

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، حفاظت زیستی خاک، رواناب، رسوب.

#### مقدمه

در دهه‌های اخیر تهدیدهای مربوط به تخریب و آلودگی خاک و آب رو به افزایش بوده است [۱۱]. این موضوع احتمالاً منجر به مشکلات ثانویه زیست‌محیطی، اکولوژیکی، امنیت غذایی، کمبود آب و حتی تغییر اقلیم می‌شود [۳۷]. منابع آب و خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی یک کشور هستند که کلیه نیازهای غذایی انسان و دام از آن‌ها فراهم می‌گردد، اما متأسفانه دائماً در معرض تجاوز و دگرگونی‌های عوامل انسانی و غیرانسانی قرار می‌گیرند. حیات بشر به فراهم شدن غذا، آب، انرژی و تنوع‌زیستی وابسته است. در این کره خاکی زمین‌هایی با کیفیت پایین و غیرقابل کشت قادر به تولید غذای جمعیت در حال رشد بشر نخواهند بود. برای تولید غذای تمام ساکنین زمین سرانه‌ای در حدود نیم هکتار زمین زراعی مطلوب مورد نیاز است. سالانه حدود ۷۵ بیلیون تن خاک زراعی در اثر فرسایش بادی و آبی از دسترس خارج می‌شود و ۱۲ بیلیون هکتار از زمین‌های زراعی متروکه می‌شوند [۵۷]. آب‌های سطحی جاری یا رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های منابع آب در کشورها براساس پتانسیل بالقوه منابع آب سطحی می‌باشد. آلودگی و تخریب منابع آب در دهه‌های اخیر نیز به یک تهدید جدی و در حال گسترش برای جامعه انسانی و اکوسیستم‌های طبیعی تبدیل شده است به‌طوری‌که برای مثال هر ساله ۲۵ بیلیون نفر در کشورهای فقیر در اثر تخریب منابع آب از بین می‌روند [۵۰]. به‌منظور حفاظت خاک و آب معمولاً از روش‌های مکانیکی و غیرمکانیکی استفاده می‌شود. روش‌های فیزیکی و مکانیکی حفاظت خاک و آب در مقیاس بزرگ، پیچیده و هزینه‌بر می‌باشند [۲۵]. یافتن راه‌کاری به‌عنوان جایگزین روش‌های مکانیکی هزینه‌بر که پتانسیل آسیب رساندن به محیط زیست را نیز دارند، می‌تواند موجب پیشرفت چشم‌گیری در افزایش توانایی و ابتکار عمل نزد سیاست‌گذاران و دستگاه‌های اجرایی جهت کنترل کیفی و کمی منابع آب و خاک شود. فناوری حفاظت زیستی خاک و آب بسیار اقتصادی است و با سهولت بیش‌تری نسبت به روش‌های مکانیکی انجام می‌شود، اما کارایی این روش ثابت نیست چرا که نسبت به محیط اطراف خود حساس است و تأثیر می‌پذیرد [۳، ۳۲].

## مروری بر کاربرد زغال‌های زیستی در حفاظت خاک و آب

ایمان صالح<sup>۱\*</sup>، مجید خزایی<sup>۱</sup> و جهان‌شاه صالح<sup>۲</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

#### چکیده

منابع آب و خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی یک کشور هستند که کلیه نیازهای غذایی انسان و دام از آن‌ها فراهم می‌گردد، اما متأسفانه دائماً در معرض تجاوز و دگرگونی‌های عوامل انسانی و غیرانسانی قرار می‌گیرند. استفاده از زغال‌های زیستی یکی از راه‌کارهایی است که اخیراً در مجامع علمی بین‌المللی به‌منظور حفاظت خاک و آب مورد توجه قرار گرفته است. زغال‌زیستی یک ماده متخلخل غنی از کربن است که با حرارت دادن هر گونه توده زیستی آلی در یک محیط عاری از اکسیژن توسط فرآیندی به نام پیرولیز (آتشکافت) تهیه می‌شود. استفاده از زغال‌های زیستی دستاوردهایی نظیر مدیریت زباله، افزایش حاصل‌خیزی و بهبود کیفیت خاک، کاهش حجم رواناب و آلاینده‌های موجود در آن، تولید انرژی و کاهش مشکلات زیست‌محیطی شامل تغییر اقلیم و آلودگی آب را به همراه خواهد داشت. بایستی توجه داشت که خصوصیات خاک و نیز خصوصیات زغال‌زیستی در میزان کارایی زغال‌های زیستی در عملکردهای بنیادی خاک تأثیرگذار می‌باشند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده، می‌توان دریافت که زغال‌زیستی بیش‌تر در بخش کشاورزی و تولید محصول به کار برده شده و کم‌تر در بخش فرسایش و حفاظت خاک از آن استفاده شده است که با توجه به قابلیت این مواد در مهار رواناب و فرسایش و البته با در نظر گرفتن مخاطرات استفاده از آن‌ها در شرایط مختلف، بایستی در این بخش نیز مورد توجه قرار گیرند.

۱- استادیار بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران  
۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران \* نویسنده مسئول: E-Mail: salehiman61@gmail.com

استفاده از راهکارهای غیرمکانیکی در صورت امکان تبدیل بقایای کشاورزی به جاذب‌های مناسب برای شوری زدایی آب، می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی را در نواحی خشک و نیمه‌خشک توسعه دهد و از طرفی پسماندهای گیاهی که سوزاندن آن‌ها منجر به آلودگی هوا می‌شود را می‌توان مدیریت کرد. استفاده از زغال‌های زیستی یکی از این راهکارهاست که اخیراً در مجامع علمی بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است. به دلیل مقدار بالای رواناب و به تبع آن فرسایش گزارش شده و فقر ماده آلی در خاک‌های ایران، لزوم استفاده از اصلاح کننده‌های خاک و افزایش دهنده ماده آلی در خاک روز به روز بیش‌تر احساس می‌شود [۶]. هم‌چنین در سیستم‌های زمینی، خاک یک مخزن بزرگ آلاینده‌های مضر محسوب می‌شود در حالی که نیازهای اساسی انسان مانند برنج، سبزیجات و ... به تولیدات کشاورزی وابسته است [۷۲]. بنابراین برای توسعه بلند مدت، بهبود خصوصیات خاک بسیار حائز اهمیت است و زغال‌های زیستی به عنوان ماده اصلاح کننده‌ای معرفی شده‌اند که اثر بسیار ناچیزی بر محیط زیست و هم‌چنین سلامت انسان و حیوانات دارند [۴۳]. تحقیقات مرتبط با زغال‌های زیستی از سال ۱۸۷۰ آغاز شد [۲]. محققین آزمایشات گسترده‌ای بر روی زغال‌های زیستی تولید شده از مواد و توده‌های زیستی گوناگون مانند چوب، برگ گیاهان، لجن و ... به انجام رسانده‌اند. اما تا به امروز هنوز این سؤال وجود دارد که آیا زغال‌های زیستی منبع یا تخلیه کننده آلاینده‌های آلی و غیرآلی هستند. اگرچه اغلب این مطالعات بر قابلیت زغال‌های زیستی در جذب آلاینده‌های آلی و غیرآلی از خاک و آب بسته به خصوصیات مواد اولیه و دمای آتشکافت زغال‌های زیستی تأکید نموده‌اند [۲۰، ۶۷]. لازم به ذکر است که اغلب مطالعات انجام شده در گذشته به بررسی قابلیت زغال‌های زیستی در بهبود فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اختصاص داشته است تا کاهش آلاینده‌های خاک. اما ظرف پنج سال گذشته، مطالعات بیش‌تر به بررسی قابلیت زغال‌های زیستی در کاهش آلاینده‌های خاک و بهبود کیفیت آن پرداخته‌اند [۱۷، ۵۹ و ۷۲].

### زغال‌زیستی<sup>۱</sup>

اگرچه زغال‌زیستی مفهومی است که از قرن ۱۹ میلادی شناخته شده است اما در ۱۰ سال اخیر توجه محققین را به خود جلب نموده است. زغال زیستی یک ماده متخلخل غنی از کربن است که با حرارت دادن هر گونه توده زیستی آلی در یک محیط عاری از اکسیژن توسط فرآیندی به نام پیرولیز (آتشکافت)<sup>۲</sup> تهیه می‌شود [۶۷]. به عبارت دیگر زغال زیستی یک ماده آلی مقاوم به تجزیه و با ماندگاری بالا بوده که به عنوان یک محصول جانبی طی فرآیند آتشکافت زیست توده طبیعی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن بسیار محدود تولید شده و می‌توان از آن به عنوان یک مخزن شیمیایی زیستی پایدار کربن در خاک استفاده کرد [۴۹]. به طور کلی زغال‌های زیستی شامل کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن هستند که درصد

1. Biochar
2. Pyrolysis

عمده آن‌ها را (۳۸-۸۰ درصد) کربن تشکیل می‌دهد [۷۵].

هم‌چنین به لحاظ عملکرد، زغال‌زیستی به عنوان یک ماده آلی نیم‌سوز شده که به منظور کاربردهای متعدد زیست محیطی شامل تولید انرژی و بهبود کیفیت آب و خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعریف می‌شود [۲].

به طور کلی پسماندهای کشاورزی و بقایای گیاهی مواد مناسبی برای تولید زغال زیستی محسوب می‌شوند [۶۹، ۷۷]. زغال‌های زیستی معمولاً از زباله‌های سبز و کشاورزی، فضولات مرغ و فاضلاب شهری که البته در قیمت تولید متفاوتند، تهیه می‌شوند [۶۵]. درصد استفاده از زغال زیستی در خاک بین ۲ تا ۲۰ درصد می‌باشد که میزان آن بر اساس نیازهای یک طرح تعیین می‌شود [۱۴، ۷۴]. تولید زغال‌های زیستی از زیست توده‌های دور ریختنی به جای سوخت‌های فسیلی گزینه‌ای دوستدار محیط زیست و اقتصادی فراهم می‌آورد [۵]. این توده‌های زیستی را می‌توان از منابع مختلفی مانند بقایای گیاهی، زباله‌های جنگلی، فضولات حیوانی، زباله‌های تولید غذا، زباله‌های کاغذی، زباله‌های جامد شهری و لجن فاضلاب تهیه نمود [۲ و ۳۷]. خصوصیات فیزیکی-شیمیایی زغال‌های زیستی مانند حالت مشبک سه بعدی و هم‌چنین ساختار خلل و فرج آن می‌تواند منجر به ذخیره بلندمدت کربن و جذب و کاهش آلاینده‌های موجود در خاک و آب شود [۶۷].

اهداف اصلی تولید زغال‌های زیستی عبارتند از: مدیریت زباله، بهبود خاک، تولید انرژی و کاهش مشکلات زیست محیطی شامل تغییر اقلیم و آلودگی آب [۳۶]. زغال‌های زیستی در حال تبدیل شدن به اصلاح کننده‌هایی با چندین هدف از جمله ذخیره کربن، بهبود حاصلخیزی خاک و اصلاح خاک‌های آلوده هستند [۸، ۴۵ و ۷۹]. تولید زغال‌زیستی می‌تواند به عنوان یک فناوری زیستی ارزان و دوستدار محیط زیست جهت بهره‌برداری از بقایای توده‌های زیستی تلقی شود [۳۴]. این موضوع ثابت شده است که زغال‌های زیستی می‌توانند جایگزین مواد اصلاح کننده در خاک‌هایی که آلوده به فلزات سنگین هستند، شود [۸۰]. پژوهشگران بسیاری پتانسیل زغال‌های زیستی را به عنوان جاذب و نگهدارنده ارزان قیمت ترکیبات شیمیایی آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین، حشره کش‌ها و علف‌کش‌ها نشان داده‌اند [۱۲، ۱۳ و ۲۹]. اسیدیت زغال‌های زیستی از خنثی تا قلیایی متغیر است. البته این در حالی است که زغال‌زیستی اسیدی هم گزارش شده است [۴۱ و ۵۸]. در حالت نرمال اسیدیت زغال‌های زیستی حدود ۱۲-۵ است [۲ و ۷۶] که با توجه به مواد اولیه مورد استفاده و فرآیند ترموشیمیایی تولید آن تغییر می‌نماید، به طوری که اسیدیت زغال‌های زیستی با افزایش دمای پیرولیز و غلظت مواد معدنی افزایش می‌یابد [۲ و ۵۱]. اسیدیت زغال‌های زیستی تحت تأثیر مواد اولیه، دمای پیرولیز و مدت زمان نگهداری آن‌هاست [۲۸ و ۴۰]. به عنوان مثال یوان و همکاران [۷۷] گزارش کردند که کلیه زغال‌های زیستی تولید شده از کاه و کلش ذرت، بادام زمینی و سویا در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد اسیدی هستند.

## تأثیر زغال‌زیستی بر خصوصیات خاک

اضافه کردن زغال‌های زیستی به خاک می‌تواند خصوصیات فیزیکی خاک شامل توزیع اندازه خلل و فرج، تخلخل، چگالی ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع و نگهداشت آب را بهبود بخشد [۱]. هم‌چنین زغال‌های زیستی موجب کنترل شوری و اسیدیته خاک در اثر افزایش کربن، مواد آلی و رطوبت خاک می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، زغال‌های زیستی می‌توانند خصوصیات فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهند و خاک‌هایی که با زغال‌های زیستی تیمار شده‌اند خصوصیات فیزیکی بهبودیافته‌ای را در مقایسه با خاک‌های بدون زغال زیستی نشان داده‌اند [۸۱]. برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که کاربرد زغال‌های زیستی موجب بهبود خلل و فرج کل، ظرفیت نگهداشت آب و چگالی ظاهری خاک می‌شود [۲۳، ۴۶ و ۶۸]. زغال‌های زیستی ساختار خاک را نیز از طریق رشد زیرزمینی و هوایی گیاه و برخی فرآیندهای دیگر که در نهایت سطح ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بهبود می‌بخشد. هم‌چنین زغال‌های زیستی موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خصوصاً از طریق افزایش کلسیم خاک می‌شوند. البته میزان تأثیرات یاد شده با تغییر نوع خاک و مواد اولیه تهیه زغال‌زیستی، نرخ اعمال زغال‌زیستی و مدت زمانی که از اضافه کردن زغال‌زیستی به خاک گذشته است، تغییر می‌نماید [۵۳]. بر اساس پژوهش یانوس و همکاران [۲۸] زغال‌زیستی تهیه شده از کود دامی و تراشه‌های چوب، چگالی ظاهری خاک را از ۱/۲۲ به ۱ گرم بر مترمکعب کاهش می‌دهد. اولمو و همکاران [۵۴] نیز نشان دادند که زغال‌زیستی پیرولیز شده از درخت زیتون در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به‌منظور کاهش فشردگی خاک مورد استفاده قرار گیرد.

## کاربرد زغال‌های زیستی در حفاظت خاک و آب

براساس مطالعات انجام شده، زغال‌های زیستی می‌توانند به‌طور مؤثری آلاینده‌های موجود در آب را کاهش دهند [۴۹]. با اضافه کردن زغال‌زیستی به خاک انتظار می‌رود که رشد گیاه افزایش یابد و در نهایت موجب کاهش فرسایش شود [۹، ۲۰]. متأسفانه اکثر بقایای گیاهی سوزانده شده و باعث آلودگی هوا و محیط زیست می‌شود. در تحقیقی که توسط صادقی و همکاران [۶۵] انجام شد، تأثیر استفاده از زغال زیستی به‌عنوان یک راه‌کار اقتصادی و دوستدار محیط زیست، در بهبود عملکرد مؤلفه‌های غلظت رسوب و شدت فرسایش به اثبات رسید. قویمی‌پناه و همکاران [۲۲] نیز به بررسی نقش خاک‌پوش سطحی زغال‌زیستی حاصل از پسماند کارخانه‌های لبنی بر افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش رواناب پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از زغال‌های زیستی به‌عنوان راه‌کاری ایمن، اقتصادی و زیست‌محیطی با هدف بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل، میزان نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک برای برنامه‌های مدیریتی حفاظت آب و خاک بهره برد. هم‌چنین در این پژوهش مقدار بهینه مصرف زغال‌زیستی ۸۰۰ گرم بر متر مربع تعیین شده است. صادقی و همکاران [۶۴، ۶۵] برای

اولین بار در دنیا اثر زغال‌زیستی تهیه شده از ویناس (پسماند آلی صنایع نیشکر و الکل‌سازی) را بر کنترل رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌سازی باران مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج ایشان، زغال‌زیستی مورد استفاده در این پژوهش حجم رواناب و میزان هدررفت خاک را کاهش داد. هم‌چنین مدت زمان تا شروع بارندگی از عوامل دیگر مؤثر در عملکرد زغال‌زیستی مورد استفاده در کاهش رواناب و هدر رفت خاک بود. به‌طوری‌که تیمار حاوی زغال‌زیستی استفاده شده در ۴۸ ساعت قبل از بارندگی عملکرد بسیار مناسب‌تری از تیمار حاوی زغال‌زیستی استفاده شده در ۲۴ ساعت قبل از بارندگی داشت. جین و وانگ [۳۰] با مطالعه اثرات استفاده از زغال‌زیستی بر خصوصیات و پتانسیل فرسایش خاک به این نتیجه رسیدند که زغال‌های زیستی با کاهش چگالی ظاهری و افزایش میانگین وزنی قطر ذرات خاک سبب کاهش هدر رفت خاک می‌شوند. نتایج پژوهش انجام گرفته توسط لی و همکاران [۳۹] نشان داد که اضافه کردن زغال‌زیستی به خاک موجب کاهش تولید رواناب می‌شود. هم‌چنین نرخ استفاده از زغال‌زیستی نقش مؤثرتری در کاهش رواناب و رسوب نسبت به اندازه ذرات خاک ایفا می‌نماید. به اعتقاد محققین مذکور، میزان منطقی نرخ زغال زیستی و اندازه ذرات آن می‌تواند فرسایش خاک را کنترل نماید. ایشان گزارش نمودند که در این پژوهش، نرخ ۱ درصد زغال‌زیستی و اندازه ذرات کمتر از ۰/۲۵ میلی‌متر بهترین عملکرد را در کاهش رواناب و هدررفت خاک داشته است.

پالانسوریا و همکاران [۵۵] مروری بر اثرات کاربرد زغال‌زیستی بر کشاورزی در اراضی مرتفع به انجام رساندند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که علاوه بر بهبود خصوصیات خاک، زغال‌های زیستی پتانسیل کاهش فلزات سنگین در خاک‌های آلوده را دارند. به عقیده این محققین تأثیر زغال‌های زیستی بر رشد گیاه نیز به مکانیزم‌های مربوط به برهمکنش خاک و زغال‌زیستی بستگی دارد. یوان و همکاران [۷۶] نیز کاهش محسوس فلزات سنگین توسط زغال زیستی حاصل از پسماندهای صنعتی و شهری را گزارش کرده و دمای ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را مناسب‌ترین دما در تولید زغال زیستی اعلام نمودند. رستمیان و همکاران [۶۳] با بررسی کاربرد زغال زیستی تهیه شده از شلتوک برنج در شوری‌زدایی آب آبیاری گزارش نمودند که با تبدیل مواد کم‌ارزشی مانند پسماندهای کشاورزی به مواد با ارزشی مانند زغال زیستی می‌توان مدیریت این پسماندها را بهبود بخشید. هم‌چنین با به‌کار بردن شلتوک برنج در پیش‌تصفیه آب شور می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرده و هزینه‌ها را کاهش داد. دوان و همکاران [۱۹] نیز تأثیر زغال‌زیستی را بر حاصل‌خیزی و فرسایش خاک مورد مطالعه قرار دادند و اعلام نمودند که استفاده از زغال‌زیستی نه تنها بر بهبود خاک تأثیر دارد بلکه اثرات منفی کشاورزی بر کیفیت آب را نیز کاهش می‌دهد. ژی-گو و همکاران [۸۲] اثرات مفید استفاده از زغال‌زیستی بر فرسایش و هدر رفت مواد مغذی خاک را در اراضی شیب‌دار مورد مطالعه قرار

دادند. بر اساس نتایج این محققین، تیمار حاوی زغال‌زیستی میانگین سالانه رواناب را به میزان ۲۸-۱۹ درصد و میانگین سالانه تولید رسوب را تا ۱۱ درصد کاهش داد. همچنین میزان هدررفت نیتروژن و فسفر کاهش یافت اگرچه هنوز مقدار نیتروژن و فسفر موجود در آب از حد استاندارد بالاتر بود. پیشنهاد نهایی این پژوهش استفاده ترکیبی زغال‌زیستی و پوشش زیستی به منظور کاهش تولید رسوب علی‌الخصوص در اراضی شخم خورده می‌باشد. همچنین پیکه و همکاران [۵۶] بیان نمودند که کاربرد زغال‌زیستی حاصل از کاج می‌تواند موجب بهبود پایداری خاکدانه‌ها، رطوبت ظرفیت مزرعه و جرم مخصوص ظاهری شود.

#### عوامل مؤثر بر خصوصیات زغال‌های زیستی

مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که خصوصیات زغال‌زیستی بسیار به شرایط پیرولیز مانند مواد اولیه (شکل ۱ و جدول ۱)، دمای کوره و زمان (جدول ۲) وابسته است که تأثیرات عملی زغال‌های زیستی را بر خصوصیات خاک تعیین می‌نماید [۴، ۴۴ و ۷۳]. به عنوان مثال نوع ماده اولیه تأثیر بیش‌تری از دمای پیرولیز بر عملکرد زغال‌زیستی در کاهش فلزات سنگین دارد [۲۴].



شکل ۱: زغال‌های زیستی تهیه شده از مواد اولیه مختلف [۳۱]

در جدول‌های (۱) و (۲) تفاوت برخی خصوصیات زغال‌زیستی تولید شده از مواد اولیه مختلف و همچنین روش‌های مختلف آشکافت ارائه شده است.

همچنین ترکیبات آروماتیک می‌توانند نقش مهمی را در شکل شبکه‌های خلل و فرج زغال‌های زیستی ایفا نمایند. لیو و همکاران [۴۲] با تحقیقی که در زمینه استفاده از زغال‌های زیستی به انجام رساندند به این نتیجه رسیدند که استفاده از زغال‌های زیستی با تخلخل داخلی زیاد و دانه‌های با اشکال نامنظم تأثیر قابل توجهی بر ذخیره آب در خاک‌های دانه درشت دارد. بر اساس گزارش پژوهشگران متعدد، دمای پیرولیز نقش بسیار مهمی را در تغییر خلل و فرج و سطح ویژه زغال‌های زیستی ایفا می‌نماید. لازم به ذکر است که قابلیت بالای نگهداشت آب بسیار به ساختار یکنواخت خلل و فرج و سطح ویژه بالا وابسته است. در یک بازه معین دمایی، هرچه دمای پیرولیز بیش‌تر شود، سطح ویژه زغال‌های زیستی نیز افزایش می‌یابد، هرچند با فزونی دما از دامنه تعیین شده، این اثر معکوس خواهد شد [۱۵]. زغال‌زیستی تولید شده در دمای گرماکافت کم نسبت به دمای بالا به علت دارا بودن درصد بیش‌تری از عناصر غذایی دارای ویژگی اصلاح‌کنندگی بهتری برای خاک می‌باشد و زغال‌زیستی تولید شده در دمای گرماکافت بالا به علت مقاومت زیاد کربن در برابر تجزیه، دارای ظرفیت زیادی برای ترسیب کربن می‌باشد [۷۰]. به طور کلی عملکرد بهینه در تولید زغال‌های زیستی در دمای پیرولیز ۵۰۰-۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۶۰-۴۵ دقیقه به دست آمده است [۷۸]. نیک [۴۹] پس از انجام آزمایشی گزارش نمود که اگرچه زغال‌های زیستی در طول ۱۱ روز آلاینده‌های موجود در آب را ۶۰-۳۰ درصد کاهش دادند اما با گذشت زمان از کارایی آن‌ها کاسته شد. بنابراین گذشت زمان می‌تواند از کارایی زغال‌های زیستی بکاهد و اضافه نمودن مجدد آن‌ها به خاک پس از مدتی - که

جدول ۱: خصوصیات زغال‌های زیستی تهیه شده از مواد اولیه مختلف [۴۹]

| مواد خام           | pH   | سطح ویژه<br>(متر مربع بر گرم) |
|--------------------|------|-------------------------------|
| ذرت                | ۹/۲۷ | ۱۰۷/۲                         |
| گندم               | ۸/۸  | ۲۶/۶۵                         |
| کاه و کلش برنج     | ۹/۱۷ | ۴۲/۱۵                         |
| پوسته فندق         | ۷/۸۶ | ۴۶۷/۵                         |
| زباله‌های غذایی    | ۹/۰۹ | ۰/۸۰۳                         |
| دیگر زباله‌های سبز | ۸/۷۲ | ۱۱۹/۸                         |
| چوب نرم            | ۷/۴۸ | ۱۹۴/۲                         |
| چوب سخت            | ۷/۹۴ | ۱۷۱/۳                         |
| ضایعات کاغذی       | ۹/۱۳ | ۱۰/۰۸                         |
| کود مرغی           | ۹/۸  | ۵۰/۳۵                         |
| کود حیوانی         | ۹/۴۵ | ۳۳/۳۸                         |
| لجن فاضلاب         | ۶/۹  | ۱۰۲/۱                         |

جدول ۲: خصوصیات زغال‌های زیستی تهیه شده از روش‌های مختلف آشکافت [۴۹]

| نوع و دمای آشکافت                  | pH   | سطح ویژه<br>(متر مربع بر گرم) |
|------------------------------------|------|-------------------------------|
| سریع، ۴۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد      | ۸/۳۳ | ۴۴/۷۴                         |
| سریع، ۶۹۹-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد      | ۷/۷  | ۴۰/۹۹                         |
| سریع، ۹۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد      | ۱۰/۱ | ۱۷۸/۲                         |
| آهسته، کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد | ۵/۰۱ | ۱/۶۸۶                         |
| آهسته، ۴۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد     | ۷/۸۱ | ۸۱/۳۲                         |
| آهسته، ۶۹۹-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد     | ۹/۰۹ | ۱۸۰/۵                         |
| آهسته، ۹۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد     | ۱۰/۱ | ۱۸۹/۸                         |

میزان آن بایستی مورد مطالعات بیش تر قرار گیرد- ضروری به نظر می رسد. نرخ استفاده از زغال های زیستی در خاک نیز عامل دیگری است که در عملکرد آن ها اثرگذار است. چنانچه بر اساس پژوهشی که ایمهوف و همکاران [۲۶] به انجام رساندند استفاده از زغال زیستی با نرخ ۴ درصد در یک خاک لوم-شنی، حجم رواناب و هم چنین دبی اوج سیلاب را تا ۵۰ درصد کاهش داد. دلیل این موضوع تغییر ساختار خلل و فرج خاک بیان شده است. به عقیده ایشان، زغال های زیستی اثرات سودمندی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک دارند. هم چنین زغال های زیستی در این پژوهش موجب کاهش رسوب و مواد مغذی به میزان تقریبی ۸۳ درصد شدند. بک و همکاران [۷] نیز پس از انجام یک مطالعه در زمینه تأثیر زغال های زیستی بر کیفیت و کمیت آب اعلام نمودند که استفاده از زغال زیستی با نرخ وزنی ۷ درصد موجب کاهش نیتروژن، فسفر و رواناب حاصل از بارندگی به ترتیب به میزان ۹۷-۷۹، ۲۳-۳۸ و ۵۹-۲۰ درصد شد. همچنین استفاده از زغال های زیستی با نرخ مذکور حدود ۴ درصد به نگهداشت آب در خاک افزود. جین و وانگ [۳۰] نیز نرخ مناسب استفاده از زغال های زیستی جهت بهبود خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک های هوازه را ۵ درصد به لحاظ وزنی اعلام نمودند.

#### معایب استفاده از زغال زیستی

نتایج تعدادی از پژوهش های انجام شده در زمینه استفاده از زغال های زیستی بیانگر برخی اثرات منفی این مواد بر خصوصیات مختلف خاک هستند که در میان آن ها افزایش هدایت الکتریکی خاک که نشان دهنده شوری خاک است، نمود بیش تری دارد. به عنوان مثال می توان به نتایج نجفی قیری [۴۸] اشاره نمود که تأثیر کاربرد زغال زیستی را بر ویژگی های خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف زغال زیستی موجب افزایش معنی دار ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی و پتاسیم محلول و تبادل شد در حالی که قابلیت دسترسی نیتروژن، فسفر، روی و مس تحت تأثیر مصرف زغال زیستی قرار نگرفت. هم چنین، نتایج مطالعه دیوبند هفشجانی و همکاران [۱۸] نشان داد که افزودن زغال زیستی باگاس نیشکر باعث افزایش معنی دار کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل آنیونی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می شود.

در خصوص حاصل خیزی خاک و عملکرد گیاه علیرغم انتشار نتایج مثبت توسط محققین مختلف، برخی دیگر از پژوهشگران نه تنها افزایش عملکرد را مشاهده نمودند بلکه کاهش عملکرد گیاه را گزارش دادند. برای مثال، راجکوویچ و همکاران [۵۹] در یک مطالعه گلخانه ای نشان دادند که سطح بالای مصرف زغال زیستی (۷ درصد) عملکرد ذرت را کاهش داد. ایشان هم چنین عدم تأثیر زغال زیستی چوب و ذرت را بر عملکرد گیاه گزارش دادند. محققین مذکور علت عدم تأثیر زغال زیستی بر افزایش عملکرد را حاصلخیزی ذاتی خاک و کافی نبودن سطح مصرف زغال زیستی گزارش نمودند. لهما و همکاران [۳۶] نیز بیان نمودند که زغال زیستی به علت

نسبت کربن به نیتروژن بالا ممکن است قابلیت دسترسی نیتروژن خاک را محدود نموده و مصرف آن باعث کاهش باروری خاک شود. جونز و همکاران [۳۱] طی یک آزمایش سه ساله با استفاده از زغال زیستی چوب نتیجه گرفتند که استفاده از این نوع زغال زیستی در سال اول تأثیر کمی بر عملکرد ذرت داشت و در سال دوم اثر آن بر عملکرد علف کم تر بود و در سال سوم موجب افزایش عملکرد گیاه شد. بنابراین مصرف زغال زیستی می تواند اثرات مثبت و منفی بر خصوصیات خاک داشته باشد. مصرف زغال زیستی در خاک می تواند عملکرد گیاه را ۶۰ درصد افزایش و یا تا حدود ۳۰ درصد کاهش دهد و این افزایش یا کاهش محصول به نوع خاک بستگی دارد. هرچه خاک کیفیت پایین تری داشته باشد (مقدار مواد آلی کمتر و ظرفیت پایین تر نگهداری عناصر غذایی) احتمال تحریک و افزایش عملکرد گیاه بیش تر است. به علاوه نوع زغال زیستی نیز بر خصوصیات خاک و عملکرد گیاه اثرگذار است. چنانچه در یک پژوهش برخی از زغال های زیستی عملکرد را ۱۰۰ درصد افزایش داده و برخی باعث از بین رفتن گیاه شدند [۵۹].

#### نتیجه گیری

در این مقاله به مرور کاربرد زغال های زیستی در حفاظت خاک و آب با هدف ایجاد یک دیدگاه جامع جهت استفاده از این مواد دوستدار محیط زیست در عملیات حفاظت خاک و آب پرداخته شده است. همان طور که تحقیقات متعدد نشان دادند، اضافه کردن زغال های زیستی به خاک موجب بهبود کیفیت خاک و هم چنین کاهش حجم رواناب و آلاینده های موجود در آن می شود. از طرف دیگر با استفاده از زغال های زیستی می توان به باروری و حاصل خیزی خاک نیز افزود. هم چنین نتایج بررسی ها نشان داد که زغال زیستی بایستی با دقت در انتخاب مواد اولیه و شرایط تولید با توجه به نوع مصرف آن تهیه شود. زغال های زیستی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را دستخوش تغییر می نمایند و بهبود می بخشند. خصوصاً زغال های زیستی تهیه شده از توده زیستی، کود دامی و دیگر زباله ها ارزش فراوانی در بهبود خاک و آب دارند. علاوه بر تغییر دینامیک مواد مغذی خاک، زغال های زیستی پتانسیل جلوگیری از انتقال فلزات سنگین را نیز دارند. اگرچه هم خصوصیات خاک و هم خصوصیات زغال زیستی- که متأثر از نوع ماده اولیه و روش آشکافت تهیه آن است- در میزان کارایی زغال های زیستی در عملکردهای بنیادی خاک تأثیرگذار می باشند. هم چنین باید توجه داشت که نتایج برخی پژوهش ها بیانگر این است که با توجه به خصوصیات متفاوت فیزیکی و شیمیایی خاک، استفاده از زغال های زیستی نه تنها می تواند تأثیر مثبتی به همراه نداشته باشد بلکه در برخی مواقع اثرات منفی نیز به همراه دارد. لذا پیش از استفاده از زغال های زیستی بایستی کلیه شرایط اعم از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مواد اولیه تهیه زغال زیستی و شرایط تولید آن مانند دما و مدت زمان آشکافت در نظر گرفته شود. با یک

2011. Amending Green roof Soil with Biochar to Affect Runoff Water Quantity and Quality. *Environ. Pollut.*, 159: 2111-2118.

8- Beesley, L., Moreno-Jimenez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B. and Sizmur, T. 2011. A Review of Biochars' Potential Role in the Remediation, Revegetation and Restoration of Contaminated Soils. *Environ. Pollut.* 159: 3269-3282.

9- Bernatek-Jakiel, A., Vannoppen, W. and Poesen, J. 2017. Assessment of Grass Root Effects on Soil piping in Sandy Soils Using the Pinhole Test. *Geomorphology*. 295: 563-571.

10- Bu H., X. Tan S. Li and Q. Zhang. 2010. Temporal and Spatial Variations of Water Quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 73: 907-913.

11- Camps Arbestain, M., Saggar, S. and Leifeld, J. 2014. Environmental Benefits and Risks of Biochar Application to Soil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 191: 1-4.

12- Cao, X. and Harris, W. 2010. Properties of Dairy-Manure-Derived Biochar Pertinent to its Potential Use in Remediation. *Bioresour. Technol.* 101, 5222.

13- Chen, B. and Yuan, M. 2011. Enhanced Sorption of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Soil Amended with Biochar. *J. Soils Sediments*, 11: 62-71.

14- Chen, X. W., Wong, J. T. F., Ng, C. W. W. and Wong, M. H. 2016. Feasibility of Biochar Application on a Landfill Final Cover—a Review on Balancing Ecology and Shallow Slope Stability. *Environ. Sci. Pollut. R.*, 23 (8): 7111-7125.

15- Dai, J., Liu, Y. S. 2013. Review of Research on the Properties of Biochar and its Applications in Soil. *Chin. J. Soil Sci.*, 44: 1520-1525.

16- Ding, Y. 2000. Application of Micro Carriers in Stormwater Treatment. *Intern. J. Environ. Stud.*, (58): 669-681.

17- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G., Zhou, L. 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils: a review. *Pedosphere* 27:645-661

18- Divband Hafeshjani, L., Naseri, A., Hushmand, A., Abbasi, F. and Soltani Mohammadi, A. 2017. Investigating the Effect of Sugar Cane Bagasse on

نگاه کلی به پژوهش‌های انجام شده می‌توان دریافت که زغال‌زیستی بیش‌تر در بخش کشاورزی و تولید محصول به کار برده شده و کم‌تر در بخش فرسایش و حفاظت خاک از آن استفاده شده است که با توجه به قابلیت این مواد در مهار رواناب و فرسایش و البته با در نظر گرفتن مخاطرات استفاده از آن‌ها در شرایط مختلف، بایستی در این بخش نیز مورد توجه قرار گیرند.

در پایان پیشنهاد می‌شود که تحقیقاتی در زمینه تأثیر توزیع اندازه ذرات زغال‌زیستی، انباشت حجمی و مدت آزمایش بر کاهش رسوب، آلاینده‌ها و حجم آب نیز صورت پذیرد. همچنین رفتار و برهمکنش خاک و زغال‌زیستی و نیز اثرات زیست‌محیطی، سلامت خاک، کیفیت آب، امنیت غذا و سلامت انسان در بلندمدت بایستی مورد مطالعه قرار گیرند. البته در راستای ترویج و توسعه استفاده از زغال‌های زیستی بایستی بر مشکلاتی نظیر محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی، زیست محیطی، خطرات سلامت عمومی و عدم شناخت این مواد توسط افراد عادی جامعه نیز فائق آمد.

## منابع

1- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. and Wessolek, G. 2013. Impact of Biochar and Hydrochar Addition on Water Retention and Water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202-203: 183-191.

2- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Ok, Y.S. 2014. Biochar as a Sorbent for Contaminant Management in Soil and Water: A Review. *Chemosphere*, 99: 19-33.

3- Arthur, E. L., Rice, P. J., Rice, P. J., Anderson, T. A., Baladi, S.M. and enderson, K. L. D. 2005. Phytoremediation—an Overview. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 24: 109-122.

4- Awad, Y. M., Abridata, J., Beiyuan, J., Beckers, F. and Tsang, D.C.W. 2018. Pine Sawdust Biomass and Biochars at Different Pyrolysis Temperatures Change Soil Redox Processes. *Sci. Total Environ.*, 625: 147-154.

5- Barrow, C. J. 2012. Biochar: Potential for Countering Land Degradation and for Improving Agriculture. *Appl. Geogr.*, 34: 21-28.

6- Bayat, R., Torkashvand, A. and Afrugh, M. 2019. Application of Biochar in Runoff Reduction. *Proceedings of 7<sup>th</sup> National Conference on Rainwater Catchment Systems*, Tehran, 673-679.

7- Beck, D. A., Johnson, G. R. and Spolek, G. A.

- 28- Janus, A., Pelfrene, A., Heymans, S., Deboffe, C., Douay, F., Waterlot, C., 2015. Elaboration, Characteristics and Advantages of Biochars for the Management of Contaminated Soils with a Specific Overview on Miscanthus Biochars. *J. Environ. Manag.*, 162: 275–289.
- 29- Jiang, T. Y., Jiang, J. and Xu, R. K., Li, Z., 2012. Adsorption of Pb (II) on Variable Charge Soils Amended with Rice-Straw Derived Biochar. *Chemosphere* 89, 249–256.
- 30- Jien, S. H. and Wang, C. S. 2013. Effects of Biochar on Soil Properties and Erosion Potential in a Highly Weathered Soil. *Catena*, 110: 225-233.
- 31- Jones D.L., Dempster D.N. Gleeson D.B. Solaiman Z.M. and Murphy D.V. 2012. Decreased Soil Microbial Biomass and Nitrogen Mineralisation with Eucalyptus Biochar Addition to a Coarse Textured Soil. *Plant and Soil*, 354:311–324.
- 32- Jones, D. A., Lelyveld, T. P., Mavrofidis, S. D., Kingman, S. W. and Miles, N. J., 2002. Microwave Heating Applications in Environmental Engineering: A Review. *Resour. Conserv. Recycl.*, 34: 75–90.
- 33- Khoshkalam, E., and Darestani Farahani, A. 2018. Nanobiochar and its Effects on Soil. <http://edu.nano.ir/paper/762>.
- 34- Lahori, A. H., Guo, Z., Zhang, Z., Li, R., Mahar, A. and Awasthi, M. K. 2017. Use of Biochar as an Amendment for Remediation of Heavy Metal-Contaminated Soils: Prospects and Challenges. *Pedosphere*, 27: 991–1014.
- 35- Lehmann J. Da Silva J.P. Steiner C. Nehls T. Zech W. and Glaser B. 2003. Nutrient Availability and Leaching in an Archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertilizer, Manure and Charcoal Amendments. *Plant and Soil*, 249:343–357.
- 36- Lehmann, J. and S. Joseph. 2015. Biochar for Environmental Management: an Introduction. *Science, Technology and Implementation*, 2-11.
- 37- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J. and Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar Effects on Soil Biota—a Review. *Soil Biol. Biochem.*, Chemical Characteristics of a Sandy-Loam Soil. *J. Irrig. Sci. Eng.*, 40 (1): 63-72.
- 19- Doan, T. T., Thiery, H. T., Rumpel, C., Janeau, J-L., and Jouquet, P. 2015. Impact of Compost, Vermicompost and Biochar on Soil Fertility, Maize Yield and Soil Erosion in Northern Vietnam: A Three Year Mesocosm Experiment. *Sci. Total. Environ.*, 514: 147-154.
- 20- Fabietti, G., Biasioli, M., Barberis, R., Marsan, F. A. 2010. Soil contamination by organic and inorganic pollutants at the regional scale: the case of Piedmont, Italy. *J Soils Sediments* 10:290–300
- 21- Garg, A., Hazra, B., Zhu, H. and Wen, Y., 2019. A Simplified Probabilistic Analysis of Water Content and Wilting in Soil Vegetated with Non-Crop Species. *Catena*, 175: 123–131.
- 22- Ghavimipanah, M. H., Sadeghi, S. H. R. and Yunesi, H. A. 2017. The Role of Biochar Produced from Dairy Factory Waste in Infiltration and Runoff in Small Experimental Plots. *Iran. J. Soil. Water. Res.*, 48(4): 905-916.
- 23- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestian, M., and Hedley, M. 2013. Effect of Biochar on Soil Properties in Two Contrasting Soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209-210: 188-197.
- 24- Higashikawa, F. S., Conz, R. F., Colzato, M., Cerri, C. E. P., Alleoni, L. R. F. 2016. Effects of Feedstock Type and Slow Pyrolysis Temperature in the Production of Biochars on the Removal of Cadmium and Nickel from Water. *J. Clean. Prod.*, 137: 965–972.
- 25- Hilber, I., Mayer, P., Gouliarmou, V., Hale, S. E., Cornelissen, G., Schmidt, H. P, Bucheli, T. D. 2017. Bioavailability and bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons from (post-pyrolytically treated) biochars. *Chemosphere*, 174:700–707
- 26- Houben, D., Evrard, L., Sonnet, P., 2013. Beneficial Effects of Biochar Application to Contaminated Soils on the Bioavailability of Cd, Pb and Zn and the Biomass Production of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Biomass Bioenergy*, 57: 196–204.
- 27- Imhoff, P. T. and Nakhli, S. A. A. 2017. Reducing Stormwater Runoff and Pollutant Loading with Biochar Addition to Highway Greenways. Final Report for

and Limitations of Phytotechnologies at Field Scale: Outcomes, Assessment and Outlook from COST Action 859. *J. Soils Sediments*, 10: 1039–1070.

48- Najafi Ghiri, M. 2015. Effect of Various Biochars on Some Soil Characteristics and Adsorption Capability of Some Nutrients in a Calcareous Soil. *Soil Res.*, 3: 351-358.

49- Nick, T. 2018. Benefits of Biochar and its Applications for Runoff Water Management. Thesis for a Bachelor's- Degree, Vaasa University.

Norris, V. 1993. The Use of Buffer Zones to Protect Water Quality: A Review. *Wat. Resour. Manage.* 7: 257-272.

50- Novack, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Laird, D. A., Ahmedna, M. A. and Niandou, M. A. 2010. Short-Term CO<sub>2</sub> Mineralization After Additions of Biochar and Switchgrass to A Typic Kandudult. *Geoderma*, 154(3): 281-288.

51- Novak, J. M., Lima, I. and Xing, B. 2009. H S. Characterization of Designer Biochar Produced at Different Temperatures and Their Effects on a Loamy Sand. *Ann. Environ. Sci.*, 3: 195–206.

52- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G. and Børresen, T. 2016. In Situ Effects of Biochar on Aggregation, Water Retention and Porosity in Light-Textured Tropical Soils. *Soil Tillage Res.*, 155: 35–44.

53- Olmo, M., Albuquerque, J. A., Barrán, V., Campillo, MaCD, Gallardo, A., and Fuentes, M. 2014. Wheat Growth and Yield Responses to Biochar Addition Under Mediterranean Climate Conditions. *Biol. Fertil. Soils*, 50: 1177–1187.

54- Palansooriya, N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J.-K., Koutsospyros, A. and Moon, D. H. 2019. Impacts of Biochar Application on Upland Agriculture: A Review. *J. Environ. Manag.*, 234: 52-64.

55- Peake, L., Reid, B. J., and Tang, X. 2014. Quantifying the Influence of Biochar on the Physical and Hydrological Properties of Dissimilar Soils. *Geoderma*, 235-236: 182-190.

56- Pimentel, D., R. Harman, M. Pacenza, J. Pecarsky, M. Pimentel. 1994. Natural Resources and an Optimum Human Population. *Popul. Environ.*, 15 (5): 347-369.

43: 1812–1836.

38- Li, J., Li, Y., Wu, M., Zhang, Z. and Lü, J. 2013. Effectiveness of Low-Temperature Biochar in Controlling the Release and Leaching of Herbicides in Soil. *Plant Soil*, 370: 333–344.

39- Li, Y., Zhang, F., Yang, M., Zhang, J. and Xie, Y. 2019. Impacts of Biochar Application Rates and Particle Sizes on Runoff and Soil Loss in Small Cultivated Loess Plots Under Simulated Rainfall. *Sci. Total Environ.*, 649: 1403-1413.

40- Liu, X. H. and Zhang, X. C. 2012. Effect of Biochar on Ph of Alkaline Soils in the Loess Plateau: Results from Incubation Experiments. *National Academy of Sciences*.

41- Liu, X. L., Zeng, Z. X., Chen, Q. W., and Zou, H. L. 2014. Effects of Biochar and Lime Additives on Non-Point Load of Heavy Metals in Paddy Soil. *J. Hydraul. Eng.*, 45: 682–690.

42- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A. and Gonnermann, H. M. 2017. Biochar Particle Size, Shape, and Porosity Act Together to Influence Soil Water Properties. *PLoS ONE* 12(6): e0179079. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>

43- Lone, A. H., Najar, G. R., Ganie, M. A., Sofi, J. A. and Ali, T. 2015. Biochar for Sustainable Soil Health: A Review of Prospects and Concerns. *Pedosphere*, 25: 639–653.

44- Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H. and Liu, D. 2014. Effect of Bamboo and Rice Straw Biochars on the Bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 191: 124–132.

45- Manyà, J. J. 2012. Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs. *Environ. Sci. Technol.*, 46: 7939.

46- Mcbeath, A.V., Smernik, R. J., Krull, E. S., Lehmann, J. 2014. The Influence of Feedstock and Production Temperature on Biochar Carbon Chemistry: A Solid-State <sup>13</sup>C NMR Study. *Biomass Bioenergy*, 60: 121–129.

47- Mench, M., Lepp, N., Bert, V., Schwitzguébel, J. P., Gawronski, S. W., and Schröder, P. 2010. Successes

2010. A Review of Biochar and its Use and Function in Soil. *Adv. Agron.*, 105: 47–82.

68- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A. and Collins, H. P. 2012. Biochar: A Synthesis of its Agronomic Impact Beyond Carbon Sequestration. *J. Environ. Qual.*, 41: 973–989.

69- Valix, M., W. H. Cheung and McKay, G. 2004. Preparation of Activated Carbon Using Low Temperature Carbonization and Physical Activation of High Ash Raw Bagasse for Acid Dye Adsorption. *Chemosphere*, 56: 493–501.

70- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van Der Velde, M., and Diafas, I. 2009. Biochar Application to Soils. A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC55799>

71- Wang, M., Zhu, Y., Cheng, L., Anderson, B., Zhao, X. and Wang, D. 2018. Review on Utilization of Biochar for Metal-Contaminated Soil and Sediment Remediation. *J. Environ. Sci.*, 63: 156–173.

72- Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A. and Singh, S. 2014. Characteristics of Biochars from Crop Residues: Potential for Carbon Sequestration and Soil Amendment. *J. Environ. Manag.*, 146: 189–197.

73- Wong, J. T. F., Chen, Z., Wong, A. Y. Y., Ng, C. W. W. and Wong, M. H. 2018. Effects of Biochar on Hydraulic Conductivity of Compacted Kaolin Clay. *Environ. Pollut.*, 234: 468–472.

74- Xu, Y. and Fang, Z. 2015. Advances on Remediation of Heavy Metal in the Soil by Biochar. *Environ. Eng.*, 33: 156–159.

75- Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N. and Chen, Y. 2015. Influence of Pyrolysis Temperature on Physical and Chemical Properties of Biochar Made from Sewage Sludge. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, 112: 284–289.

76- Yuan, J. H., Xu, R. K. and Zhang, H., 2011. The Forms of Alkalis in the Biochar Produced from Crop Residues at Different Temperatures. *Bioresour.*

57- Qi, F., Dong, Z., Naidu, R., Bolan, N.S., Lamb, D. and Yong, S.O. 2017. Effects of Acidic and Neutral Biochars on Properties and Cadmium Retention of Soils. *Chemosphere*, 180: 564–573.

58- Qian, K., Kumar, A., Zhang, H., Bellmer, D., Huhnke, R. 2015. Recent advances in the utilization of biochar. *RenewSust Energ Rev* 42:1055– 1064

59- Rajkovich S. Enders A. and Hanley K. 2012. Corn Growth and Nitrogen Nutrition After Additions of Biochars with Varying Properties to a Temperate Soil. *Biol. Fertil. Soils*, 48:271–284.

60- Ren, X., Sun, H., Wang, F. and Cao, F. 2016. The Changes in Biochar Properties and Sorption Capacities After Being Cultured with Wheat for 3 Months. *Chemosphere*, 144: 2257–2263.

61- Rodríguez-Vila, A., Selwyn-Smith, H., Enunwa, L., Smail, I., Covelo, E. F., Sizmur, T. 2018. Predicting Cu and Zn Sorption Capacity of Biochar from Feedstock C/N Ratio and Pyrolysis Temperature. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25 (8): 7730–7739.

62- Rostamian, R., Heidarpour, Mousavi, S. F. and Afyuni, M. 2015. Application of Rice Husk Biochar Chnol. *Agric. Natur. Resour., Water and Soil Sci.*, 19(71): 21-29.

63- Sadeghi, S. H. R., Ghavimipannah, M. H. and Yunesi, H. A. 2017. Feasibility of Reducing Soil Loss Using Biochar Produced from Dairy Factory Waste. *J. Water. Soil Conserv.*, 24(4): 212-226.

64- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z. and Kiani Harchegani, M. 2016. Controllability of Runoff and Soil Loss from Small Plots Treated by Yinasse-Produced Biochar. *Sci. Total Environ.*, 541: 483-490.

65- Shackley, S., Carter, S., Knowles, T., Middelink, E., Haefele, S. and Sohi, S. 2012. Sustainable Gasification-Biochar Systems: A Case-Study of Rice-Husk Gasification in Cambodia, part I: Context, Chemical Properties, Environmental and Health and Safety Issues. *Energy Policy*, 42: 49–58.

66- Silvani, L., Vrchotova, B., Kastanek, P., Demnerova, K., Pettiti, I., Papini, M. P. 2017. Characterizing biochar as alternative sorbent for oil spill remediation. *Sci. Rep* 7

67- Sohi, S. P., Krull, E., Lopezcapel, E. and Bol, R.

Xing, B. 2013. Impacts of Adding Biochar on Nitrogen Retention and Bioavailability in Agricultural Soil. *Geoderma*, 206: 32–39.

81- Zhi-guo, L., C., Zhang, R., Mohamad, I., Zhang, G., Li, W., Zhang, R., Fang, C. and Yi, L. 2017. The Benefic Effect Induced by Biochar on Soil Erosion and Nutrient Loss of Slopping Land Under Natural Rainfall Conditions in Central China. *Agric. Water Manage*, 185: 145-150.

*Technol.*, 102: 3488–3497.

77- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B. and Wu, C. 2018. Review of Biochar for the Management of Contaminated soil: Preparation, Application and Prospect. *Sci. Total Environ.*, 659: 473-490.

78- Zhang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y. and Inyang, M. 2012. Synthesis of Porous MgO-Biochar Nanocomposites for Removal of Phosphate and Nitrate from Aqueous Solutions. *Chem. Eng. J.*, 210: 26–32.

79- Zhao, B., Xu, R., Ma, F., Li, Y. and Wang, L. 2016. Effects of Biochars Derived from Chicken Manure and Rape Straw on Speciation and Phytoavailability of Cd to Maize in Artificially Contaminated Loess Soil. *J. Environ. Manag.*, 184: 569–574.

80- Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S. and



## Abstract

**Application of Biochars for Soil and Water Conservation: A review**I. Saleh<sup>\*1</sup>, M. Khazaei<sup>1</sup> and J. Saleh<sup>2</sup>

Received: 2018/05/28 Accepted: 2020/02/15

Soil and water resources are among the most important natural resources of every country that provide human and animals nutritional needs; but, unfortunately they are constantly abused and changed by human and inhuman factors. The use of biochars has been recently considered in the international scientific societies, as a strategy for soil and water conservation. Biochar is a porous carbon-rich material produced by heating any organic biomass in an oxygen-free environment through a process namely pyrolysis. Application of biochars would cause some achievements such as waste management, improvement of soil productivity and quality, reduction of runoff volume and pollutants, energy production and reducing environmental issues including climate change and water pollution. It should be noticed that, both soil and biochar affect the efficiency of biochars in fundamental functions of the soil. Considering the conducted studies, it can be concluded that the biochars has been mostly used for agricultural products and goals, and less for soil conservation. Biochar should be more considered for soil and water conservation due to its ability in runoff and erosion control, of course considering their adverse effects under different conditions.

**Keywords:** Soil erosion, Soil biological conservation, Runoff, Sediment.

1- Forests, Rangelands and Watershed Management Research Department, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran

2- Soil and Water Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Bandar Abbas, Iran

\* Corresponding author, E-Mail: salehiman61@gmail.com