً آپاتیت نسبت داد (۲).

کاربرد کود مرغی و یا بیوچارهای تهیه شده از آن سبب افزایش فراهمی زیستی فسفر در خاک نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای مصرف فسفر به تنهایی شد. در ابتدای خواباندن بیوچارهای تهیه شده در دمای بالاتر به دلیل غنی تر بودن تأثیر بیشتری بر افزایش فراهمی زیستی فسفر در خاک داشت. میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر آنها بستگی دارد (۲۴). عموماً بیوچارهای تولیدی از فضولات حیوانی دارای محتوای فسفر زیادی هستند (۶). افزایش حلالیت فسفر موجود در ساختار زیست توده در اثر افزایش حرارت در افزایش فراهمی این عنصر در خاک مؤثر است (۲۹). ضمن اینکه افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در اثر افزودن بیوچار به خاک نیز گزارش شده است (۲۸). این امر می‌تواند در افزایش فراهمی فسفر مؤثر باشد.

با گذشت زمان خواباندن تغییرات ایجاد شده در فراهمی فسفر در خاک در تیمارهای مختلف متفاوت بود. در شرایط

$$P = [(p_p - p_o) / (p_{p+m} - p_o)]^{*100} \quad (2)$$

$$M = [(p_m - p_o) / (p_{p+m} - p_o)]^{*100} \quad (3)$$

$$PM = 100 - (p + M) \quad (4)$$

در این معادلات: P و M به ترتیب نشان دهنده سهم نسبی فسفر معدنی و ماده آلی به تنهایی در افزایش فراهمی فسفر در خاک و PM نشاندهنده سهم نسبی اثرات متقابل ماده آلی و فسفر مصرفی در افزایش یا کاهش فراهمی فسفر در خاک می‌باشد (برحسب درصد). همچنین P<sub>p</sub>، P<sub>m</sub>، P<sub>p+m</sub> به ترتیب نشاندهنده فراهمی فسفر در خاک در تیمارهای شاهد، مصرف کود فسفر به تنهایی، مصرف ماده آلی به تنهایی و مصرف توأم فسفر و ماده آلی می‌باشد (برحسب میکروگرم در گرم خاک). برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SPSS و Excell و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

## نتایج و بحث

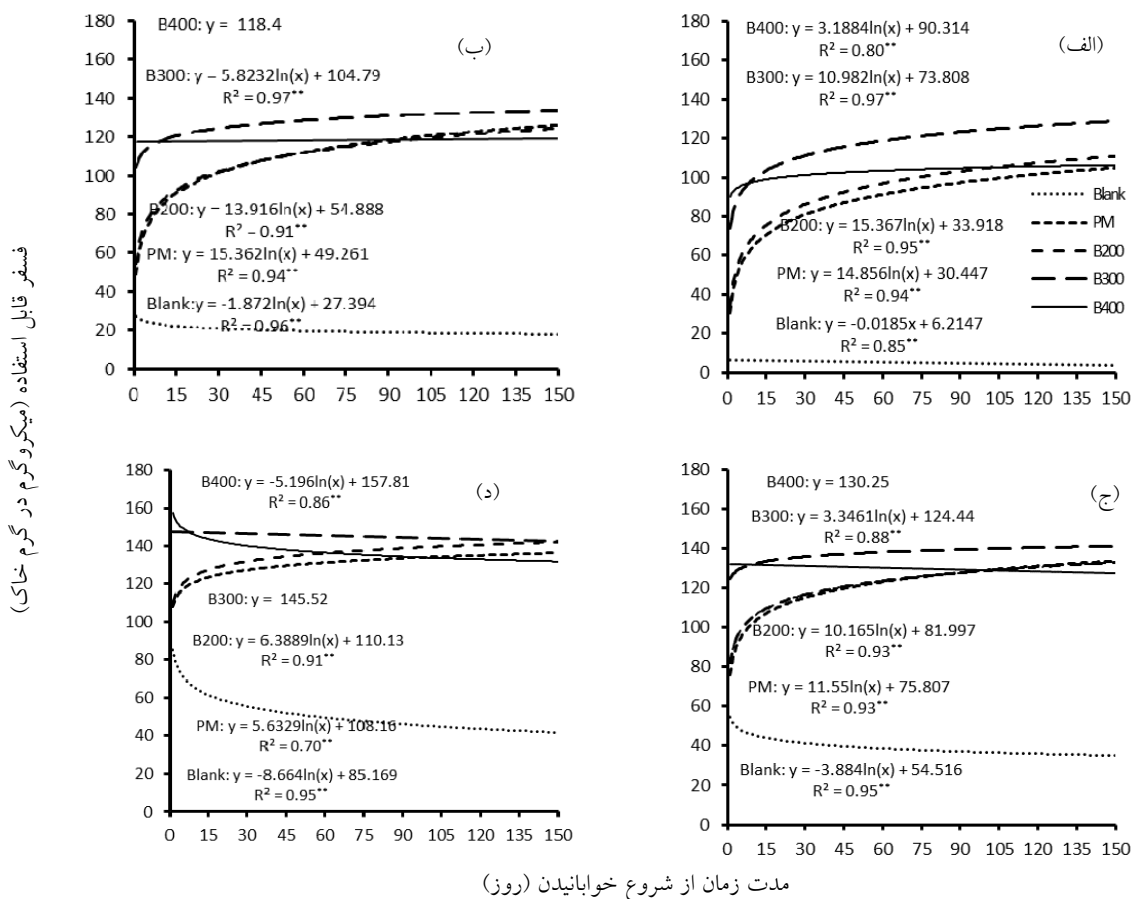
### ویژگی‌های خاک و بیوچارهای مورد مطالعه

pH بالا، مقدار زیاد کربنات کلسیم معادل، پایین بودن فراهمی فسفر و نیز مقدار کم کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی از مهم‌ترین مشخصه‌های خاک مورد مطالعه بود (جدول ۱).

افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و غلظت فسفر در بیوچارهای تولیدی نسبت به زیست توده اولیه و نیز تشدید این روند با افزایش دمای آتشکافت از مهم‌ترین مشخصه‌های کود مرغی و بیوچارهای تهیه شده از آن بود (جدول ۲).

### فراهمی زیستی فسفر در خاک

در تیمار شاهد (Blank) با گذشت زمان فراهمی فسفر در خاک به مقدار جزئی کاهش یافت (شکل ۱-الف). افزایش مصرف

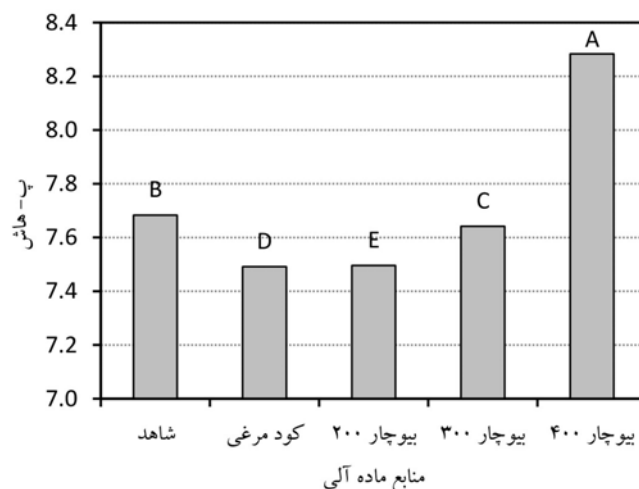


شکل ۱. رابطه بین فسفر قابل استفاده در خاک با زمان نمونه برداری در منابع مختلف مواد آلی، الف) در سطح صفر، ب) ۳۰،

ج) ۶۰ و د) ۹۰ میکروگرم فسفر معدنی در گرم خاک

(۲۲). این ترکیبات با مکانیسم‌های متفاوت می‌توانند در افزایش فراهمی فسفر در خاک مؤثر باشند (۱۲). با گذشت زمان تولید این ترکیبات در اثر تجزیه ماده آلی کاهش یافته و بنابراین تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در طی زمان کاهش می‌یابد (۱). سرعت زیاد تجزیه کود مرغی و بیوجار تهیه شده از آن در دمای پایین (۲۹) رهاسازی سریع‌تر عناصر موجود در ساختار آنها را سبب شده است (۳۲). اثرات متقابل خاک با بیوجارهای تولیدی در حرارت کم بیشتر از بیوجارهای تولیدی در حرارت بالا می‌باشد (۱۴). این نوع بیوجار در خاک فعال‌تر بوده و نسبت به بیوجار تولید شده در دمای بالا تأثیر بیشتری بر بهبود ویژگی‌های حاصلخیزی خاک دارد (۲۷).

مصرف کود مرغی و بیوجار ۲۰۰ (بیوجار تهیه شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس) و در تمامی سطوح فسفر مصرفی، با گذشت زمان فراهمی فسفر در خاک به صورت لگاریتمی افزایش یافت. میزان افزایش در مراحل اولیه خواباندن و به خصوص ۱۵ روز اول شدید بود. همچنین شیب افزایش در شرایط عدم مصرف فسفر شدید و با افزایش مصرف فسفر کاهش یافت. براساس گزارشات موجود آزاد سازی فسفر از مواد آلی به فاز محلول خاک در ابتدا سریع بوده و با گذشت زمان با سرعت کمتری ادامه می‌یابد (۲۰). در مراحل اولیه تجزیه مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌ها ترکیبات آلی محلول مانند قندها و اسیدهای آلی در محلول خاک افزایش می‌یابد



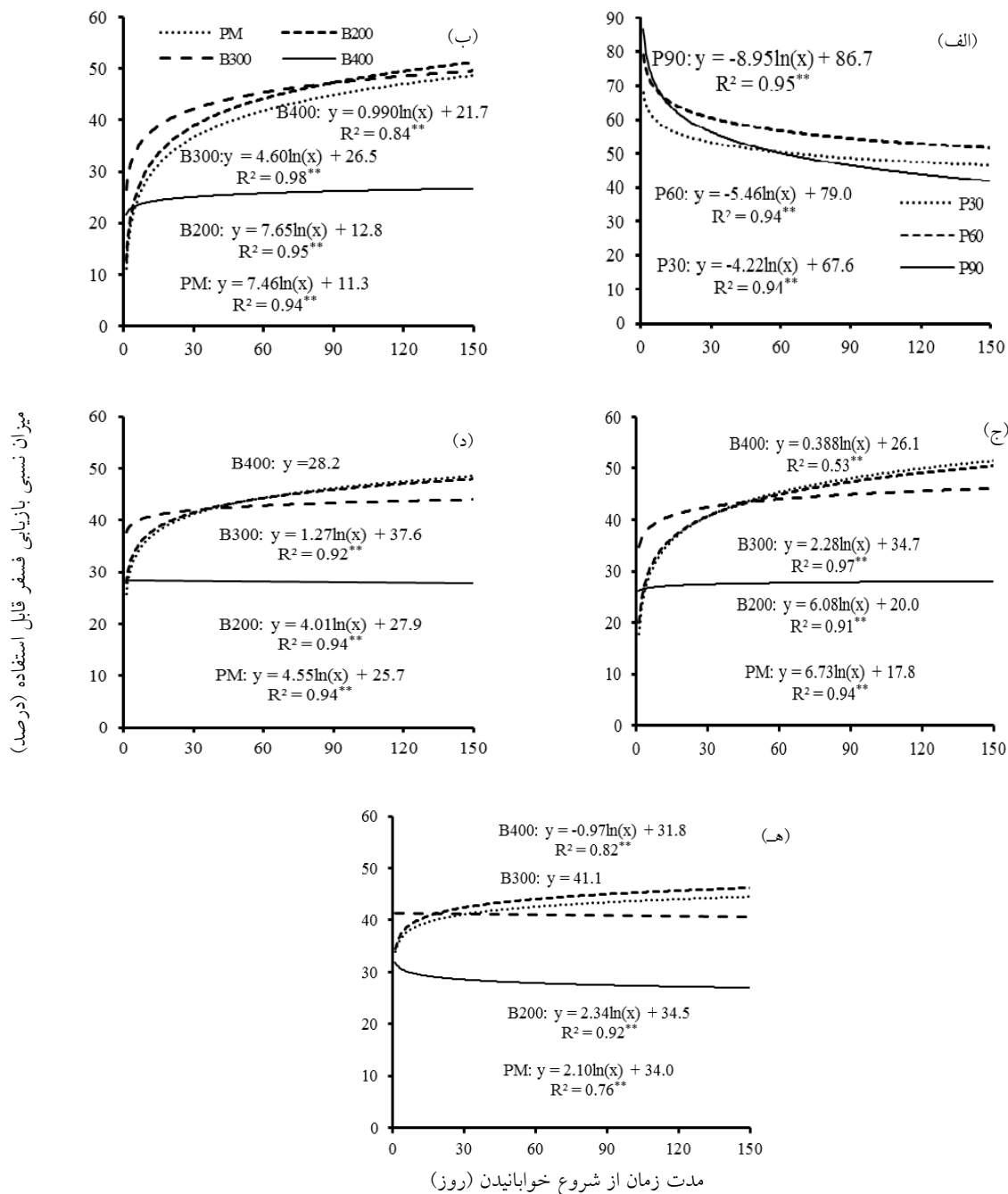
شکل ۲. اثر کاربرد منابع مختلف مواد آلی بر پ-هاش خاک

بیوجار ۴۰۰ (بیوجار تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس) کمتر از سایر منابع ماده آلی بود. به نحوی که در عدم مصرف فسفر تنها تا زمان ۵ روز از شروع خواباندن فراهمی زیستی فسفر در خاک در این تیمار ماده آلی به مقدار جزئی افزایش یافت و از آن زمان به بعد تغییر چندانی در فراهمی فسفر در خاک ایجاد نشد. در سطوح ۳۰ و ۶۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک نیز در طول دوره خواباندن تغییر معنی داری در فراهمی فسفر در خاک تیمار شده با بیوجار ۴۰۰ مشاهده نشد. اما در سطح ۹۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک، فراهمی این عنصر غذایی در خاک به صورت لگاریتمی و با شیب کم کاهش یافت. به نظر می رسد افزایش pH در خاک تیمار شده با بیوجار ۴۰۰ (شکل ۲) در کمتر بودن فراهمی فسفر در آن نسبت به سایر منابع ماده آلی بی تأثیر نباشد. pH زیاد یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در کاهش فراهمی فسفر در خاک می باشد (۱۲). تأثیر غیر مستقیم بیوجار بر خصوصیات شیمیایی خاک می تواند از طریق تغییر pH خاک باشد (۲۶).

#### بازیابی فسفر مصرفی

مقایسه میزان بازیابی فسفر از منابع مختلف معدنی و آلی آن نشان داد که در مراحل اولیه خواباندن میزان بازیافت از منبع معدنی فسفر بیشتر از منابع آلی بود. در حالیکه با گذشت زمان

روند تغییر فراهمی زیستی فسفر در خاک تیمار شده با بیوجار ۳۰۰ (بیوجار تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس) تا حدی مشابه تیمار بیوجار ۲۰۰ و کود مرغی بود. با این تفاوت که شیب افزایش در ابتدای خواباندن کمتر و با افزایش مصرف فسفر نیز کاهش بیشتری مشاهده شد. به نحوی که در شرایط مصرف ۹۰ میلی گرم فسفر در کیلوگرم خاک، با گذشت زمان تغییری در فراهمی فسفر در خاک در این تیمار ماده آلی مشاهده نشد. به طور کلی در تمامی سطوح کاربرد فسفر، افزودن بیوجار ۳۰۰ از زمان ۱۵ روز از شروع خواباندن به بعد بیشترین تأثیر را بر افزایش فراهمی فسفر در خاک نسبت به سایر تیمارها داشت. فراهمی فسفر خاک با سرعت تجزیه میکروبی بقایای آلی خاک تغییر کرده و مقدار و چگونگی این تغییر به مقدار مواد آلی و نوع آن بستگی دارد (۲۴). تأثیر متفاوت ماده آلی افزوده شده به خاک می تواند به دلیل تجزیه آن در طول زمان به وسیله میکروارگانیسمها باشد (۱). با افزایش مقاومت به تجزیه در اثر تبدیل کود مرغی به بیوجار و نیز بیشتر شدن این مقاومت با افزایش دمای آتشکافت (۲۹) انتظار می رود در مراحل اولیه انکوباسیون سرعت رهاسازی فسفر در اثر تجزیه بیوجار کمتر از زیست توده اولیه باشد و با افزایش دمای آتشکافت در تهیه بیوجار کاهش بیشتری را شاهد باشیم. تغییرات فراهمی فسفر در خاک با گذشت زمان در تیمار



شکل ۳. (الف) رابطه بین میزان نسبی بازیابی فسفر (درصد) با زمان نمونه برداری در تیمارهای مصرف فسفر به تنهایی، (ب) منابع مختلف ماده آلی به تنهایی و (به ترتیب ج، د و ه) مصرف توأم منابع مواد آلی و سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک. P۳۰، P۶۰ و P۹۰ به ترتیب نشاندهنده سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک است

بازیافت یا رهاسازی فسفر قابل استفاده از منابع آلی بیش از منبع معدنی آن بود (شکل ۳). در اوایل دوره خواباندن میزان بازیافت فسفر از فسفر معدنی و به ویژه سطوح بالای آن زیاد بود (شکل ۳-الف).

شده با بیوچار ۴۰۰ وجود نداشت (شکل ۳-د). در سطح ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک نیز در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ با گذشت زمان تغییر معنی‌داری در بازیابی فسفر در خاک ایجاد نشد و حتی در خاک تیمار شده با بیوچار ۴۰۰ کاهش در بازیابی فسفر با گذشت زمان مشاهده شد (شکل ۳-ر). لازم به ذکر است که در تیمارهای مصرف توأم فسفر و ماده آلی بازیابی فسفر از مجموع هر دو منبع آلی و معدنی آن محاسبه شده است.

### برهمکنش منابع ماده آلی و فسفر در فراهمی زیستی فسفر در خاک

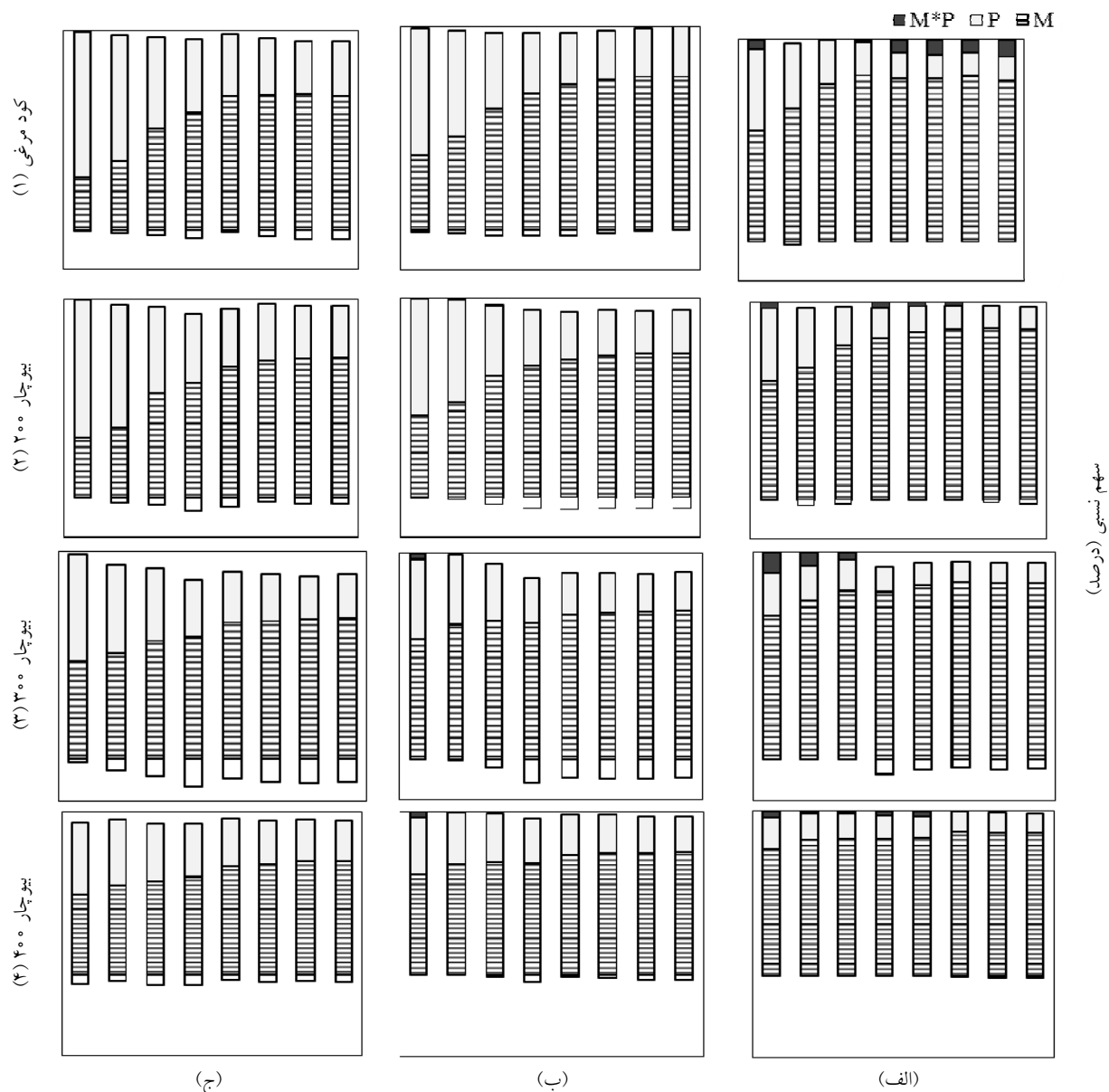
در تیمارهای کاربرد توأم ۳۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک با هرکدام از منابع مواد آلی و در تمامی مراحل نمونه‌برداری، سهم نسبی مواد آلی کاربردی در افزایش فراهمی فسفر در خاک بیش از فسفر معدنی مصرفی بود (شکل ۴-الف). کاربرد سطوح بالاتر فسفر معدنی به‌همراه مواد آلی با افزایش بیشتر سهم نسبی فسفر معدنی در افزایش فراهمی فسفر در خاک همراه بود (شکل ۴-ب و ج). به‌طور کلی در تمامی تیمارهای کاربرد توأم فسفر و منابع مختلف مواد آلی، با گذشت زمان سهم فسفر معدنی در افزایش فراهمی فسفر در خاک کاهش یافت (شکل ۴).

در تیمار کاربرد توأم ۳۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک و کود مرغی و به ویژه از زمان ۳۰ روز از شروع خواباندن به بعد بخشی از افزایش در فراهمی فسفر در خاک ناشی از اثرات متقابل این دو فاکتور بود (شکل ۴-الف ۱). اثرات متقابل این سطح فسفر با بیوچار ۴۰۰ نیز در مراحل اولیه نمونه‌برداری مثبت بود (شکل ۴-الف ۲). اما اثرات متقابل سطح ۳۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک با بیوچار ۳۰۰ ابتدا مثبت و پس از گذشت یک ماه از شروع خواباندن به بعد منفی شد (شکل ۴-الف ۳). اثرات متقابل بیوچار ۲۰۰ و این سطح فسفر چندان شدید نبود و در مراحل مختلف نمونه‌برداری به‌مقدار جزئی مثبت و یا منفی بود (شکل ۴-الف ۲). بدیهی است که مثبت

با گذشت زمان میزان بازیافت فسفر از تمامی سطوح مصرفی آن به‌صورت لگاریتمی کاهش یافت. شدت کاهش در سطوح بالای فسفر بیشتر بود. به همین دلیل از زمان ۶۰ روز از شروع خواباندن به بعد میزان بازیافت از سطح ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک کمتر از سایر سطوح مصرفی فسفر بود (شکل ۳-الف). به‌نظر می‌رسد تبدیل فسفر به شکل‌های نامحلول‌تر آن با گذشت زمان سبب کاهش بازیابی آن شده است. بازیافت فسفر در ابتدای مصرف کود فسفره زیاد بوده و با گذشت زمان به شدت کاهش می‌یابد (۱). در سطح صفر فسفر معدنی، حداقل رهاسازی فسفر در ابتدای خواباندن در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ و حداکثر آن در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ مشاهده شد (شکل ۳-ب). در این شرایط با گذشت زمان درصد نسبی بازیافت فسفر در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ با شیب زیاد و در خاک تیمار شده با بیوچار ۳۰۰ با شیب کمتر به‌صورت لگاریتمی افزایش یافت. در هر سه منبع ماده آلی روند افزایش در ۱۵ روز اولیه خواباندن شدیدتر از مراحل بعدی بود (شکل ۳-ب). هرچند بازیافت فسفر در ابتدای خواباندن در خاک تیمار شده با بیوچار ۴۰۰ بیش از کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ بود اما روند رهاسازی فسفر در این تیمار در طول دوره خواباندن بسیار کم بود. این امر باعث شد که از زمان ۱۰ روز از شروع خواباندن به بعد حداقل بازیافت نسبت به سایر منابع ماده آلی در این تیمار مشاهده شود (شکل ۳-ب). لازم به یادآوری است که در تیمارهای کاربرد مواد آلی به تنهایی فرض بر این است که بازیابی فسفر تنها از ماده آلی مصرفی صورت گرفته است.

افزایش کاربرد فسفر به‌همراه هر کدام از منابع مواد آلی نسبت به کاربرد مواد آلی به تنهایی سبب افزایش در میزان بازیافت فسفر در ابتدای دوره خواباندن شد (شکل ۳-ج، د و ر). همچنین با افزایش کاربرد فسفر شیب افزایش در بازیافت فسفر با گذشت زمان در تمامی منابع ماده آلی کاهش یافت. به‌نحوی که در سطح ۶۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک با گذشت زمان تغییر معنی‌داری در بازیابی فسفر در خاک تیمار





شکل ۴. سهم نسبی فسفر (P)، منابع ماده آلی (M) و اثرات متقابل آنها (M\*P) در فراهمی فسفر در خاک در تیمارهای مصرف توأم منابع مختلف ماده آلی، (الف) سطوح ۳۰، (ب) ۶۰ و (ج) ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری

در تیمارهای کاربرد ۶۰ و یا ۹۰ میکروگرم فسفر در گرم خاک اثرات متقابل منابع مختلف مواد آلی و فسفر در افزایش فراهمی فسفر در خاک منفی بود (شکل ۴-ب و ج). میزان منفی شدن این اثرات در خاک‌های تیمار شده با بیوجارها بیش از کود مرغی و حداکثر آن در خاک تیمار شده با بیوجار ۳۰۰

بودن اثر متقابل مواد آلی و فسفر مصرفی نشان دهنده این است که اثر کاربرد توأم ماده آلی و فسفر بر افزایش فراهمی فسفر در خاک بیش از مجموع اثر کاربرد آنها به تنهایی است. به عبارت دیگر بخشی از افزایش در فراهمی فسفر در خاک ناشی از تأثیر ماده آلی بر فسفر کاربردی است.

### نتیجه گیری

تبدیل کود مرغی به بیوچار سبب افزایش مقدار کل فسفر در آن شد و با افزایش دمای آتشکافت در تهیه بیوچار شدت این افزایش بیشتر بود. اما با توجه به تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های بیوچار تولیدی در دماهای متفاوت و به ویژه pH آن، کاربرد بیوچار حاوی مقدار بیشتر فسفر، لزوماً با افزایش بیش از پیش فراهمی زیستی فسفر در خاک همراه نبود. رهاسازی بیشتر فسفر از بیوچارها نسبت به کود مرغی در مراحل اولیه رشد آن در خاک در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه در مراحل اولیه رشد مؤثرتر از کود مرغی خواهد بود. به نظر می‌رسد سرعت کم رهاسازی یا بازیافت فسفر در بیوچار نسبت به کود مرغی به ویژه در شرایط کاربرد سطوح بالای فسفر می‌تواند از اثرات سوء افزایش بیش از حد غلظت این عنصر غذایی در خاک جلوگیری کند. منفی تر بودن اثرات متقابل سطوح بالای فسفر با بیوچار ۳۰۰ نسبت به سایر منابع ماده آلی نشان دهنده توانایی آن در کاهش اثرات سوء ناشی از مصرف اضافی فسفر می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت بیوچار تهیه شده در دمای ۳۰۰ درجه سلیسیوس نقش تعدیل کننده غلظت فسفر در خاک را داراست. پیشنهاد می‌شود اثرات متقابل سطوح مختلف بیوچار تهیه شده در دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سلیسیوس با سطوح مختلف فسفر معدنی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

مشاهده شد. همچنین میزان منفی شدن اثرات متقابل این دو فاکتور با گذشت زمان تشدید یافت. لازم به ذکر است که برهمکنش منفی به این مفهوم است که اثر کاربرد توأم فسفر معدنی و ماده آلی بر افزایش فراهمی فسفر در خاک کمتر از مجموع اثرات ناشی از کاربرد آنها به تنهایی بوده است. به عبارت دیگر کاربرد ماده آلی به همراه فسفر معدنی از افزایش بیش از پیش فراهمی فسفر کاربردی در خاک جلوگیری کرده و بخشی از فسفر مصرفی را از شکل قابل استفاده خارج نموده است. در حالیکه اکثر مطالعات انجام شده بر روی بیوچار در خصوص نقش آن در تثبیت کربن و بهبود حاصلخیزی خاک بوده است اما برخی مطالعات انجام شده نیز نشاندهنده توانایی این مواد در ایجاد پیوند قوی با آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین و ترکیبات آلی است (۱۵). توانایی بیوچار در جذب عناصر فراگیر نبوده و بستگی به نوع بیوچار و نوع عنصر غذایی دارد (۳۴). مطالعات کمی در خصوص اثر بیوچار در غیر فعال سازی فسفر انجام شده است (۷). تأثیر بیوچارهای مختلف در آبشویی فسفر از محیط خاک غنی شده از فسفر متفاوت گزارش شده است به طوری که برخی از آنها سبب کاهش خروج فسفر از خاک به میزان ۲۰/۶ درصد و برخی سبب افزایش آن به میزان ۳۹/۱ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (۳۴). کاهش آبشویی فسفر از محیط خاک به میزان ۶۹ درصد در اثر اضافه نمودن بیوچار تهیه شده از چوب به اراضی کشاورزی نیز گزارش شده است (۱۷).

### منابع مورد استفاده

۱. حلاج نیا، ا.، غ. حق نیا، ا. فتوت و ر. خراسانی. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰(۴): ۱۳۲-۱۲۱.
۲. نوربخش، ف. و م. کریمیان اقبال (مترجمین). ۱۳۷۶. حاصلخیزی خاک. چاپ اول، انتشارات غزل. اصفهان.
۳. ولی زاده، م. و م. مقدم. ۱۳۷۵. طرح های آزمایشی در کشاورزی (۱). چاپ سوم، انتشارات پریور. تهران.
4. Barrow, N. J. 1985. Reaction of anions and cations with variable – charge soils. *Adv. Agron.* 38: 183– 230.
5. Bradl, H. B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *J. Colloid Interface Sci.* 277: 1-18.
6. Chan, K. Y. and Z. Xu. 2009. Biochar: Nutrient properties and their enhancement. PP. 67-74. *In: Lehmann, S. and Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology.* Earthscan, London.
7. Chen, B. L., Z. M. Chen and S. F. Lv. 2011. A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and

- phosphate. *Bioresour. Technol.* 102: 716-723.
8. Cheng, C. H., J. Lehmann, J. E. Thies and S. D. Burton. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *J. Geophys. Res.* 113: 1027-1033.
  9. Delgado, A., A. Madrid, S. Kassem, L. Andreu and M. C. Campillo. 2002. Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids. *Plant Soil* 245: 277-286.
  10. Fuertes, A. B., M. C. Arbestain, M. Sevilla, J. A. Macic-Agull, S. Fiol, R. Lepz, R. J. Smernic, W. P. Aitkenhead, F. Arce and F. Macias. 2010. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonization of corn stover. *Aust. J. Soil Res.* 48: 618-626.
  11. Gaskin, J. W., C. Steiner, K. Harris, K. C. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE* 51: 2061-2069.
  12. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management.* 7<sup>th</sup> Edition. Pearson Education Inc., Upper Saddle River. New Jersey, USA.
  13. Inskeep, W. P. and J. C. Silvertooth. 1998. Inhibition of hydroxy apatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 941-946.
  14. Joseph, S., M. Camps-Arbestain, Y. Lin, P. Munroe, C. H. Chia, J. Hook, L. Van Zwieten, S. Kimber, A. Cowie, B. P. Singh, J. Lehmann, N. Foidl, R. J. Smernik and J. E. Amonette. 2010. An investigation into reactions of biochar in soil. *Aust. J. Soil Res.* 48: 501-515.
  15. Kasozi, G. N., A. R. Zimmerman, P. Nkedi-Kizza and B. Gao. 2010. Catechol and humic acid sorption onto a range of laboratory-produced black carbons (Biochars). *Environ. Sci. Technol.* 44: 6189-6195.
  16. Kwapinski, W., C. M. P. Byrne, E. Kryachko, P. Wolfram, C. Adley, J. J. Leahy, E. H. Novotny and M. H. B. Hayes. 2010. Biochar from biomass and waste. *Waste Biomass Valorization* 1: 177-189.
  17. Laird, D., P. Fleming, B. Wang, R. Horton and D. Karlen. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 436-442.
  18. Mustafa, K. H., V. Strezov, K. Y. Chan and P. F. Nelson. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78: 1167-1171.
  19. Namgay, T., B. Singh and B. P. Singh. 2010. Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Aust. J. Soil Res.* 48: 638-647.
  20. Oehl, F., A. Oberson, S. Sinaj and E. Frossard. 2001. Organic phosphorus mineralization studies using isotopic dilution techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 780-787.
  21. Olsen, S. R. and L. E. Sommer. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. *In: Page et al. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
  22. Rees, R. M., B. C. Ball, C. D. Campbell and C. A. Watson. 2001. *Sustainable management of soil organic matter.* British Society of Soil Science. CAB pub.
  23. Sharif, M. F. M. Choudhary and A. G. Lortho. 1974. Suppression of super phosphate – phosphorus fixation by farm yard manure. *Soil Sci. Plant Nutr.* 20(4): 395-401.
  24. Singh, B. B. and P. Jones. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:389-394.
  25. Singh, B., B. P. Singh and A. L. Cowie. 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 48: 516-525.
  26. Sohi, S. P., E. Krull, E. Lopez-Capel and R. Bol. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Adv. Agron.* 105: 47-82.
  27. Steinbeiss, S., G. Gleixner and M. Antonietti. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1301-1310.
  28. Steiner, C., K. C. Das, M. Garcia, B. Forster and W. Zech. 2008. Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferraloso. *Pedobiologia* 51: 359-366.
  29. Steiner, C., W. G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J. L. V. MaceDo, W. E. H. Blum, and W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant Soil* 291: 275-290.
  30. Toor, G. S. and G. S. Bahl. 1997. Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. *Bioresour. Technol.* 62: 25-28.
  31. Vaccari, F. P., S. Baronti, E. Leugato, L. Genesio, S. Castaldi, F. Fornasier, and F. Miglietta. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Europ. J. Agron.* 34: 231-238.
  32. Van Herwijnen R., T. Hutchings, A. Al-Tabbaa, A. Moffat, M. Johns, and S. Ouki. 2007. Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environ. Pollut.* 150: 347-354.
  33. Whalen, J. K. and C. Chang. 2002. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 1011-1026.

34. Yao. Y., B. Gao, M. Zhang, M. Inyang and A. R. Zimmerman. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrat, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89: 1467-1471.
35. Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li , Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng and D. Crowley. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China *Agric. Ecosys. Environ.* 139: 469-475.

## Influence of Biochars Prepared from Poultry Manure on Phosphorus Availability and Recovery in a Calcareous Soil

M. Zolfi Bavariani<sup>1\*</sup>, A. Ronaghi<sup>2</sup>, N. Karimian<sup>2</sup>,  
R. Ghasemi<sup>2</sup> and J. Yasrebi<sup>2</sup>

(Received: Jan. 06-2015 ; Accepted: May 31-2016)

### Abstract

This study was conducted to investigate the effects of poultry manure (PM) and its derived biochars on change in phosphorous (P) availability and apparent recovery in a calcareous soil. Treatments consisted of four rates of P (0, 30, 60 and 90  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) and five organic substances (control, poultry manure and its derived biochars at 200, 300 and 400°C). The organic substances were incorporated with 400 g of soil at 2% level (w/w) and were incubated for 150 days. Soil P availability determined at 8 different stages of incubation time period. Phosphorous availability was less in soil samples untreated with organic substances and also decreased over time. Phosphorus recovery from inorganic P fertilizer was more than organic sources at the early stages of incubation time, but decreased over time sharply.. Phosphorus availability and recovery increased over time in organic substances treated soil samples. Application of inorganic P with organic substances decreased apparent P recovery. Negative interaction was observed between organic substances and high rates of inorganic P fertilizer on P availability. It was concluded that biochar produced at 300°C had the highest effect on adjusting P availability in the soil.

**Keywords:** Phosphorus, Poultry Manure, Biochar, Calcareous Soil

---

1. Dept. of Soil and Water Res. Bushehr Agric. and Natur. Resour. Res. and Educ. Center, AREEO, Bushehr, Iran.

2. Dept. of Soil Sci. College of Agric. Shiraz Univ., Shiraz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: m.zolfi@areeo.ac.ir