وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

کلیاتی در مورد بایوچار

نگارنده:

ماریه نادی

عضو هیأت علمی پژوهشکده پسته

۱۳۹۷

نشریه شماره ۹۴

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده پسته

کلیاتی در مورد بایوچار

نگارنده:
ماریه نادی
عضو هیئت علمی پژوهشکده پسته

پژوهشکده پسته

۱۳۹۷

نام نشریه: کلیاتی در مورد بایوچار

نویسنده: ماریه نادی

ناشر: کارگروه انتشارات پژوهشکده پسته

ویراستاران علمی: نجمه پاکدامن، سیدجواد حسینی فرد، احمد شاکر اردکانی

چاپ اول: ۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

امور فنی: فاطمه کاظمی

مسئولیت صحت مطالب با نویسنده است.

شماره ثبت در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ۵۲۹۴۲ به تاریخ۹۶/۱۰/۲۵ می باشد.

قیمت:

نشانی: رفسنجان، میدان شهید حسینی، پژوهشکده پسته

صندوق پستی: ۴۳۵-۷۷۱۷۵

پژوهشکده پسته

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۳
بایوچار	۳
تولید بایوچار	۶
• مواد اولیه	۶
• فرآیند گرماکافت	۷
چگونگی تولید بایوچار	۷
اثرات استفاده از بایوچار در خاک	۸
• تأثیر بر فاز شیمیایی خاک	۹
• تأثیر بر فاز فیزیکی خاک	۱۰
• تأثیر بر فاز بیولوژیک خاک	۱۱
سایر اثرات محیط زیستی بایوچار	۱۱
منابع	۱۲

پژوهشکده پسته

مقدمه

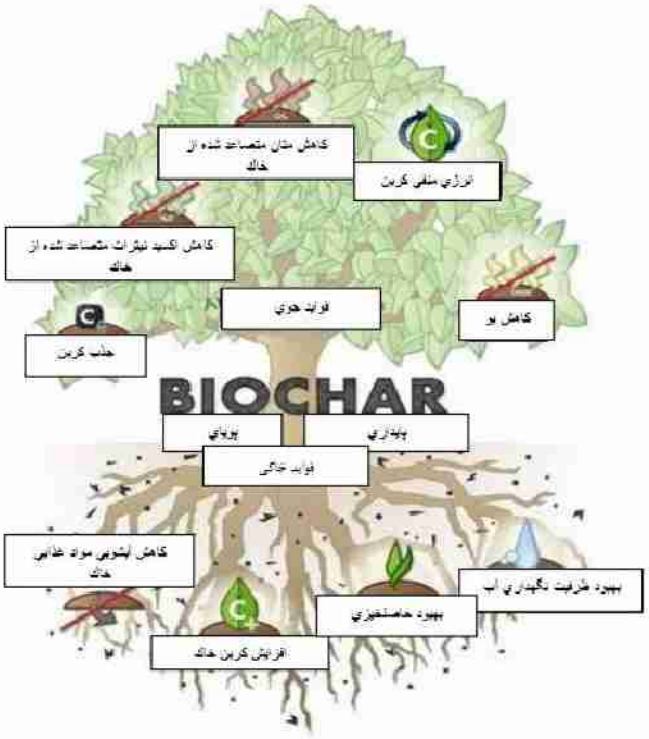
مدت‌ها قبل از کشف دنیای جدید (قاره آمریکا) توسط اروپایی‌ها، قبایل بومی مناطق آمازون از تکنیکی برای افزایش حاصلخیزی زمین‌هایشان استفاده می‌کردند. مسلم است که آنها از علوم شیمی و زیست‌شناسی امروزه اطلاعاتی نداشتند و این روش را با کمک آزمون و خطا یافته بودند. تکنیک آنها شامل سوزاندن ضایعات کشاورزی بود، درحالی‌که روی آنها را با خاک پوشانده بودند و در واقع بقایای گیاهی را در شرایط غیرهوازی می‌سوزاندند. آنچه در اثر این فرآیند (گرماکافت یا پیرولیز) ایجاد می‌شود، نوعی زغال زیستی است به نام بایوچار. بایوچار یک محصول جانبی گرماکافت مواد آلی است که به عنوان یک مخزن شیمیایی و بیولوژیکی پایدار کربن در خاک در نظر گرفته می‌شود [۱]. این ماده به علت سرعت تجزیه پایین نسبت به سایر مواد آلی و سوختن در شرایط بی‌هوازی ظرفیت بالایی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسید کربن و متان دارد. در واقع کاربرد بایوچار در خاک به عنوان یک روش برای جلوگیری از تغییرات آب و هوا از طریق نگهداری طولانی مدت کربن در خاک پیشنهاد شده است [۲]. یکی از مزایای بیوچار، مدیریت ضایعات کشاورزی است. گسترش کشاورزی ارگانیک از یک سو و آلودگی‌های جوی از سوی دیگر باعث شده تا استفاده از این ترکیب در دنیا روزبه‌روز افزایش پیدا کند. خاک‌های حاصلخیز تراپرتا در برزیل نتیجه کاربرد بیوچار طی سالیان دراز، بیش از هزار سال است. در ژاپن هم از این تکنیک (استفاده از نیم سوخته ضایعات کشاورزی) استفاده می‌شده و در سال‌های گذشته احیا گردیده است. کشورهای دیگر هم کم‌کم به کاربرد این روش سنتی و مؤثر علاقه‌مند می‌شوند و استفاده از بیوچار به روشی احیا شده از دوران قدیم برای کشاورزی در آینده تبدیل می‌شود.

بایوچار

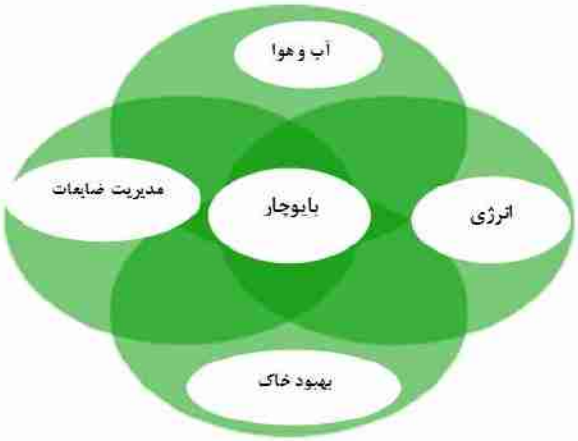
بایوچار یک ترکیب آلی پایدار است که از تجزیه گرمایی هر نوع زیست توده درفرآیند گرماکافت یعنی سوختن در شرایط بی‌هوازی یا کم‌هوازی به‌دست می‌آید. در طی این فرآیند، ماده آلی ناپایدار به یک ماده آلی نسبتا پایدار تبدیل می‌شود. سطوح بالای ماده آلی در خاک،

حاصلخیزی خاک را در پی داشته و توانایی رشد محصولات بدون استفاده از کودها را در خاک ایجاد می‌نماید [۳]. در طی فرآیند تبدیل ماده‌آلی به بایوچار، حدود ۵۰ درصد کربن فعال ذخیره شده در بافت‌های گیاهی به منبعی از کربن‌آلی تبدیل می‌گردد. در حالی‌که تثبیت کربن در اثر سوختن معمولی حدود ۳ درصد و در اثر تجزیه بیولوژیکی کمتر از ۲۰ درصد گزارش شده است [۲]. از کاربردهای عمده بایوچار در خاک به‌عنوان اصلاح کننده خاک [۴]، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، بهبود خواص فیزیکی خاک مانند ساختمان، جرم مخصوص، تهویه و ظرفیت نگهداری آب [۵] و تأثیر بر تولید، حاصلخیزی، چرخه عناصر در خاک و همچنین کاهش شستشوی عناصر غذایی است. بایوچار دارای پتانسیل کمک به بازیافت مواد مغذی، تهویه خاک، مدیریت سیستم پس‌ماند و عاملی بلند مدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن است [۶]. بایوچار ماده‌ای متخلخل با سطح ویژه بالاست [۷] که می‌تواند اثرات معنی‌داری بر رطوبت خاک و پویایی عناصر غذایی داشته باشد [۸]. شکل ۱ و ۲ بطور شماتیک فواید استفاده از بایوچار در طبیعت (شکل ۱) و اثرات زیست محیطی مختلف بایوچار (شکل ۲) را توضیح می‌دهند.

پژوهشکده پسته



شکل ۱. فواید خاکی و جوی بایوچار [۳۱]



شکل ۱: بایوچار و تأثیر آن بر فاکتورهای مختلف محیط زیست [۳۲].

تولید بایوچار

جهت تولید بایوچار به موادآلی اولیه و انرژی جهت انجام فرآیند گرماکافت نیاز است.

- **موادآلی اولیه**

معمولاً موادی که برای تولید بایوچار از آنها استفاده می‌شود ارزش اقتصادی کمی داشته یا فاقد ارزش اقتصادی می‌باشند و همچنین مشکل دفع دارند [۶]. در مالزی سالانه حدود ۱/۲ میلیون تن ضایعات کشاورزی در محل دفع زباله از بین می‌روند [۹] بنابراین نیاز به تبدیل این مواد زائد به محصولات جانبی با هزینه کم و مفید کاملاً منطقی است. از جمله مواد مورد استفاده در تولید بایوچار می‌توان به ضایعات محصولات کشاورزی شامل کاه وکلش، برگ، پوست نرم و سخت برخی محصولات و چوب اشاره نمود (شکل ۳). ضایعات کشاورزی عمدتاً از مواد لیگنوسلولزی شامل سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند. سلولز یک نوع پلیمر منظم از گلوکز با زنجیره‌های طولانی و ساختار منظم می‌باشد. همی‌سلولز، پلی‌ساکاریدی از زنجیره قند با آرایش شاخه‌ای بلند است. لیگنین متشکل از مونومرهایی است که با یکدیگر پیوند داده و به صورت مولکول‌هایی با زنجیره طولانی تشکیل شده است. ترکیب همی‌سلولز و لیگنین از یک گونه گیاهی به گونه دیگر با هم متفاوت می باشد. فرایند تولید بایوچار تغییرات واضح فیزیکی مانند تغییر رنگ، بافت، مقاومت به فشار و غیره که با چشم غیر مسلح قابل دیدن است را بر روی مواد اولیه می‌گذارد (شکل ۳). از طرفی نوع ماده اولیه مورد استفاده نیز تاثیر بسزایی بر خواص فیزیکی (شکل ۳) و شیمیایی بایوچار تولید شده می‌گذارد.

شکل ۲: تفاوت ظاهری بایوچار و مواد اولیه.

- **فرآیند گرماکافت**

گرماکافت که در واقع گرما دادن مواد زیست توده در شرایط بدون اکسیژن یا اکسیژن محدود است، منجر به تولید بایوچاری می‌شود که نسبت به تجزیه بسیار مقاوم است [۱۰]. این فرآیند بسته به مدت زمان و دمای مورد استفاده، ویژگی‌های بایوچار و پتانسیل استفاده از آن در کشاورزی و محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرآیند گرماکافت بر اساس محدوده دما به سه کلاس زیر تقسیم می‌شود [۱۱].

۱- پیرولیز آهسته (محدوده بین ۲۰۰ تا ۹۵۰ درجه سلسیوس)

۲- پیرولیز سریع (محدوده بین ۸۵۰ تا ۱۲۵۰ درجه سلسیوس)

۳- پیرولیز خیلی سریع (۱۰۵۰ تا ۱۳۰۰ درجه سلسیوس)

با افزایش تدریجی دما عملکرد بایوچار، محتوای نیتروژن کل و کربن آلی کاهش می‌یابد، در حالی‌که pH، قابلیت هدایت الکتریکی، محتوای خاکستر و پایداری کربن افزایش نشان می‌دهد [۶]. در فرآیند پیرولیز پارامترهای دما و مدت زمان گرمادهی به ترتیب مهم‌تر از بقیه عوامل تولید بایوچار هستند اگر چه خصوصیات نهایی بایوچار تولید شده نیز مهم بوده و به ماهیت مواد خام استفاده شده بستگی دارد[۱۲].

- **چگونگی تولید بایوچار**

فرآیند تبدیل یک ماده خام به بایوچار، از طریق واکنش‌های گرمایی است. این فرآیند، ترکیبی از زمان و عوامل فشار و حرارت می‌باشد که می‌تواند بسته به تولیدکننده‌ها، تجهیزات و مواد خام متفاوت باشد. دو فرآیند مهم وجود دارد: گرماکافت و تولید گاز. هر فرآورده‌ای که به شکل گاز یا مایع همراه بایوچار تولید می‌شود، ممکن است به عنوان انرژی برای مصارف دیگر، قابل بازیافت بوده و به سادگی سوزانده شود و به شکل گرما آزاد گردد. بایوچار می‌تواند از مواد خام توده‌های زیستی گوناگون تولید شود. در نتیجه سیستم‌های بسیار مختلف در مقیاس‌های متفاوت برای این منظور ساخته شده‌اند.

اثرات استفاده از بایوچار در خاک و گیاه

بایوچار یک محصول غنی از کربن است که حاصل گرماکافت زیست توده می‌باشد. هنگامی که به خاک اضافه می شود، در برابر تجزیه مقاومت می کند و با ترسیب[1] (ترسیب کربن به معنای رسوب دادن و کاهش کربن موجود در اتمسفر است) مؤثر کربن باعث کاهش انتشار گاز CO_2 می گردد. از دیگر مزایای استفاده از بایوچار در خاک عبارتند از افزایش بهره‌وری گیاه (شکل ۴ و ۵) و کاهش میزان آبشویی مواد مغذی خاک. بایوچار بواسطه ظرفیت جذب کاتیونی بالا (CEC) بسیاری از یون‌های خاک را درون و یا در سطح خود جذب و نگهداری می نماید و بدین طریق از انحلال، جذب و ایجاد شوری توسط آنها تا حد زیادی ممانعت بعمل می‌آورد. براساس تحقیقات انجام شده، افزودن بایوچار به خاک به طور متوسط باعث افزایش بهره‌وری زمین، افزایش عملکرد محصول، افزایش زیست توده میکروبی خاک، افزایش جمعیت ریزوبیا، افزایش غلظت پتاسیم بافت گیاه، فسفر خاک (P) ، پتاسیم خاک (K)، کل نیتروژن خاک (N) و کل کربن خاک (C)در مقایسه با شرایط کنترل گردیده است. pH خاک نیز پس از افزودن بایوچار تمایل به افزایش داشته است [۱۳].

شکل ۳. تأثیر تأثیر بایوچار بر رشد بخش هوایی و ریشه تیمارها گیاهان.

[1] Carbon sequestration

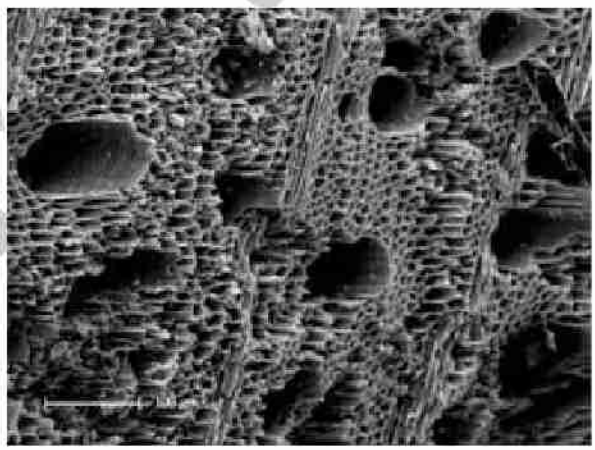
- **تأثیر بر فاز شیمیایی خاک**

بسیاری از مطالعات، تأثیر معنی‌دار افزودن بایوچار بر خواص شیمیایی خاک‌ها را نشان داده‌اند [۱۴-۱۶]. افزایش حاصلخیزی و کاهش اسیدیته خاک و همچنین تقویت مواد غذایی قابل دسترس گیاه از اثرات بارز افزودن بایوچار به خاک می‌باشد. برای مثال بایوچار مشتق شده از تعدادی از گیاهان و حیوانات، pH خاک را به صورت بیشینه حداکثر تا ۷۳٪ و بطور میانگین ۲۸٪، بسته به مقدار مصرف، افزایش می‌دهد [۱۵، ۱۷]. البته بعضی بایوچارهای دارای pH کمتر از ۷ نیز گزارش شده است که منجر به کاهش قلیاییت خاک‌های تیمار شده با آنها خواهند شد [۱۵، ۱۸]. در مطالعات گلخانه‌ای و آزمایشگاهی، افزایش سطح عناصر غذایی شامل پتاسیم، روی، مس و منگنز در خاک‌های تیمار شده با بایوچار تأیید شده است [۱۸]، بایوچار علاوه بر افزایش مواد مغذی باعث حفظ این مواد در خاک نیز می گردد [۱۹]. ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از فاکتورهای بسیار مهم ارزیابی کیفیت خاک است. افزایش این فاکتور منجر به بهبود شرایط حاصلخیزی خاک می گردد. افزودن بایوچار به خاک به دلیل ساختار آلی این ماده و وجود عامل‌های کلات‌کننده زیاد در سطوح داخلی و خارجی آن منجر به افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادلی خاک می گردد [۲۰]. بایوچار همچنین بسته به دمای تشکیل و ترکیب اولیه ماده آلی، با جذب و نگهداری موادمغذی و رهاسازی آرام در مدت زمان زیاد کمک زیادی به حاصلخیزی و فراهمی عناصر مورد نیاز گیاه وهمچنین بهبود خصوصیات بیولوژی خاک می‌نماید [۱۶].

شکل ۴. تأثیر بایوچار بر رشد محصول.

- **تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی خاک**

بایوچارها معمولاً ترکیباتی سبک با تخلخل بسیار زیاد بوده (شکل ۶) که منجر به تغییر و بهبود خواص فیزیکی خاک مانند جرم حجمی، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت آب موجود، سطح ویژه و مقاومت نفوذی خاک می‌گردند [۱۴]. با افزایش سطح ویژه خاک، قابلیت آن برای جذب و نگهداری آب و مواد مغذی افزایش می‌یابد [۲۱، ۲۲]. افزایش بایوچار به خاک، تشکیل و تثبیت خاکدانه‌های خاک را بطور معنی‌داری ارتقا می‌بخشد [۲۳]. به‌طور کلی تشکیل و تثبیت خاکدانه‌های یک خاک منجر به ساختمان سازی، بهبود شرایط تهویه و افزایش نفوذپذیری خاک می‌گردد. با بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل ناشی از تشکیل خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک که یکی از فاکتورهای فیزیکی کیفیت خاک است کاهش یافته و کیفیت خاک افزایش می‌یابد [۲۴]. از اثرات مهم بایوچار، تأثیر آن بر افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک است [۲۵]. بایوچار به عنوان یک ماده آلی با تأثیر بر ساختمان سازی، ایجاد خلل و فرج در خاک و افزایش سطح ویژه نقش بسزایی در جذب و نگهداری آب در خاک دارد. گروه‌های عاملی موجود در ساختار بایوچار نیز به طرق مختلف در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه نقش دارند [۱۴].



شکل ۵: تصویری از یک نمونه بایوچار زیر میکروسکوپ الکترونی.

- **تأثیر بر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک**

بایوچار بعنوان یک ماده آلی بطور مستقیم و غیر مستقیم تأثیر افزاینده‌ای بر جمعیت و فعالیت میکروب‌های خاک دارد. بطور کلی افزایش یک ماده آلی به خاک به دلیل فراهم‌آوری مواد غذایی مورد نیاز جمعیت میکروبی و کاهش رقابت بین آنها منجر به افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها و به دنبال آن افزایش فعالیت آنها می‌گردد [۲۶، ۲۷]. منافذ بایوچار به عنوان زیستگاه مناسبی از میکروارگانیسم‌های خاک در برابر فرسایش، خشکی و سایر عوامل خطرساز محافظت می‌نماید. از طرفی افزایش بایوچار با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی از جمله تهویه، ساختمان، رطوبت و غیره بطور غیرمستقیم اثر مثبتی بر بخش میکروبی خاک می‌گذارد [۲۸].

سایر اثرات محیط زیستی بایوچار

سوختن و تجزیه بقایای زیستی و ترکیبات آلی میزان زیادی گاز دی‌اکسیدکربن وارد جو زمین می‌کند. بایوچار، کربن تثبیت شده و با ثباتی است که می‌تواند میزان زیادی گازهای گلخانه‌ای را برای مدت طولانی (قرن‌ها) درون خود انبار سازد و در نتیجه میزان گازهای گلخانه‌ای را کنترل کند. استفاده از بایوچار، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2، N_2O، CH_4) را به دنبال دارد [۲۱]. بیوچار می‌تواند سبب ترسیب کربن در خاک برای هزاران سال شود و به عبارت دیگر با جذب دی‌اکسیدکربن اضافی جو توسط اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان، بقایای گیاهی و جلبک‌ها، به کاهش آثار سوء پدیده گرم شدن زمین کمک بسزایی نماید. بایوچار قادر به سم‌زدایی زیستی و بیولوژیکی در خاک می‌باشد بنابراین به‌عنوان یک ماده طبیعی آلی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش آلودگی خاک داشته باشد [۲۹]. بایوچار تأثیر بسزایی در کاهش فرسایش خاک دارد، در واقع این ترکیب به دلیل افزایش قطر خاکدانه‌های خاک و ایجاد فضای کافی برای نفوذ آب در خاک و همچنین اثر بر بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک باعث مقاومت خاک در برابر فرسایش می‌گردد [۲۵]. این ماده همچنین قادر به جذب عناصر آلوده کننده در خاک و محیط‌های آبی بوده و بدین طریق نقش زیادی در کاهش آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین و عناصر آلوده کننده دیگر دارد [۳۰].

منابع

۱. Schmidt, M.W. and A.G. Noack, *Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges.* Global biogeochemical cycles, 2000. **14**(3): p. 777-793.

۲. Woolf, D., et al., *Sustainable biochar to mitigate global climate change.* Nature communications, 2010. **1**: p. 1.

۳. Novak, J.M., et al., *Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand.* Annals of Environmental Science, 2009. **3**(1): p. 195-206.

۴. Lehmann, J., *A handful of carbon.* Nature, 2007. **447**(7141): p. 143-144.

۵. Chan, K., et al., *Using poultry litter biochars as soil amendments.* Soil Research, 2008. **46**(5): p. 437-444.

۶. بهشتی، م. همکاران.، تغییرات کیفیت بیوچار تولید شده از کاه و کلش گندم در طی فرآیند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف،تحقیقات آب و خاک ایران، ۱۳۹۵. ۲۶۷-۴۷(۱):۲۵۹.

۷. Liang, B., et al., *Black carbon increases cation exchange capacity in soils.* Soil Science Society of America Journal, 2006. **70**(5): p. 1719-1730.

۸ Lehmann, J. and S. Joseph, *Biochar for environmental management: science ،technology and implementation.* 2015: Routledge.

۹. Tsai, W., M. Lee, and Y. Chang, *Fast pyrolysis of rice husk: Product yields and compositions.* Bioresource technology, 2007. **98**(1): p. 22-28.

۱۰. Thies, J.E. and M.C. Rillig, *Characteristics of biochar: biological properties.* Biochar for environmental management: Science and technology, 2009: p. 85-105.

۱۱. Maschio, G., C. Koufopanos, and A. Lucchesi, *Pyrolysis, a promising route for biomass utilization.* Bioresource technology, 1992. **42**(3): p. 219-231.

۱۲. Sohi, S., et al., *A review of biochar and its use and function in soil.* Advances in agronomy, 2010. **105**: p. 47-82.

۱۳. Biederman, L.A. and W.S. Harpole, *Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis.* GCB bioenergy :(۲)۵ .۲۰۱۳ ،p. 202-214.

۱۴. Mukherjee, A. and R. Lal, *Biochar and Soil Quality.* 2016.

۱۵. Prommer, J., et al., *Biochar decelerates soil organic nitrogen cycling but stimulates soil nitrification in a temperate arable field trial.* PloS one, 2014. 9(1): p .e86388.

۱۶. Mukherjee, A. and A.R. Zimmerman, *Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures.* Geoderma, 2013. **193**: p. 122-130.

۱۷. Mukherjee, A., et al., *Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging.* Solid Earth, 2014. **5**(2): p. 693.

۱۸. Inal, A., et al., *Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize.* Soil use and management, 2015. **31**(1 :(p. 106-113.

١٩. Zheng, J., C.E. Stewart, and M.F. Cotrufo, *Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils.* Journal of environmental quality, 2012. **41**(5): p. 1361-1370.

٢٠. Martinsen, V ،.et al., *Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming.* Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2014. **177**(5): p. 681-695.

٢١. Mukherjee, A., R. Lal, and A. Zimmerman, *Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil.* Science of the Total Environment, 2014. **487**: p. 26-36.

٢٢. Dempster, D., et al., *Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil.* Plant and Soil, 2012. **354**(1-2): p. 311-324.

٢٣. Ouyang, L., et al., *Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties.* Journal of soil science and plant nutrition, 2013. **13**(4): p. 991.١٠٠٢–

٢٤. Dexter, A., *Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.* Geoderma, 2004. **120**(3): p. 201-214.

٢٥. Jien, S.-H. and C.-S. Wang, *Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil.* Catena, 2013. **110**: p. 225-233.

٢٦. Rutigliano, F., et al., *Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop.* European Journal of Soil Biology, 2014. **60**: p. 9-15.

٢٧. Prayogo, C., et al., *Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial*

community biomass and structure. Biology and Fertility of Soils, 2014. **50**(4): p. 695-702.

۲۸. Khorram, M.S., et al., *Biochar: A review of its impact on pesticide behavior in soil environments and its potential applications.* Journal of Environmental Sciences, 2016. **44**: p. 269-279.

۲۹. Kim, M.-S., et al., *The effectiveness of spent coffee grounds and its biochar on the amelioration of heavy metals-contaminated water and soil using chemical and biological assessments.* Journal of environmental management, 2014. **146**: p. 124-130.

۳۰. Tan, X., et al., *Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions.* Chemosphere, 2015. **125**: p. ۷۰-۸۵

31 https://www.exposingtruth.com/mainstream-media-turns-heads-toward-biochar/

32 https://www.biochar.ac.uk/what_is_biochar.php

پژوهشگاه پسته