

تأثیر کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در دماهای متفاوت روی جذب سطحی فسفر در یک خاک آهکی

مختار زلفی باوریانی¹ و مهرداد نوروزی

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، بوشهر، ایران؛ mzolfi2001@yahoo.com

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، بوشهر، ایران؛ nowroozi50@yahoo.com

دریافت: 99/4/17 و پذیرش: 1400/4/20

چکیده

بیوچار به عنوان یکی از منابع ماده آلی می‌تواند در جذب و نگهداری فسفر در خاک مؤثر باشد. این آزمایش به منظور بررسی اثر کود مرغی و بیوچار تهیه شده از آن در دماهای 200، 300 و 400 درجه سانتیگراد بر ویژگی‌های جذب سطحی فسفر در خاک اجرا شد. کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن با نمونه‌های 400 گرمی خاک مخلوط و در دما و رطوبت مناسب به مدت 90 روز خوابانده شد. هم‌دمای جذب سطحی فسفر در محدوده غلظتی صفر تا 90 میلی‌گرم در لیتر فسفر به روش پیمان‌های اندازه‌گیری و مقدار فسفر جذب سطحی شده محاسبه شد. نتایج نشان داد که روند جذب سطحی فسفر در تمامی تیمارها با افزایش غلظت فسفر کاهش یافت. داده‌های جذب با مدل لانگ مویر برازش داده شده. شیب جذب سطحی فسفر در نمونه‌های تیمار شده با بیوچار در غلظت‌های کم و زیاد فسفر در محلول تعادلی، بطور متوسط به ترتیب به میزان 56 درصد کمتر و 116 درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. بیوچار تهیه شده در دماهای 300 و 400 درجه سانتیگراد به ترتیب حداقل و حداکثر تأثیر را بر مقدار شیب و حداکثر جذب سطحی فسفر داشتند. حداکثر مقدار فسفر جذب سطحی شده در تیمارهای بیوچار 300 و 400 به ترتیب 144 و 246 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود. شیب جذب سطحی فسفر در غلظت کم فسفر محلول تعادلی، در تیمارهای بیوچار 300 و 400 به ترتیب 5/42 و 10/1 و در غلظت زیاد فسفر در محلول تعادلی به ترتیب 1/50 و 4/59 میلی‌گرم در کیلوگرم به ازاء هر واحد تغییر در غلظت فسفر در محلول تعادل بود. رفتار بیوچار 300 در جذب سطحی فسفر نشان‌دهنده امکان بیشتر استفاده از آن در اراضی کشاورزی نسبت به سایر بیوچارها به منظور بهبود قابلیت استفاده فسفر در خاک است، اما رفتار بیوچار 400 نشان‌دهنده امکان استفاده آن در اصلاح خاک‌های آلوده به فسفر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پویایی فسفر، هم‌دمای جذب سطحی، مدل لانگ مویر

¹ نویسنده مسئول، آدرس: بوشهر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان بوشهر

مقدمه

شیمیایی یا پیوند کووالانسی) بر روی بارهای الکتریکی متغیر جذب سطحی می‌شوند. بعد از جذب سطحی اولیه، یون‌های فسفر با نفوذ انتشاری به داخل ترکیب ساختمانی وارد می‌شود. در خاک‌های آهکی جذب فسفر به شدت تحت تأثیر واکنش‌های جذب سطحی و رسوب در سطح کربنات کلسیم می‌باشد (مارشتر، 1995).

بیوجار محصول جانبی حاصل از آشکافت زیست توده است که مقاوم به تجزیه بوده و به عنوان ذخیره کربن مورد استفاده قرار می‌گیرد (نامگی و همکاران، 2010). بیوجار به عنوان یکی از منابع ماده آلی ظرفیت بالایی در بهبود کیفیت خاک از طریق افزایش ظرفیت تبادل یونی، سطح ویژه، ظرفیت نگهداری رطوبت و افزایش فراهمی برخی عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، کلسیم، گوگرد و نیتروژن داشته (مان، 2002) و تمایل زیادی به جذب ترکیبات آلی و فلزات سنگین دارد (کابرا و همکاران 2011). سال‌هاست که منابع مختلف مواد آلی برای بهبود زیست فراهمی عناصر غذایی از جمله فسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد (اوهنو و امیرباهمان، 2010). انتظار می‌رود بیوجار نیز به طرق مشابه سایر منابع مواد آلی عمل کرده و در افزایش فراهمی عناصر غذایی مؤثر باشد (لهمان و همکاران، 2003). خصوصیات و واکنش پذیری بیوجار در خاک با توجه به نوع زیست توده اولیه و شرایط تولید آن به ویژه میزان و مدت زمان اعمال درجه حرارت متغیر گزارش شده است (گوا و راکستراو، 2007). تغییر دمای آشکافت طیف وسیعی از خصوصیات بیوجار را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه می‌تواند جذب فسفر را نیز تحت تأثیر قرار دهد (نواک و همکاران، 2009). براساس گزارش وانگ و همکاران (2012) بیوجار بر جذب فسفر در خاک مؤثر بوده و میزان تأثیرگذاری آن به نوع زیست توده اولیه و شرایط تولید بیوجار بستگی دارد. کارنلیسن و همکاران (2005) نیز ظرفیت بیوجار در جذب عناصر را 10-100 برابر بیشتر از زیست توده اولیه گزارش کرده‌اند.

فسفر از مهمترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است که نقش اساسی در متابولیسم و نقل و انتقال انرژی در گیاه دارد (روگوتاما و همکاران 2005). گیاهان فسفر را از محلول خاک به شکل یون‌های ارتوفسفات جذب می‌کنند (گول و والن، 2016). فسفر در خاک دستخوش فرایندهای ژئوشیمیایی متفاوتی از جمله حلالیت، کمپلکس شدن، جذب و رسوب قرار می‌گیرد که تحرک و سرنوشت آن را در خاک تعیین می‌کند (دام و همکاران، 2017). این فرایندهای شیمیایی عملکرد پیچیده‌ای از چندین ویژگی خاک از جمله مقدار و شکل شیمیایی اکسیدهای آهن و آلومینیم، مقدار و نوع رس‌های سیلیکاتی و مقدار کربنات کلسیم بوده (هاولین و همکاران، 2005) و از طریق تأثیر بر فرایندهای جذب و واجذب بر فراهمی فسفر در خاک مؤثر هستند (دایلان و همکاران، 2004). تأثیر این خصوصیات بر نگهداری و آزادسازی فسفر به اسیدیته و قلیائیت خاک بستگی دارد. در خاک‌های اسیدی فسفر به شکل اکسیدهای آهن و آلومینیم تثبیت می‌شود. پ‌هاش بالای خاک‌های آهکی نیز با تشکیل فسفات‌های کلسیم نسبتاً نامحلول سبب کاهش فراهمی فسفر می‌شود (وانس و همکاران، 2003). تبادل فسفر بین محلول و ذرات جامد خاک و تغییر شکل آن تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های جذب و واجذب فسفر است (زیا و همکاران، 2002). بنابراین جذب و واجذب فسفر ظرفیت خاک در فراهمی فسفر و جذب آن توسط گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شن و همکاران، 2001). جذب یکی از مکانیسم‌های معمول مورد استفاده برای توصیف نگهداری فسفر در خاک است (مک دونل و کاندرون، 2001). درک بهتر از فرآیند جذب و واجذب فسفر برای مدیریت مؤثر فسفر در خاک به منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی و پایداری کیفیت خاک مفید و تعیین کننده است (هان و همکاران، 2018). بر اساس گزارش لیندسی (2001) فسفر معدنی اضافه شده به خاک ابتدا به طور ضعیف (جذب فیزیکی یا الکترواستاتیکی) یا قوی (جذب

حاوی کود مرغی بوسیله کوره الکتریکی تهیه‌دار (Heraeus مدل K-1252) با روند افزایش دمای 15 درجه سانتیگراد در دقیقه و به مدت 4 ساعت به طور جداگانه در دماهای 200، 300 و 400 درجه سانتیگراد حرارت داده شد (هال و همکاران، 2008). پس از اتمام مدت زمان اعمال حرارت ضمن پوشاندن مجدد سوراخ ایجاد شده در بسته‌های کود، به آن فرصت داده شد تا رسیدن به دمای اتاق سرد و سپس از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد. بیوچارهای تولیدی بسته‌بندی و برای استفاده در آزمایشات بعدی نگهداری شد. در ادامه این نگارش از بیوچار تولیدی در دماهای 200، 300 و 400 درجه سانتیگراد به ترتیب تحت عنوان بیوچار 200، بیوچار 300 و بیوچار 400 ذکر می‌شود.

برخی ویژگی‌های بیوچارها از جمله قابلیت هدایت الکتریکی و پ‌هاش در نسبت 1:5 نمونه به آب و تکان دادن به مدت 30 دقیقه (رایمنت و هیگینسن، 1992) و مقدار کل فسفر به روش اکسیداسیون مرطوب هضم (پارکینسون و آلن، 1975) و به روش اسید آسکوربیک (مورفی و ریلی، 1962) با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Pharmacia Novaspec II در طول موج 890 نانومتر اندازه‌گیری شد (جدول 1).

برای انجام آزمایش مقدار 200 کیلوگرم خاک از افق سطحی (0-30 سانتیمتری) خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی برازجان با نام فامیل Coarse loamy, carbonatic, hyperthermic, Ustic Torriorthents جمع‌آوری و پس از عبور از الک دو میلی‌متری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول 2). بافت به روش هیدرومتری (جی و بودر، 1986)، کربنات کلسیم معادل به روش خشتی کردن با اسید کلریدریک (لوپرت و سوارز، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (رودز، 1996)، واکنش خاک در خمیر اشباع (توماس، 1996)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلاک، 1934)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جاننشینی با استات سدیم (سامنر و میلر، 1996) و فسفر قابل استفاده به روش اولسن و سامر (1982) اندازه‌گیری شدند.

ارتباط دینامیکی غلظت فسفر در محلول خاک با فرآیندهای جذب سطحی توسط اجزاء جامد خاک به وسیله هم‌دماهای جذب قابل توصیف است. این هم‌دماها رابطه میان جذب سطحی فسفر و غلظت یونی آن را در محلول تعادل نشان می‌دهد. تاکنون معادله‌های مختلفی برای توصیف و بیان این رابطه پیشنهاد شده است که یکی از معروف‌ترین آنها معادله لانگ‌مویر¹ است. معادله لانگ‌مویر تاکنون در پژوهش‌های زیادی مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت این معادله به دلیل اهمیت فیزیکی دو ثابت آن یعنی حداکثر جذب و ضریب متناسب با انرژی پیوند آن است (کاندو و گوپتا، 2006 و شیروانی و شریعتمداری، 1381).

با توجه به نکات مذکور همچنانکه هان و همکاران (2018) نیز گزارش کرده‌اند یافته‌های جذب فسفر مربوط به یک ماده و شرایط خاص تولید قابل تعمیم به ماده و شرایط تولید دیگر نمی‌باشد. درک فعل و انفعالات دینامیک فسفر در خاک تیمار شده با بیوچار در برنامه‌ریزی استفاده از بیوچار به عنوان یک ماده اصلاح کننده خاک برای دستیابی به اهداف مختلف مدیریت خاک کمک می‌کند. هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی تأثیر بیوچار تهیه شده از کود مرغی در دماهای مختلف بر جذب سطحی فسفر در یک خاک آهکی بود.

مواد و روش‌ها

برای تهیه بیوچار مقدار کافی کود مرغی از مجتمع‌های تولید و پرورش مرغ گوشتی تهیه و پس از خشک کردن در دمای 45 درجه سانتیگراد به مدت 24 ساعت و کوبیدن آن، از الک 4 میلی‌متری عبور داده شد. کود مورد نظر در بسته‌های 500 گرمی در دو لایه فویل آلومینیمی به نحوی قرار داده شد که هوا وارد آن نشود. به منظور خروج گازهای تولیدی در اثر اعمال حرارت در مراحل بعد، یک سوراخ به قطر 2 میلی‌متر در فویل آلومینومی ایجاد و به منظور جلوگیری از ورود هوا به آن با لایه نازکی از خمیر پوشانده شد. بسته‌های فویل آلومینیمی

¹ Longmuier

جدول 1- برخی ویژگی‌های کود مرغی و بیوجارهای حاصل از آن در دمای مختلف

ویژگی				منبع ماده آلی
Total P (%)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)	pH	
1/04	60	6/06	7/38	کود مرغی
1/04	58	8/59	7/20	بیوجار 200
1/26	69	8/96	7/30	بیوجار 300
1/72	75	15/3	9/98	بیوجار 400

در شرایط رطوبت ظرفیت زراعی و دمای 25 درجه سانتیگراد خوابانده شد. از تمامی تیمارها در پایان زمان خواباندن نمونه برداری و ضمن اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مطابق روش‌های ذکر شده قبلی، مطالعات جذب سطحی فسفر به روش پیمانه‌ای انجام شد.

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در ظروف پلی اتلنی 400 گرمی اجرا شد. کود مرغی و بیوجارهای 200، 300 و 400 به میزان دو درصد وزنی با نمونه‌های 400 گرمی خاک خشک مورد نظر مخلوط شدند. یک تیمار بدون مصرف ماده آلی نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. خاک تیمارهای مذکور به مدت 90 روز

جدول 2- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش

عمق (cm)	pH	EC _e (dS m ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	CCE (%)	O.C (%)	P _{ava.} (mg kg ⁻¹)	θ _{FC} (cm ³ cm ⁻³)	بافت
0 - 30	7/90	3/90	8/10	58	0/43	6/60	0/27	لوم شنی

خاک محاسبه شد. به منظور پیش بینی رفتار جذب فسفر در شرایط مصرف بیوجارهای مختلف داده‌های جذب سطحی فسفر با همدمای جذب لانگ مویر برازش داده شد. همدمای جذب لانگ مویر در معادله 1 نشان داده شده است

$$X = K_b C / (1 + K_b C) \quad \text{(معادله 1)}$$

در این معادله X مقدار جذب فسفر بر حسب میکروگرم بر گرم خاک و C غلظت نهایی فسفر در محلول تعادلی بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر می‌باشد. ثابت‌های b و K در این معادله به ترتیب بیانگر حداکثر جذب سطحی فسفر و انرژی جذب است که از طریق برازش فرم خطی آن بر داده‌ها برآورد گردید. برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزارهای SPSS و Excell و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. علاوه بر ضریب تبیین، خطای استاندارد تخمین نیز به عنوان معیاری در ارزیابی مدل استفاده می‌شود که با استفاده از معادله 2

به منظور مطالعه جذب سطحی فسفر محلول کلرید کلسیم 0/01 مولار حاوی چند قطره تولوئن با غلظت‌های صفر، 1، 2/5، 5، 10، 15، 20، 30، 60 و 90 میلی‌گرم در لیتر فسفر با استفاده از نمک پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات تهیه نموده و از آنها به نسبت یک به 10 استفاده شد. مقادیر فوق به لوله‌های سانتریفیوژ پلی اتیلن محتوی دو گرم نمونه خاک مطابق تیمارها افزوده شد و به مدت 24 ساعت در دمای 25±1 درجه سانتیگراد به وسیله دستگاه تکان دهنده مکانیکی (شیکر انکوباتور) با دور 150 دور در دقیقه به هم زده شد. سپس محلول تعادلی با استفاده از دستگاه گریز از مرکز با سرعت 3000 دور در دقیقه به مدت 5 دقیقه و گذراندن از کاغذ صافی واتمن 42 از نمونه‌ها جدا شد. غلظت فسفر در محلول تعادلی به روش مورفی و ریلی (1962) تعیین و مقدار فسفر جذب سطحی شده در خاک محاسبه و نیز حداکثر مقدار فسفر جذب سطحی شده تعیین شد. مقدار فسفر جذب سطحی شده از تفاضل مقدار فسفر اولیه و فسفر تعادلی در محلول

تأثیر بیوچارهای تهیه شده در دمای بالا در این راستا بیشتر بوده است (جدول 3). تأثیر بیوچار بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به ویژگی‌ها و مدت زمان مصرف بیوچار در خاک بستگی دارد. به طوریکه در برخی موارد افزایش دما سبب کاهش (گاسکین و همکاران، 2008) و در برخی موارد سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار تولیدی شده است (سینگ و همکاران، 2010). افزایش دمای آشکافت تا حدودی با افزایش تخلخل و سطح ویژه و نیز افزایش گروه‌های کربوکسیل در بیوچار، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود (بیرد و همکاران، 2008). افزایش 14 درصدی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر افزایش 3 درصدی بیوچار تهیه شده از کاه برنج در دمای 300 درجه سلسیوس در یک خاک اسیدی گزارش شده است (جیانگ و همکاران، 2012).

هرچند تمامی منابع مواد آلی مورد استفاده سبب افزایش فراهمی فسفر در خاک شد اما بیوچار 300 بیش از سایر منابع سبب افزایش فراهمی فسفر در خاک شد. دام و همکاران (2017) نیز گزارش کردند که بیوچار تهیه شده در دمای 350 درجه سانتیگراد نسبت به 550 درجه آن تأثیر بیشتری بر افزایش قابلیت استفاده فسفر در خاک آهکی داشته است.

مقدار جذب فسفر جذب سطحی شده

توصیف رابطه غلظت فسفر در محلول تعادلی و جذب آن بر اساس معادله لانگ مویر در شکل شماره یک نشان داده شده است. همدمای جذب لانگ مویر از ضریب تبیین بالا و خطای استاندارد کمی برخوردار بود و نشان‌دهنده تناسب مطلوب آن در توصیف رابطه بین این دو شکل فسفر است (جدول 4).

محاسبه شد (رحمان و همکاران، 2018 و واثقی‌راد و همکاران، 1394).

معادله 2) $(SE=[(\sum(A-A')/n-2)]^{0.5}$
در این معادله SE خطای استاندارد تخمین، A و A' به ترتیب مقدار فسفر جذب شده و پیش بینی شده و n تعداد نمونه اندازه‌گیری می‌باشد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک

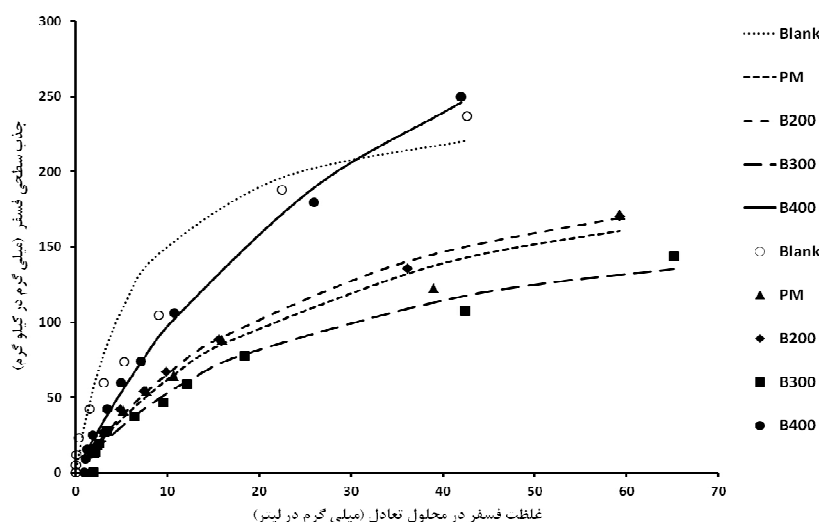
تغییرات ایجاد شده در برخی ویژگی‌های خاک در اثر مصرف کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن نسبت به تیمار شاهد در پایان آزمایش در جدول 3 آمده است. تأثیر بیشتر بیوچارهای تهیه شده در دمای بیشتر در افزایش کربن آلی خاک نشان‌دهنده مقاوم‌تر شدن بیوچار به تجزیه بیولوژیکی با افزایش دمای آشکافت است (کیلویت و همکاران، 2010). تغییر در مقدار پ‌هاش نمونه‌های تیمار شده با بیوچارهای متفاوت نشان‌دهنده تغییر اساسی در ساختار زیست‌توده با تغییر دمای آشکافت است. پ‌هاش بیوچار در دامنه نسبتاً اسیدی تا قلیایی متغیر گزارش شده و افزایش دمای آشکافت، عموماً سبب افزایش پ‌هاش بیوچار می‌شود (سینگ و همکاران، 2010). پایین بودن پ‌هاش کود مرغی و بیوچار 200 به تولید اسیدهای آلی و ترکیبات فنلی ناشی از تجزیه سلولز و همی سلولز نسبت داده شده است (آبه و همکاران، 1998). افزایش نسبی فلزات قلیایی در بیوچار، می‌تواند توجه‌کننده افزایش پ‌هاش بسیاری از بیوچارها باشد (کوکانا و همکاران، 2011).

تمامی تیمارهای منابع مختلف ماده آلی بطور کلی سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک شده است اما

جدول 3- برخی ویژگی‌های خاک در تیمارهای مختلف در پایان آنکوباسیون

تیمار	کربن آلی (%)	پ هاش	ظرفیت تبادل کاتیونی cmol.kg^{-1}	فراهمی فسفر (mg.kg^{-1})
شاهد	0/426d*	7/60b	8/18c	5/26c
کود مرغی	0/696c	7/40d	8/72b	97/6b
بیوجار 200	0/720c	7/33e	8/61b	98/2b
بیوجار 300	0/960b	7/50c	9/39a	117a
بیوجار 400	1/21a	8/20a	9/35a	99/4b

*. میانگین هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند از نظر آزمون دانکن در سطح 5% تفاوت معنی داری ندارند.



شکل 1- رابطه بین غلظت فسفر در محلول تعادل و جذب سطحی آن در تیمارهای مختلف (Blank, PM, B200, B300, B400) به ترتیب شاهد، کود مرغی و بیوجارهای 200، 300 و 400 براساس ضرائب معادله لانگ مویر

جدول 4- ضرائب تبیین و خطای استاندارد همدمای جذب لانگ مویر در تیمارهای مختلف

تیمار					ضرائب
بیوجار 400	بیوجار 300	بیوجار 200	کود مرغی	بدون ماده آلی	
0/82	0/97	0/97	0/95	0/90	ضرب تبیین (R^2)
0/014	0/023	0/014	0/021	0/020	خطای استاندارد (SE)

غلظت‌های بیشتر توسط آمر و همکاران (1985) و باهی و تور (2002) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد در غلظت‌های کم فسفر در محلول تعادل فرآیند جذب غالب باشد. تحت چنین شرایطی اکسیدهای آهن و لبه سطوح کانی‌های رس تأمین کننده مکان‌های جذب بوده که تمایل آنها خیلی بیشتر از کربنات کلسیم

مقدار فسفر جذب سطحی شده در تمامی تیمارها با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی افزایش یافت. روند افزایش جذب فسفر در غلظت‌های کم فسفر در محلول تعادلی در تمامی تیمارها شدید و با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی کاهش یافت (شکل 1). جذب سطحی بیشتر فسفر در غلظت کم محلول تعادلی نسبت به

به نمونه شاهد شده است. دام و همکاران (2017) نیز با مقایسه اثر بیوچارهای تهیه شده در دماهای 350 و 550 درجه سانتیگراد بر قابلیت استفاده و جذب و واجذب فسفر در خاک آهکی و اسیدی گزارش کردند که تأثیر این بیوچارها بر پارامترهای مورد بررسی در خاک‌های اسیدی و آهکی متفاوت است. براساس این گزارش بیوچار تهیه شده در دمای 350 درجه سانتیگراد سبب افزایش قابلیت استفاده فسفر و کاهش جذب سطحی آن در خاک آهکی شده است، اما بیوچار تهیه شده در 550 درجه سانتیگراد به دلیل پهاش زیاد سبب افزایش جذب سطحی فسفر توسط ذرات خاک شده و تأثیر کمتری بر افزایش قابلیت استفاده فسفر نسبت به بیوچار تهیه شده در 350 درجه سانتیگراد شده است. مورالس و همکاران (2014) کاهش جذب فسفر توسط ذرات خاک اسیدی را در اثر مصرف بیوچار تهیه شده در دمای بالاتر از 400 درجه سانتیگراد گزارش کرده‌اند.

از نظر آماری ضریب b معادله لانگ مویر نیز که به عنوان شاخص کمیت جذب سطحی فسفر شناخته می‌شود (سولیس و تورنت، 1989)، در نمونه‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچار 200 تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت، اما بیوچارهای 300 و 400 به ترتیب سبب کاهش و افزایش معنی‌دار مقدار این ضریب نسبت به نمونه شاهد شد (جدول 5). بر اساس گزارش زو و همکاران (2014) کاربرد بیوچار تهیه شده در دمای بالا در خاک‌های با پهاش پایین سبب افزایش و در خاک‌های با پهاش بالا سبب کاهش ضریب b معادله لانگ مویر شده است. افزایش پهاش خاک تیمار شده با بیوچار 400 (جدول 3) می‌تواند در تثبیت و نگهداری فسفر در فاز جامد به عبارت دیگر در افزایش جذب سطحی آن نسبت به سایر تیمارها مؤثر باشد. افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در تیمار بیوچار 400 (جدول 3) نیز می‌تواند در افزایش ضریب b معادله لانگ مویر در این

می‌باشد (پنا و تورنت 1990). مطالعات قبلی نشان داده است هم - جذبی فسفر اضافه شده با کلسیم تبدلی در خاک‌های آهکی و رسوب آن می‌تواند در افزایش جذب فسفر مؤثر باشد (آگنین، 1995).

جذب سطحی فسفر در نمونه‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچارهای حاصل از آن در دماهای 200 و 300 درجه سانتیگراد کمتر از نمونه شاهد بود. در این راستا تیمارهای بیوچار 300 و 200 به ترتیب حداکثر و حداقل تأثیر را بر کاهش جذب سطحی فسفر نسبت به تیمار شاهد داشت (شکل 1). براساس گزارش وانگ و همکاران (2012) بیوچار با تغییر اسیدیته خاک و در نتیجه اثرگذاری بر کمپلکس شدن فسفر با یون‌های آهن، آلومینم و کلسیم در واکنش‌های جذب سطحی فسفر در خاک مؤثر است. بیوچار تهیه شده در دمای 350 درجه سانتیگراد می‌تواند به طور مستقیم کاتیون‌های مذکور را جذب سطحی کرده و در نتیجه سبب تأخیر در جذب و رسوب فسفر در خاک شود (دام و همکاران، 2017). بیوچار به دلیل ظرفیت تبادل آنیونی و نیز اثرگذاری بر فعالیت کاتیون‌های در تعامل با فسفر به طور مستقیم بر قابلیت استفاده فسفر در خاک مؤثر است (دلوکا و همکاران، 2015).

در نمونه تیمار شده با بیوچار 400 در غلظت‌های کم فسفر در محلول تعادلی مقدار فسفر جذب سطحی شده کمتر از تیمار شاهد اما با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی مقدار فسفر جذب سطحی شده افزایش یافت و در غلظت‌های بالاتر از حدود 30 میلی‌گرم در لیتر بیشتر از تیمار شاهد نیز شد. زو و همکاران (2014) با مطالعه اثرات مقادیر مختلف بیوچار بر جذب سطحی فسفر در خاک‌های با پهاش متفاوت گزارش کردند که در غلظت‌های پایین فسفر در محلول تعادلی، بیوچار مصرفی تأثیری بر افزایش جذب فسفر نداشته است، اما در غلظت‌های زیاد فسفر در محلول تعادل افزایش مقدار بیوچار مصرفی در خاک‌های اسیدی سبب افزایش و در خاک‌های قلیایی سبب کاهش جذب سطحی فسفر نسبت

تیمار مؤثر باشد، همچنانکه وجود همبستگی معنی دار بین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و این ضریب گزارش شده است (سولیس و تورنت، 1989).

جدول 5- ضرائب معادله همدمای جذب لانگ مویر در تیمارهای مختلف

تیمار	تیمار		کود مرغی	بدون ماده آلی	ضرائب
	بیوجار 300	بیوجار 400			
	193 c	476 a	238 b	260b*	b
	0/038 b	0/018 c	0/035 b	0/143 a	K

*: میانگین‌هایی که در هر ردیف دارای حروف کوچک مشترک هستند از نظر آزمون دانکن در سطح 5 درصد تفاوت معنی داری ندارند.

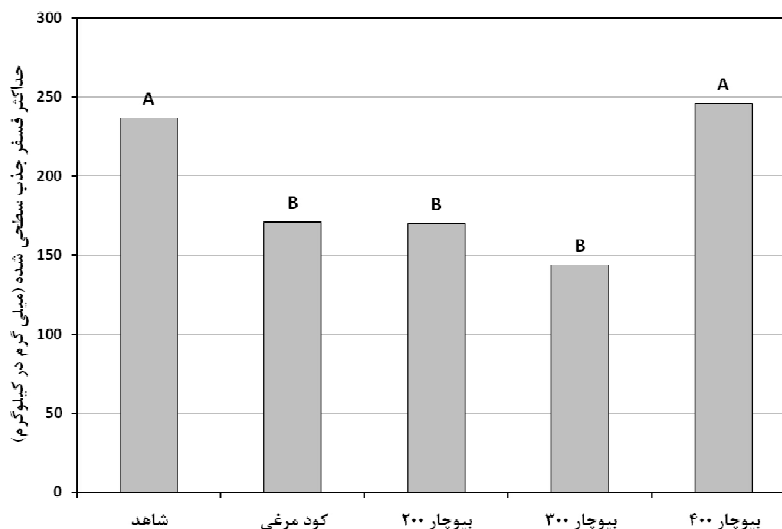
در تیمار بیوجار 400 شیب افزایش در جذب سطحی فسفر در تمامی غلظت‌های محلول تعادلی بیشتر از سایر نمونه‌های تیمار شده با ماده آلی بود. گرچه در غلظت‌های کمتر از حدود 30 میلی‌گرم در لیتر محلول تعادل شیب جذب فسفر در نمونه تیمار شده با بیوجار 400 به مقدار جزئی کمتر از تیمار شاهد بود، اما در غلظت‌های بالاتر بیشتر بود. این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش پ‌هاش خاک به دلیل مقدار زیاد پ‌هاش بیوجار 400 و در نتیجه افزایش پ‌هاش خاک تیمار شده با این بیوجار باشد (جداول 1 و 3). لایر و همکاران (2009) نیز افزایش در جذب فسفر با افزایش پ‌هاش را گزارش نموده‌اند. این امر ممکن است ناشی از افزایش غلظت یونهای HPO_4^- نسبت به یون‌های $H_2PO_4^{2-}$ نیز باشد (لیندسی، 2001).
 ضریب K معادله لانگ‌مویر که نشان‌دهنده قدرت پیوندی و شدت جذب سطحی فسفر است (لایر و همکاران، 2009) در نمونه‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوجارهای حاصل از آن کمتر از تیمار شاهد بود (جدول 5). تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوجارهای 200 و 300 در ضریب K مشاهده نشد، اما در بیوجار 400 کاهش معنی‌داری نسبت به سایر منابع ماده آلی داشت. براساس نتایج حاصل از ضرایب معادله لانگ‌مویر می‌توان گفت هرچند بیوجار 400 سبب افزایش حداکثر جذب سطحی فسفر شده است اما شدت جذب فسفر در آن پایین بوده و بنابراین رهاسازی آن راحت‌تر از تیمار شاهد صورت می‌گیرد.

روند افزایش در جذب سطحی فسفر در غلظت‌های کم فسفر در محلول تعادلی، در نمونه شاهد شدیدتر از خاک‌های تیمار شده با مواد آلی بود (شکل 1). هر چند با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی شیب جذب سطحی فسفر در تمامی تیمارها کاهش یافت، اما شدت کاهش در نمونه شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار شده با ماده آلی بود. به عبارت دیگر با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادلی، شیب جذب فسفر در تیمار شاهد کاهش چشمگیری داشت اما در نمونه‌های تیمار شده با ماده آلی حتی در غلظت زیاد فسفر در محلول تعادلی، جذب با شیب نسبتاً زیادی ادامه یافت (شکل 1). این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط غلظت کم فسفر در محلول تعادلی بخش زیادی از فسفر در تیمار بدون ماده آلی، جذب شده و افزودن فسفر بیشتر به خاک اجازه افزایش بیش از حد غلظت فسفر در محلول تعادل را نمی‌دهد و زودتر به حالت تعادل نزدیک می‌شود. تغییر سریع در شیب جذب سطحی فسفر سبب ایجاد منحنی L شکل می‌شود. ایجاد این شکل منحنی و انحنای بیشتر آن که در تیمار شاهد مشاهده شد بیانگر کاهش سریع‌تر در مکان‌های قابل دسترس برای جذب و یا کاهش در تمایل این مکان‌ها جهت جذب فسفر است. براساس گزارشات موجود (آمر و همکاران 1985) با افزایش غلظت فسفر، محلول تعادلی نسبت به Ca-P فوق اشباع شده و باعث کاهش مقدار فسفر محلول در اثر رسوب می‌شود.

حداکثر جذب سطحی فسفر

300 به طور میانگین به ترتیب به میزان 27/7، 28/2 و 39/3 درصد کمتر از نمونه بدون ماده آلی بود، اما نمونه تیمار شده با بیوچار 400 تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل 2).

افزودن کود مرغی و بیوچارهای 200 و 300 سبب کاهش حداکثر فسفر جذب سطحی شده نسبت به نمونه بدون ماده آلی شد. حداکثر فسفر جذب سطحی شده در نمونه‌های تیمار شده با کود مرغی و بیوچارهای 200 و



شکل 2- حداکثر مقدار فسفر جذب سطحی شده در تیمارهای مختلف. میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون دانکن در سطح 5% تفاوت معنی‌داری ندارند.

2005). تأثیر بیشتر بیوچار 400 در افزایش جذب سطحی فسفر نسبت به سایر منابع ماده آلی را می‌توان به پ‌هاس زیاد آن نسبت داد. مورفی و استیونس (2010) گزارش کردند که کاربرد بیوچار به دلیل افزایش قدرت یونی و نیز افزایش غلظت کلسیم در محلول خاک می‌تواند سبب افزایش جذب سطحی فسفر شود. زو و همکاران (2013) افزایش در جذب سطحی فسفر در اثر افزودن بیوچار به خاک را به تغییر در اکسیدهای آهن و آلومینیم و یا افزایش غلظت کلسیم در محلول خاک نسبت داده‌اند. براساس گزارش تاکایا و همکاران (2016) ظرفیت جذب سطحی فسفر توسط بیوچار با افزایش دمای آتشکافت افزایش یافته که می‌تواند ناشی از واکنش بین فسفر با کلسیم و منیزیم موجود در بیوچار باشد.

باهی و تور (2002) نیز کاهش جذب سطحی فسفر را در اثر افزایش کود مرغی به خاک‌های با پ‌هاس متفاوت گزارش کردند. کویی و همکاران (2011) ضمن گزارش کاهش 30-40 درصدی جذب سطحی فسفر بر هیدروکسیدهای آهن در اثر افزایش مصرف بیوچار، این موضوع را به تغییر در بار الکتریکی متغیر و یا گروه‌های عامل در سطوح اکسیدهای آهن در اثر مصرف بیوچار نسبت دادند. کود مرغی و بیوچارهای تهیه شده در دمای پایین علاوه بر اینکه خود حاوی مقدار زیادی فسفر است سبب افزایش حلالیت فسفر بومی خاک و کاهش جذب آن نیز می‌شود. تولید اسیدهای آلی و یا ترکیبات کلات کننده در اثر تجزیه بیولوژیکی کودهای دامی در تبدیل شکل‌های نامحلول فسفات‌های آهن و آلومینیم و یا کلسیم به شکل محلول در خاک مؤثر است (هاولین و همکاران،

نتیجه گیری

غلظت‌های بسیار زیاد فسفر در محلول تعادل، سبب بیشتر شدن مقدار جذب سطحی فسفر در تیمار بیوچار 400 و حصول حداکثر جذب سطحی حتی نسبت به تیمار شاهد شد. تفاوت قابل ملاحظه در رفتار بیوچار تهیه شده در دماهای متفاوت نشان‌دهنده امکان استفاده از هر کدام برای اهداف خاص کاربردی است. به طوریکه بیوچار 400 به دلیل توانایی در جذب بیشتر نسبت به سایر بیوچارهای مورد مطالعه، می‌تواند در موارد مرتبط با آلودگی فسفر و بیوچار 300 به دلیل ظرفیت جذب سطحی کمتر و افزایش قابلیت استفاده فسفر، در کاربردهای کشاورزی و بهبود تغذیه گیاه در خاک‌های آهکی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. هرچند این موضوع نیاز به بررسی‌های بیشتری در مزرعه دارد. بیوچار تهیه شده در دمای 200 درجه سانتیگراد از نظر ویژگی‌های شیمیایی و رفتار جذب سطحی تفاوت چندانی با زیست‌توده اولیه نداشت.

با افزایش غلظت فسفر در محلول تعادل، در تمامی تیمارها مقدار جذب سطحی فسفر افزایش اما شیب افزایش در جذب کاهش یافت. کود مرغی و بیوچارهای 200 و 300 در تمامی غلظت‌های فسفر در محلول تعادل سبب کاهش مقدار جذب سطحی فسفر نسبت به تیمار شاهد شد. بیوچار 300 حداکثر تأثیر را بر کاهش مقدار جذب سطحی فسفر داشت و کود مرغی و بیوچار 200 تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند. در غلظت‌های کم فسفر در محلول تعادل، شیب افزایش جذب سطحی فسفر در نمونه‌های تیمار شده با ماده آلی کمتر از نمونه شاهد بود. در این راستا حداقل شیب در بیوچار 300 و حداکثر آن در بیوچار 400 مشاهده شد. در غلظت‌های زیاد فسفر در محلول خاک، شیب افزایش در جذب سطحی فسفر، در نمونه‌های تیمار شده با ماده آلی و به ویژه بیوچار 400 بیشتر از تیمار شاهد بود. به طوریکه در

فهرست منابع:

1. شیروانی، م. و ح. شریعتمداری. 1381. استفاده از همدماهای جذب سطحی در تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر برخی خاک‌های استان اصفهان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 6 (1)، 121-129.
2. وانقی‌راد، ه.، ک. شهبازی و ع. خانمیرزایی. 1394. جذب نیکل در برخی خاک‌های آهکی ایران. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. 5 (3)، 113-127.
3. Abe, I., S. Iwasaki, Y. Iwata, H. Kominami, & Y. Kera. (1998). Relationship between production method and adsorption property of charcoal. TANSO. 185: 277-284.
4. Agbenin, J. O., & Tiessen, H. (1995). Phosphorus sorption at field capacity and soil ionic strength. Kinetics and transformation. Soil Sci. Soc. of Am. J. 59, 998-1005.
5. Amer, F., Mahmoud, A. A., & Sabet, V. (1985). Zeta potential and surface area of calcium carbonate as related to phosphate sorption. Soil Sci. Soc. of Am. J. 49, 1137-1142.
6. Bahi, G. S., & Toor, G. S. (2002). Influence of poultry manure on phosphorus availability and the standard phosphate requirement of crop estimated from quantity-intensity relationships in different soils. Biores. Tech., 85, 317-322.
7. Bird, M. I., Ascough, P. L., Young, I. M., Wood, C. V. & Scott, A. C. (2008). X-ray microtomographic imaging of charcoal. J. Archaeol. Sci. 35: 2698-2706.
8. Cabera, A., Cox, L., Spokas, K., Hermosin, M. C., Cornejo, J., & Koskinen, W. C. (2011). Comparative sorption and leaching study of the herbicides fluometuron and 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid (MCPA) in a soil amended with biochars and other sorbents, J. Agric. Food Chem. 59, 12550-12560.

9. Cornelissen G., Gustafsson O., Bucheli T. D., Jonker M. T. O., Koelmans A. A., & Van Noort P. C. M. (2005). Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: Mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. *Environ. Sci. and Tech.* 39(18):6881-6895.
10. Cui, H. J., Wang, M. K., Fu, M. L., & Ci, E. (2011). Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar. *J. of Soils and Sediments*, 11, 1135-1141.
11. DeLuca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., & Jones, D. L. (2015). Biochar effects on soil nutrient transformations. In *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Routledge: New York, NY, USA, Volume 2, pp. 421–454. ISBN 978-0415704151.
12. Dhillon, N. S., Dhesi, T. S., & Brar, B. S. (2004). Phosphate sorption-desorption characteristics of some Ustifluents of Punjab. *J. of Indian Soc. of Soil Sci.*, 52, 17-22.
13. Dume, B., Tessema D. A., Regassa A., & Berecha G. (2017). Effects of Biochar on Phosphorus Sorption and Desorption in Acidic and Calcareous Soils. *Civil and Environ. Res.* 9(5): 10-20.
14. Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, C. & Bibens, B. (2008). Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE* 51: 2061-2069.
15. Gee, G. W. & J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-410. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Soil Sci. Soc. Amer. and Amer. Soc. Agro., Madison, WI.
16. Gul, S., & Whalen, J. K. (2016). Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. *Soil Biol. Biochem.* 103, 1–15.
17. Guo, Y. & D. A. Rockstraw. (2007). Physicochemical properties of carbons prepared from pecan shell by phosphoric acid activation. *Biores. Technol.*, 98, 1513–1521.
18. Hall, G., S. Woodborne, & M. Scholes. (2008). Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chemical Geology.* 247, 384-400.
19. Han, Y., Choi B. & Chem X. (2018). Adsorption and Desorption of Phosphorus in Biochar-Amended Black Soil as Affected by Freeze-Thaw Cycles in Northeast China. *Sustainability* 10, 1574- 1584.
20. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, & W. L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management.* 7th Ed. Pearson Education Inc., Upper Saddle River. New Jersey, USA. 515 p.
21. Jiang, T.Y., J. Jiang, R. K. Xu, & Z. Li. (2012). Adsorption of Pb(II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. *Chemosphere* 89: 249–256 .
22. Keiluweit, M., P. S. Nico, M. G. Johnson, & M. Kleber. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44: 1247-1253.
23. Kookana R. S., A. K. Sarmah, L. Van Zwieten, E. Krull, & B. Singh. 2011. Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. *Adv. in Agron.*, Volume 112: 103-143.
24. Kundu, S., & A. K. Gupta. 2006. Arsenic adsorption onto iron oxide-coated cement (IOCC): regression analysis of equilibrium data with several isotherm model and their optimization, *Chemical Engineering Journal.* 122: 93– 106
25. Lair, G. J., F. Zehetner, Z. H. Khan, & M. H. Gerzabek. (2009). Phosphorus sorption-desorption in alluvial soils of a young weathering sequence at the Danube River. *Geoderma* 149, 39-44.

26. Lehmann, J., J. Pereira da Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, & B. Glaser. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, 249, 343–357.
27. Lindsay, W. L., (2001). *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
28. Loeppert, R. H. & D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods*, Soil Sci. Soc. Amer. and Amer. Soc. Agro., Madison, WI.
29. MacDowell, R., & Condon, L. (2001). Influence of soil constituents on soil phosphorus sorption and desorption, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 2531-2547.
30. Mann, C. C. (2002). The real dirt on rainforest fertility, *Science*, 297, 920–923.
31. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*, Academic Press, London.
32. Morales M. M., N. Comerfoed, I. A. Guerrini, N. P. S. Falcao. & J. B. Reeves. (2014). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. *Soil Use and Management*.
33. Murphy J. & J. P. A. Riley. 1962. Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31–36.
34. Murphy, P. N. C., & R. J. Stevens. (2010). Lime and gypsum as source measures to decrease phosphorus loss from soils to water. *Water, Air and Soil Pollution*, 212, 101–111.
35. Namgay, T., B. Singh, & B. P. Singh. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, & Zn to maize (*Zea mays* L). *Australian Journal of Soil Research*, 48, 638–647.
36. Novak, J. M., W. J. Busscher, D. L. Laird, M. Ahmedna, D. W. Watts, & M. A. S. Niandou., (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Sci.*, 174, 105–112.
37. Ohno, T. & A. Amirbahman. (2010). Phosphorus availability in boreal forest soils: a geochemical and nutrient uptake modeling approach. *Geoderma*, 155, 46–54.
38. Olsen, S. R., & L. E. Sommer. (1982). Phosphorus. P.403-430. In: Page et al. (Ed), *Methods of Soil Analysis: Part 2.*, 2nd ed., Agron. Monogr. 9., ASA and SSSA, Madison, WI.
39. Parkinson, J. A.; & S. E. Allen. (1975). A wet oxidation procedure suitable for determination of nitrogen and mineral nutrients in biological material. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 6, 1–11
40. Pena, F., & J. Torrent. (1990). Predicting phosphate sorption in soils of Mediterranean regions. *Fertilizers Research*, 23, 173–179.
41. Raghobama, K. G. & A. S. Karthikeyan. (2005). Phosphate acquisition. *Plant Soil*, 274, 37- 48.
42. Rahman, M. M., A. Pal, K. Uddin, K. Thu, & B. B. Saha. (2018). Statistical Analysis of Optimized Isotherm Model for Maxsorb III/Ethanol and Silica Gel/Water Pairs. *Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*, 5 (4), 1-12.
43. Rayment, G. E., & F. R. Higginson. 1992. *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*, Inkata Press, Melbourne 1992, p. 330
44. Rhoades, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids, PP. 417-435. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Sci. Soc. Amer. and Amer. Soc. Agron., Madison, WI
45. Shen, J., L. Yuan, J. Zhang, H. Li, Z. Bai, X. Chen, W. Zhang, & F. Zhang. (2001). Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiol.*, 156, 997–1005.

46. Singh, B., B. P. Singh, & A. L. Cowie. (2010). Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 48: 516–525.
47. Solis, P. & J. Torrent. (1989). Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.*, 53, 456-459.
48. Summer, M. E. & W. P. Miller. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP. 1201–1230. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Sparks, D. L. (Ed.). Soil Sci. Soc. Amer. & Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
49. Takaya, C. A., L. A. Fletcher, S. Singh, K. U. Anyikude, & A. B. Ross. (2016). Phosphate and ammonium sorption capacity of biochar and hydrochar from different wastes. *Chemosphere* 145, 518-527
50. Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity: 475-490. In: Spark, D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3, Chemical Methods.* SSSA. Madison, WI.
51. Vance C. P., C. Uhde-Stone & D. L. Allan. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 157: 423-447.
52. Walky A. & I. A. Black. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Science*, 79: 459-465.
53. Wang T, M. C. Arbestain, M. Hedley, & P. Bishop. (2012). Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant and Soil.* 357:173-187.
54. Xu, G., H. B. Shao, & J. N. Sun. (2013). What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: direct or indirect mechanism? *Ecological Engine.*, 52, 119–124.
55. Xu, G., J. N. Sun, H. B. Shao, & S. X. Chang. (2014). Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engine.*, 62, 54-60
56. Xia, Y.; Y. Lou, C. Yang, & Y. Liang. (2002). Characteristics of phosphate adsorption and desorption in Paddy soils. *Sci. Agric. Sin.*, 35, 1369–1374.

Effect of Poultry Manure and Its Derived Biochar at Different Temperatures on Phosphorus Adsorption in a Calcareous Soil

M. Zolfi Bavariani¹ and M. Nowroozi

Assistant Professors, Soil and Water Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran;. E-mail: mzolfi2001@yahoo.com

Assistant Professors, Soil and Water Research Department, Bushehr Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bushehr, Iran;. E-mail: nowroozi50@yahoo.com

Received: July, 2020 and Accepted: July, 2021

Abstract

Biochar is one of the organic matter sources and it can be effective in improving P adsorption in the soil. This experiment was conducted to investigate the effect of poultry manure (PM) and its derived biochar at temperatures of 200, 300 and 400 °C on P adsorption capacity in a calcareous soil. Poultry manure and its derived biochars were mixed with 400 g of the soil and incubated at appropriate temperature and humidity for 90 days. Phosphorus adsorption isotherms were measured by the modular method at the concentration range of 0 to 90 mg.L⁻¹ of P, and adsorbed P was calculated. The results showed that the P adsorption rate decreased with increasing P concentration in the equilibrium solution in all treatments. Adsorption data were fitted with Long Muir model. In biochar-treated samples, average P adsorption gradient at the low and high P concentrations in equilibrium solution was, respectively, 56% lower and 116% higher than the control. Biochar produced at 300 and 400 °C had, respectively, the minimum and maximum impact on the amount of slope and maximum P adsorption. The maximum adsorbed P in B₃₀₀ and B₄₀₀ treatments were 144 and 246 mgkg⁻¹, respectively. At low P concentration in equilibrium solution, P adsorption gradient in B₃₀₀ and B₄₀₀ was, respectively, 5.42 and 10.1 mgkg⁻¹ for each unit change of P concentration, and it was 1.50 and 4.59 mgkg⁻¹ at the high P concentration. The behavior of B₃₀₀ in P adsorption indicates the higher possibility of using it in agricultural lands to improve P availability, compared to the other studied biochars, while B₄₀₀ behavior indicates the possibility of using it to remediate P-contaminated soil.

Keywords: Phosphorus dynamics, Adsorption isotherm, Long Muir model

¹ Corresponding author: Soil and Water Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Bushehr.